

# **Solararchitektur**

## **Kriterien für die Gestaltung von bauwerkintegrierter Photovoltaik in der Wechselwirkung von Form, Funktion und Technik**

Vom Fachbereich Architektur  
der HafenCity Universität Hamburg angenommene  
**Dissertation**  
zur Erlangung des Doktorgrades der Ingenieurwissenschaften

**Mona Tausend, Architektin M.A.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. Architekt Wolfgang Willkomm  
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Architekt Thomas Stark

München, 10.11.2022

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Kurzfassung .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Abstract.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1 Einleitung.....</b>  | <b>6</b>  |
| 1.1 Ausgangspunkt.....  | 6         |
| 1.1.1 Herkunft und Entwicklungsgeschichte der BIPV-Technik..... | 6         |
| 1.1.2 Aktuelle Tendenzen und Potenzialdaten.....                | 8         |
| 1.1.3 Gestalterische Vorbehalte .....                           | 10        |
| 1.1.4 Gesellschaftliche Akzeptanz für innovatives Design .....  | 13        |
| 1.2 Relevanz – BIPV und Umweltschutz.....                       | 14        |
| 1.3 Stand der Forschung.....                                    | 16        |
| 1.4 Einordnung und Begründung.....                              | 19        |
| <b>2 Problemstellung und Vorgehensweise .....</b>               | <b>21</b> |
| 2.1 Problemstellung.....  | 21        |
| 2.2 Zielsetzung und leitende Fragestellungen .....              | 22        |
| 2.2.1 Forschungsziel .....                                      | 22        |
| 2.2.2 Forschungsfragen.....                                     | 23        |
| 2.3 Einschränkungen.....  | 23        |
| 2.3.1 Abgrenzungen .....  | 23        |
| 2.3.2 Eingrenzungen .....                                       | 24        |
| 2.4 Methodische Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit.....       | 25        |
| 2.4.1 Einordnung der gewählten Methode .....                    | 25        |
| 2.4.2 Methodische Vorgehensweise .....                          | 25        |
| 2.4.3 Begriffsklärungen.....                                    | 26        |
| 2.4.4 Aufbau der Arbeit.....                                    | 27        |
| <b>3 Grundlagen architektonischer Gestaltung .....</b>          | <b>29</b> |
| 3.1 Visuelle Wahrnehmung .....                                  | 29        |
| 3.1.1 Wahrnehmungsphysiologie.....                              | 29        |
| 3.1.2 Wahrnehmungspsychologie.....                              | 33        |
| 3.1.3 Folgerungen .....   | 37        |
| 3.2 Theorien ästhetischer Architekturgestaltung .....           | 38        |
| 3.2.1 Antike .....  | 39        |
| 3.2.2 Mittelalter.....  | 42        |
| 3.2.3 Renaissance.....  | 45        |
| 3.2.4 17. Jahrhundert .....                                     | 49        |
| 3.2.5 18. Jahrhundert .....                                     | 52        |
| 3.2.6 19. Jahrhundert .....                                     | 54        |
| 3.2.7 Moderne .....   | 62        |
| 3.2.8 Nachkriegszeit.....                                       | 68        |
| 3.2.9 Postmoderne .....   | 73        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.2.10   | Gegenwart.....   | 78         |
| 3.2.11   | Folgerungen .....  | 89         |
| 3.3      | Allgemeingültige Gestaltungskriterien.....                   | 91         |
| 3.3.1    | Proportionale Gliederung.....                                | 91         |
| 3.3.2    | Maßstäblichkeit.....   | 100        |
| 3.3.3    | Farbigkeit.....  | 105        |
| 3.3.4    | Materialität.....  | 111        |
| 3.3.5    | Kontextualität.....  | 116        |
| 3.3.6    | Zeichenhaftigkeit .....                                      | 121        |
| 3.4      | Zusammenfassung .....  | 130        |
| <b>4</b> | <b>Gestaltung von BIPV .....</b>                             | <b>132</b> |
| 4.1      | Systemtechnische Grundlagen .....                            | 132        |
| 4.1.1    | Ertragsbeeinflussende Faktoren .....                         | 133        |
| 4.1.2    | Funktionale Aufgaben.....                                    | 142        |
| 4.1.3    | Gestaltprägende Eigenschaften.....                           | 154        |
| 4.2      | Verschiedene Zielsetzungen bei der Gestaltung von BIPV ..... | 167        |
| 4.2.1    | Beteiligte, Interessen und Zielkonflikte.....                | 168        |
| 4.2.2    | Gestaltungsziele .....                                       | 170        |
| 4.3      | Ableitung von Kriterien für die Gestaltung von BIPV .....    | 176        |
| 4.3.1    | Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse .....                | 177        |
| 4.3.2    | Maßstäblichkeit.....   | 182        |
| 4.3.3    | Korrespondierende Farben .....                               | 185        |
| 4.3.4    | Korrespondierende Materialien .....                          | 188        |
| 4.3.5    | Bezug zur Umgebung .....                                     | 192        |
| 4.3.6    | Abgestimmte Zeichenwirkung.....                              | 195        |
| 4.4      | Einfluss von Funktion und Technik .....                      | 199        |
| 4.4.1    | Funktionale und technische Anforderungen.....                | 199        |
| 4.4.2    | Einfluss auf die Gestaltung .....                            | 203        |
| 4.4.3    | Wechselwirkungen .....                                       | 205        |
| 4.5      | Zusammenfassung .....  | 206        |
| <b>5</b> | <b>Projektstudie.....</b>                                    | <b>210</b> |
| 5.1      | Ziel und Gegenstand der Untersuchung .....                   | 210        |
| 5.2      | Methodische Vorgehensweise .....                             | 210        |
| 5.3      | Projektauswahl .....   | 211        |
| 5.4      | Untersuchungskriterien.....                                  | 215        |
| 5.5      | Ergebnisse der Projektstudie (Kurzversion).....              | 218        |
| 1.       | Marché International, Kemptthal (CH), 2007 .....             | 219        |
| 2.       | Solarhaus, Darmstadt (DE), 2007 .....                        | 220        |
| 3.       | Solar XXI, Lissabon (PT), 2006 .....                         | 221        |
| 4.       | Halle design.s, Freising (DE), 2010 .....                    | 222        |
| 5.       | SMA Solar Academy, Niestetal (DE), 2010.....                 | 223        |
| 6.       | Umweltarena Spreitenbach (CH), 2012 .....                    | 224        |

---

|   |            |
|---|------------|
| 7. SwissTech Convention Center, Lausanne (CH), 2012 .....         | 225        |
| 8. Wohnhaus Glattfelden (CH), 2013 .....                          | 226        |
| 9. Aktiv-Stadthaus, Frankfurt a. M. (DE), 2015 .....              | 227        |
| 10. Copenhagen International School, Nordhavn (DK), 2017 .....    | 228        |
| 11. Wohnhaus Schneller Bader, Tamins (CH), 2016 .....             | 229        |
| 12. Grosspeter Tower, Basel (CH), 2017 .....                      | 230        |
| 13. Kath. Propsteikirche St. Trinitatis, Leipzig (DE), 2015 ..... | 231        |
| 5.6 Zusammenfassung .....   | 232        |
| <b>6 Synthese .....</b>   | <b>234</b> |
| 6.1 BIPV-Gestaltungskriterien .....                               | 234        |
| 6.2 Gestaltungsziele .....  | 243        |
| 6.3 Funktionale und technische Wechselwirkungen .....             | 246        |
| 6.4 Zusammenfassung in Form eines Kriterienkatalogs .....         | 249        |
| <b>7 Exkurs: Schnittstellen Wirtschaftlichkeit .....</b>          | <b>258</b> |
| <b>8 Fazit und Ausblick .....</b>                                 | <b>261</b> |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                                | <b>264</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                                  | <b>274</b> |
| <b>Literaturverzeichnis .....</b>                                 | <b>275</b> |

## **Anhang: Projektstudie Langversion**

## Kurzfassung

Trotz des dringenden Erfordernisses einer nachhaltigen und unabhängigen Energieerzeugung und bereits steigender Anteile photovoltaisch erzeugten Stroms stockt die Verbreitung der bauwerkintegrierten Photovoltaik (BIPV). Zahlreiche „Leuchtturm“-Projekte zeigen das große ästhetische Potential solaraktiver Bauteile und dennoch werden insbesondere von Architekt/innen-Seite neben vermeintlichen Einschränkungen in der planerischen Freiheit immer wieder auch gestalterische Vorbehalte angeführt. Um einen Beitrag zur Diskussion um die Entwicklung visuell angenehmer Ergebnisse zu leisten, die verhindern, dass photovoltaische Bauteile am Gebäude als Fremdkörper wahrgenommen werden, ermittelt die vorliegende Arbeit auf der Grundlage ästhetischer Architekturtheorien allgemeingültige Kriterien für architektonische Qualität und transferiert diese auf den Bereich der BIPV-Gestaltung. Dabei werden auch funktionale und technische Wechselwirkungen hinsichtlich ihrer hemmenden oder synergetischen Wirkung berücksichtigt. Im Rahmen einer Projektstudie finden die oben genannten Kriterien Anwendung auf 13 „best practice“-Beispiele aktueller Wettbewerbsgewinner des „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“, ausgelobt vom Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV). Das Ergebnis ist die Synthese eines Kriterienkatalogs als Orientierungs-, Planungs- und Kommunikationswerkzeug, in dem alle Ergebnisse systematisiert zusammengestellt werden. Ergänzend wird in einem kurzen Exkurs auf von der Hauptuntersuchung ausgenommene, für die Praxis aber relevante Schnittstellen zu wirtschaftlichen Aspekten eingegangen.

## Abstract

Despite the urgent need for sustainable and independent energy production and already increasing shares of photovoltaically generated electricity, the spread of building-integrated photovoltaics (BIPV) is faltering. Numerous showcase projects show the great aesthetic potential of solar-active components and yet, in addition to alleged limitations in planning freedom, design reservations are repeatedly cited, particularly by architects. In order to contribute to the discussion about developing visually pleasant results that prevent photovoltaic components on buildings from being perceived as foreign bodies, the present work determines generally valid criteria for architectural quality based on aesthetic architectural theories, subsequently transferring them to the subject of BIPV design. Functional and technical interactions are also taken into account with regard to their inhibiting or synergetic effects. Within a project study, the above-named criteria are applied to 13 "best-practice" examples from current competition winners of the "Architecture Award Building Integrated Solar Technology" offered by the Bavarian Association for the Promotion of Solar Energy (SeV). The result is the synthesis of a catalogue of criteria as a tool for orientation, planning and communication, in which all findings are systematically compiled. In addition, a short digression points out interfaces to economic aspects, excluded from the main study, but relevant for practice.

# 1 Einleitung

Die Erforschung von Kriterien für die Gestaltung von bauwerkintegrierter Photovoltaik (BIPV) umfasst einen weiten Themenkreis unterschiedlichster Disziplinen. Ausgangspunkt ist die spezifische Entwicklungsgeschichte der Photovoltaik (PV) – von der Weltraumtechnologie über erste kommerzielle Solaranlagen bis hin zu den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten für die Gebäudeintegration heute. Diese versprechen einerseits ein großes Wachstumspotenzial, werden andererseits von Architekt/innen und Bauherr/innen aber auch mit Skepsis betrachtet. Die Relevanz der BIPV für den Umweltschutz und die Energiewende ist heute weniger umstritten denn je. Dennoch zeigt ein Blick auf den aktuellen Forschungsstand, dass obwohl erste Arbeiten zur Beziehung zwischen integrierten solaren Technologien und Gebäudegestaltung bereits aus den 1970er Jahren stammen, eine systematische Untersuchung der Relevanz ästhetischer Kriterien bisher noch aussteht.

## 1.1 Ausgangspunkt

Die wichtigsten Aspekte, die den Ausgangspunkt der Thematik bestimmen, sind die Herkunft und die Entwicklungsgeschichte der BIPV-Technologie, die deren spezifische Erscheinung bis heute beeinflussen, aktuelle Tendenzen und Daten, die ihr großes Potenzial verdeutlichen, aber auch ästhetische Vorbehalte im Kontext gesellschaftlicher Akzeptanz für innovatives Design.

### 1.1.1 Herkunft und Entwicklungsgeschichte der BIPV-Technik

Seit der Entdeckung des photovoltaischen Effekts Mitte des 19. Jahrhunderts durch Alexandre Becquerel vergingen mehr als 100 Jahre der Erforschung von Stoffen, die in der Lage waren, Licht in elektrische Energie umzuwandeln, bis zur Entwicklung der ersten Siliziumzellen durch Bell Laboratories 1954. Seit 1958 dienten Zellen dieser Art der Energieversorgung von Satelliten im All. Ihre Robustheit und Langlebigkeit sowie das geringe Gewicht und das Fehlen beweglicher Teile prädestinierte sie für diese Anwendungen, auf die sie aufgrund der hohen Herstellungskosten allerdings zunächst begrenzt blieben. Erst die Ölkrise 1973 und das Reaktorunglück in Tschernobyl 1986 gaben entscheidende Impulse für eine terrestrische Nutzung der Photovoltaik, mit dem Ziel, sowohl die Abhängigkeit von Energieimporten als auch den Treibhauseffekt und die Umweltverschmutzung zu reduzieren.<sup>1</sup> Dies führte in Deutschland in den 1970er und 80er Jahren zu ersten Solarkraftwerken, Forschungsinitiativen und Förderprogrammen. Aufgrund des großen Flächenbedarfs der PV-Technik rückten dabei auch die Gebäudeoberflächen in den Fokus. Als erste Prototypen, die Photovoltaik sowohl funktional als auch gestalterisch überzeugend integrierten, gelten z. B. die von Thomas Herzog in Zusammenarbeit mit Bernhard Schilling entworfene Wohnanlage Richter in München (1982) und die vom Architekturbüro Georg Feinhals realisierte Fassadenintegration an einem Verwaltungsgebäude der Stadtwerke Aachen (1991).<sup>2</sup> Zwar zeigten diese frühen Projekte erste

---

<sup>1</sup> Vgl. Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 6.

<sup>2</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 9.

schlüssige Konzepte auf, der Schwerpunkt der Entwicklungen dieser Zeit lag aber zunächst auf Fragen der passiven Solararchitektur, des ökologischen Bauens im Allgemeinen oder auf vorrangig funktionalen und konstruktiven Aspekten.<sup>3</sup> Erst in den 1990er Jahren, angeregt auch durch weitere Regierungsprogramme wie das „1000-Dächer-Programm“ (1990-94) und das Stromeinspeisungsgesetz (1991), erlebte die BIPV-Technologie einen neuen Aufschwung. Hersteller arbeiteten an Effizienzsteigerungen und Kostenreduktionen und die Zahl der verfügbaren Bauteile für den Gebäudebereich stieg an. Gestalterische Möglichkeiten, mit den charakteristischen Merkmalen der vormaligen Weltraumtechnologie umzugehen, wurden erstmals in größerem Umfang untersucht und erprobt. Dies führte zu einem deutlichen Anstieg von Projekten mit ästhetisch überzeugenden Ansätzen in den Bereichen Warmfassaden (z. B. Fortbildungsakademie Mont-Cenis von Jourda + Perraudin und HHS Planer + Architekten, 1999) und Sonnenschutz (z. B. Betriebsgebäude der Städtischen Werke Winterthur von Theo Hotz, 1995) oder auch in konstruktiv additiven Systemen (z. B. Wohn- und Bürohaus Heliotrop von Rolf Disch, 1994).



Abb. 1: Der Weg der Solarzelle: von der Entdeckung des photovoltaischen Effekts vor über 180 Jahren über Weltraumanwendungen bis in die Gebäudehülle (eigene Darstellung; v. o. l. n. u. r.: ETH Zürich; Smithsonian; WDR; SeV 2019, S. 5; Solar Choice; Baunetz Wissen; Diederichs AG; Michael Egloff; René Schmid Architekten; Archello/Adam Moerk)

<sup>3</sup> Vgl. Krippner 2016, S. 10-11.

Seit der Jahrtausendwende waren es dann insbesondere das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) (2000), die Verfügbarkeit von Modulen in Sonderformen, Fortschritte im Bereich der elektrischen Installationstechnik und die Einführung internationaler Qualitätszertifikate, die die BIPV zu einer anwendungsreifen Technologie mit hohen Zuwachsraten machten.<sup>4</sup> Seit ihrer Entdeckung hat die Photovoltaik von der ersten Siliziumzelle über die Weltraumanwendungen bis in die Gebäudehülle also eine enorme Entwicklungsgeschichte durchlaufen (vgl. Abb. 1). Die Bandbreite der heute verfügbaren Zelltechnologien und Bauteile ist groß und aktuelle „Leuchtturm“-Projekte zeigen weiterentwickelte und auch neue Ansätze, wie neben dem funktionalen Mehrwert auch die ästhetischen Eigenschaften der PV-Technologie für die Architektur nutzbar gemacht werden können.

### 1.1.2 Aktuelle Tendenzen und Potenzialdaten

Seit 2010 ist der Anteil des PV-Stroms am Brutto-Stromverbrauch in Deutschland von ca. 2 % auf 9,1 % (51 TWh) im Jahr 2021 gestiegen<sup>5</sup> und hat damit neben der Windenergie an Land eine der höchsten Zuwachsraten unter den erneuerbaren Energien (vgl. Abb. 2). Deren Anteil lag 2021 insgesamt bei 42,4 %.<sup>6</sup> An sonnigen Tagen kann PV-Strom bereits über zwei Drittel des momentanen Stromverbrauchs in Deutschland abdecken.<sup>7</sup>

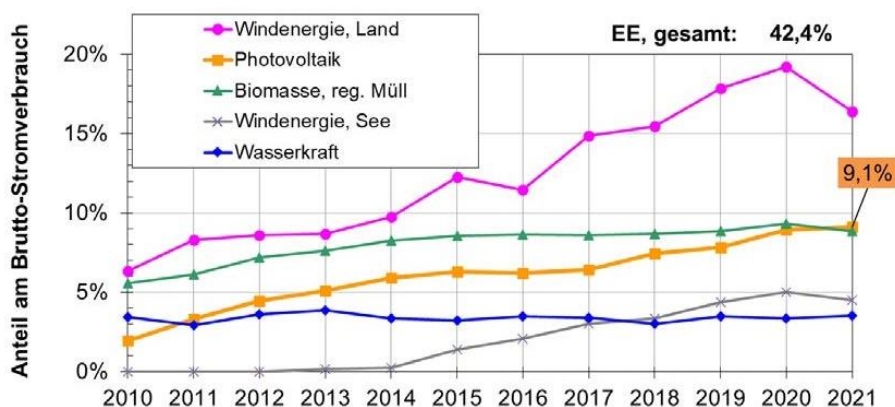


Abb. 2: Entwicklung des PV-Strom-Anteils am Brutto-Stromverbrauch in Deutschland (Fraunhofer ISE 2022, S. 6)

Doch der Anteil der BIPV-Leistung an der gesamten PV-Leistung in Deutschland ist sehr gering. Obwohl sich 2019 ca. 75 % aller Solarstromanlagen auf Dächern befanden<sup>8</sup> und die technischen Möglichkeiten seit vielen Jahren gegeben sind, hat sich der Anteil bauwerkintegrierter PV an der deutschlandweit installierten PV-Leistung von ca. 1 - 2 % im Jahr 2009<sup>9</sup> lediglich minimal auf ca. 2,4 % (13 MWp<sup>10</sup> von 54 GWp<sup>11</sup>) im Jahr 2020 erhöht.

<sup>4</sup> Vgl. Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 7.

<sup>5</sup> Vgl. Fraunhofer ISE 2022, S. 6.

<sup>6</sup> Vgl. ebd., S. 7.

<sup>7</sup> Vgl. ebd.

<sup>8</sup> Vgl. Fraunhofer ISE 2019, S. 1.

<sup>9</sup> Vgl. EPIA 2011, S. 11; ERA 2011, S. 3.

<sup>10</sup> Vgl. AZ 2022.

<sup>11</sup> Vgl. Statista 2022a.



Dabei sind die ökonomischen Voraussetzungen für BIPV sehr gut. Deutschland hat einen großen PV-Markt, dessen Anteil an der regenerativen Stromerzeugung in den letzten Jahren deutlich zugenommen hat. Noch immer gilt die BIPV darin aber als Nischenmarkt, wenngleich als einer mit großem Wachstumspotenzial. Denn während die Kosten für PV-Bauteile sinken, steigen die Strompreise weiter an. Dies macht die Eigenstromerzeugung auch für Endverbraucher/innen immer interessanter. Insbesondere Fassaden, die ohnehin modernisiert werden müssen, bieten viel Potenzial, da die Mehrkosten für PV deutlich weniger ins Gewicht fallen. Aber auch im Neubau bietet sich die Chance geringer Mehrkosten durch eine möglichst frühzeitige Planung der BIPV.<sup>12</sup> Aufgrund der verbesserten Effizienz, neuer spezifischer Normen und weiterer gesetzlicher Vorgaben, prognostizieren Marktforschungsstudien ein starkes weltweites Wachstum des Marktes und eine steigende Nachfrage in ganz Europa.<sup>13</sup> So sieht z. B. der Vorschlag für die Überarbeitung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive/EPBD) der EU-Kommission vom 15.12.2021 vor, dass in allen neuen Gebäuden 100 % des Energieverbrauchs am Standort durch erneuerbare Energien gedeckt werden müssen.<sup>14</sup>

Aktuelle Untersuchungen zeigen auch, dass das vorhandene Flächenpotenzial an Gebäuden in Deutschland den Photovoltaikbedarf im Rahmen der Energiewende bei weitem übersteigt. Die installierbare BIPV-Fläche wird auf insgesamt 5.000 km<sup>2</sup> geschätzt (dies entspricht 1.000 GWp und einem Jahresstromertrag von 671 TWh), wobei 2.800 km<sup>2</sup> (560 GWp) auf Dächer und 2.200 km<sup>2</sup> (440 GWp) auf Fassaden entfallen.<sup>15</sup> Bei einem Zielwert für den Ausbau der gesamten PV-Stromleistung auf 215 GWp bis 2030<sup>16</sup> könnte dieser Bedarf mit nur 21,5 % aller geeigneten Flächen allein an Gebäuden gedeckt werden, ohne weitere Potenziale über Freiflächen, Verkehrswegen und Wasserflächen, an Fahrzeugen oder im Bereich der Agri- oder urbanen PV zu berücksichtigen. Würden in Deutschland alle geeigneten Gebäudehüllflächen aktiviert und tatsächlich 671 TWh BIPV-Solarstrom erzeugt, entspräche dies allein schon 119 % des gesamten Bruttostromverbrauchs, der z. B. 2021 562 TWh betrug<sup>17</sup>.

Weitere wichtige Entwicklungen gab es auch im Bereich der bauaufsichtlichen Unsicherheiten bzgl. erforderlicher Nachweise, die in der Vergangenheit auch dazu beigetragen haben, den breiten Einsatz von BIPV zu hemmen.<sup>18</sup> Die Anstrengungen zielen darauf ab, Vorgaben und Normen zu vereinheitlichen, um die Integration von PV zu erleichtern. Ein wichtiger Schritt war hier z. B. die 2015/2016 neu geschaffene DIN EN 50583 Photovoltaics in buildings, die Anwendungsbereiche und Anforderungen an BIPV-Bauteile begrifflich definiert.

Dabei ist die Bauteilsituation bereits gut.<sup>19</sup> Das Angebot an photovoltaischen Elementen, die sich für eine Integration in die Gebäudehülle eignen, ist in den letzten Jahren deutlich vielfälti-

---

<sup>12</sup> Vgl. AZ 2022.

<sup>13</sup> Vgl. Grandviewresearch 2019.

<sup>14</sup> Vgl. Europäische Kommission 2022.

<sup>15</sup> Wirth et al. 2021, S. 216.

<sup>16</sup> BMWK 2022a.

<sup>17</sup> Vgl. Statista 2022b.

<sup>18</sup> Vgl. Hemmerle 2016a, S. 56.

<sup>19</sup> Für einen Überblick über aktuelle Bauprodukttypen siehe auch Abs. 4.1.

ger und spezifischer geworden. Entwicklungen gab es hier nicht nur im Bereich der Effizienzsteigerung, sondern auch im Bereich der vergrößerten Auswahl an Farben, Oberflächen und Formaten. Hinzu kommen Sonderteile für Einsatzzwecke wie den Sonnen-, Sicht- oder Lärmschutz und eine große Auswahl an Trägermaterialien. Ein kleiner, etablierter Kreis mittelständischer Betriebe fertigt Sondermodule nach Kundenwunsch, aber auch größere Unternehmen bieten neben standardisierten Produkten zunehmend industriell gefertigte, individualisierbare Produkte an.<sup>20</sup>

Zudem hat die PV-Technologie allgemein ein gutes Image in der Gesellschaft im Gegenteil beispielsweise zur Windenergie.<sup>21</sup> Dennoch sprechen Fachleute von einer Krise in der Anwendung von Photovoltaik an Gebäuden und führen dies auch auf gestalterische Vorbehalte zurück.<sup>22</sup>

### 1.1.3 Gestalterische Vorbehalte

Ästhetische Bewertungen einer Technologie wie der BIPV sind schwer zu erfassen und immer auch zielgruppenabhängig. Dennoch gibt es Untersuchungen und Quellen zu gestalterischen Vorbehalten gegenüber der BIPV, die verschiedene Aspekte dieser Thematik aufzeigen.

Die Medienberichterstattung ist in der ästhetischen Bewertung von PV-Anlagen am Gebäude mitunter am drastischsten. Beschreibungen reichen von „schön ist das alles nicht“<sup>23</sup>, über „vergammelte Fleckerlteppiche im Wühltisch-Look“<sup>24</sup> bis hin zu „alles verschandelnden, monströsen Solardächern, die über Jahrhunderte gewachsene Dörfer entstellen“<sup>25</sup> und „Vorgaben, die der Verhässlichung einen weiteren Schub geben werden“<sup>26</sup>. In der zugehörigen Bebilderung stehen hauptsächlich konstruktiv addierte und gestalterisch kaum eingebundene Dach-Anlagen im Fokus.

Auch in der Literatur wird die niedrige Akzeptanz der PV am Gebäude u. a. auf Probleme ihrer optischen Erscheinung zurückgeführt. Weller schreibt: „Dass die Solarstromtechnik trotz ihrer offenkundigen Vorteile [...] weit hinter ihren Anwendungsmöglichkeiten zurückbleibt und häufig nur auf geringe Akzeptanz stößt, liegt auch an ihren ästhetischen Eigenschaften.“<sup>27</sup> Er führt dies auf den Ursprung dieser Eigenschaften im Bereich der Weltraumanwendungen zurück. Eine Optimierung hinsichtlich eines geringen Gewichts und kleinen Packmaßes, die Verwendung von synthetischen, hybriden und metallischen Materialien sowie die Kontextlosigkeit, fehlender Luftwiderstand und Erdanziehungskraft generierten additive Formen, die, wenn sie nur

---

<sup>20</sup> Vgl. Baulinks 2019.

<sup>21</sup> Vgl. Fraunhofer ISE 2022, S.39; Paal/Tagesschau online 2020.

<sup>22</sup> Vgl. Hullmann 2014, S. 1; Solt 2017, S. 28.

<sup>23</sup> Hanno Charisius (2017): Solarenergie. Hässlich, aber notwendig, in: Süddeutsche Zeitung Nr. 196, 26./27.08.2017, S. 35.

<sup>24</sup> Gerhard Matzig (2018): Dings vom Dach, in: Süddeutsche Zeitung Nr. 15, 19.01.2018, S. 18.

<sup>25</sup> Rainer Haubrich (2022): Solardach-Pflicht. Unser Dorf soll hässlicher werden, unter: [www.welt.de/debatte/kommentare/article231602595/Solardach-Pflicht-Unser-Dorf-soll-haesslicher-werden.html](http://www.welt.de/debatte/kommentare/article231602595/Solardach-Pflicht-Unser-Dorf-soll-haesslicher-werden.html) [09.06.2022].

<sup>26</sup> Ebd.

<sup>27</sup> Weller et al. 2009, S. 35.

geringfügig an die Bedingungen auf der Erde angepasst würden, zu „gestalterisch unbefriedigenden Lösungen“ führten.<sup>28</sup> Insbesondere die kristalline Zelltechnologie prägte die allgemeine Wahrnehmung in der Bevölkerung, die von einer Vielzahl negativer Beispiele gefestigt werde, während positive Beispiele noch zu wenig bekannt seien.<sup>29</sup>

Rexroth sieht ebenfalls gestalterische Defizite bei den Modulen als Grund für eine geringe Akzeptanz der BIPV-Technik. Sie schreibt vom „bisher wenig akzeptierten Bauprodukt Solarpaneel“ und weiter: „Gegen eine architekturintegrierte Photovoltaik sprechen bisher Argumente wie ‚eingeschränkte Entwurfsmöglichkeit‘, ‚dominierendes Erscheinungsbild‘ und – im Zwei-, wie im Dreidimensionalen – ‚recht starre Geometrie‘.“<sup>30</sup> Aufgrund des Schwerpunktes ihrer Arbeit verweist sie insbesondere auch auf Befürchtungen des Denkmalschutzes wie z. B. die Verfremdung der Erscheinung eines Gebäudes oder eine Veränderung von dessen Duktus.<sup>31</sup>

Weitere Erkenntnisse hinsichtlich ästhetischer Vorbehalte gibt es auch im Bereich wissenschaftlicher Untersuchungen zur gesellschaftlichen Akzeptanz der BIPV. Der „Technologiebericht 1.3 Photovoltaik“ des Fraunhofer ISE bewertet den Stand des Technologiefeldes Photovoltaik anhand von zwölf Kriterien. BIPV wird dabei gesondert betrachtet und unter dem Kriterium „Gesellschaftliche Akzeptanz“ werden auch designbezogene Aspekte berücksichtigt. Der Bericht bescheinigt der Technologie Photovoltaik grundsätzlich eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz.<sup>32</sup> Bei genauerer Betrachtung der BIPV und einer Differenzierung in die verschiedenen Ebenen Markt-, sozialpolitische und lokale Akzeptanz zeigt sich hier, dass designtechnische Vorbehalte vor allem bei Bauherr/innen, Architekt/innen und Planer/innen bestehen und sich in deren weiterhin zögerlichem Investitionsverhalten in die Technologie widerspiegeln, während die soziopolitische und lokale Akzeptanz „eher hoch“ bis „hoch“ ist<sup>33</sup> (vgl. Abb. 3). Im Bereich der nicht integrierten PV-Dachanlagen wird auch auf lokaler Ebene „vereinzelte Kritik an der Ästhetik“ erwähnt, trotz ebenfalls generell „hoher“ Akzeptanz.

Das europäische Forschungsprojekt PVACCEPT der UdK Berlin, in dessen Rahmen spezielle von Designer/innen und Solarfirmen gestaltete Module in Demonstrationsprojekten angewendet werden, geht ebenfalls der Frage nach, inwieweit Akzeptanzfaktoren wie z. B. die Rolle von Designaspekten die Integration von PV in Gebäude hemmen. In einer begleitenden Akzeptanzstudie wurden u. a. Bürger/innen, Architekt/innen und Denkmalschützer/innen in Deutschland und Italien zum Thema befragt. 40 % der befragten Italiener und Italienerinnen und 25 % der Deutschen empfanden Standard-PV-Installationen generell als schlecht integriert und ästhetisch unansehnlich, während je nach Demonstrationsobjekt 67 - 98 % die gestalterisch integrierte Lösung schätzten.<sup>34</sup> Die Forscher/innen sehen sich somit darin bestätigt, dass die ästhetische Erscheinung die soziale Akzeptanz beeinflusst und kommen zu dem

---

<sup>28</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 35.

<sup>29</sup> Vgl. ebd.

<sup>30</sup> Rexroth 2005, S. 3.

<sup>31</sup> Ebd.

<sup>32</sup> Vgl. Philipps et al. 2017, S. 41.

<sup>33</sup> Ebd., S. 43.

<sup>34</sup> Vgl. Hirsch/IÖW 2005, S. 29-30.

Schluss: „Innovatively designed PV modules, adapted to the specific aesthetic requirements of the installation site, can help to improve acceptance and therefore the distribution of PV.“<sup>35</sup>

| Technologien     | Ebene Markt<br>Marktakzeptanz<br>Kunden, Haushalte, Nutzer, Industrie: Wie viel investieren Marktakteure?  | Ebene Gesellschaft<br>Sozialpol. Akzeptanz<br>Sozio-politische Entwicklungen, gesellschaftliche Stimmung / Diskurse; Image      | Lokale Ebene<br>Lokale Akzeptanz<br>Lokale Konflikte, Klagen, Aktivitäten von Bürgerenergie                     |
|------------------|--|---|---|
| PV-Dachanlagen   | Eher hohe Akzeptanz (2)<br>Prinzipiell gut, erschwert durch komplexe Fördermechanismen (Eigenbedarf, Mieterstrom etc.) und sinkende EEG-Vergütung  | Mittlere Akzeptanz (3)<br>PV als Technologie hat hohe Akzeptanz; kritische Diskurse in Bezug auf die Umverteilung durch das EEG | Hohe Akzeptanz (1)<br>Bis auf vereinzelte Kritik an der Ästhetik, gibt es keine negativen Auswirkungen vor Ort. |
| BIPV-Anwendungen | Eher niedrig (4)<br>Kombinierte Bauelemente (PV und Fassade) erschweren Zulassungen und dadurch kundenspezifische Einzellösungen. Häufig Design-Vorbehalte bei Bauherren, Architekten, Planern. Fehlende, leicht erschießbare rechtliche Rahmenbedingungen | Eher hohe Akzeptanz (2)<br>Siehe PV-Dachanlagen, Bauwerkintegration als solche ohne Akzeptanzprobleme                           | Hohe Akzeptanz (1)<br>Es gibt keine negativen Auswirkungen vor Ort.   |

Bewertung mittels 5-stufiger Skala: Hohe Akzeptanz (1), eher hohe Akzeptanz (2), mittlere Akzeptanz (3), eher niedrige Akzeptanz (4), niedrige Akzeptanz (5)

Abb. 3: Bewertungsraster des Technologieberichts für die Akzeptanz von Photovoltaik (Philipps et al. 2017, S. 43)

Neben den überspitzten Pressestimmen zur ästhetischen Wahrnehmung der PV am Gebäude kann eine ablehnende Haltung in der Gesellschaft also vor allem gegenüber der ästhetischen Erscheinung von nicht-integrierten Anlagen nachgewiesen werden. Insbesondere gestalterisch ambitionierte Bauherr/innen und Planer/innen aber sind eine wichtige Zielgruppe, die sich auch gegen eine integrierte Anlage entscheiden und hierfür neben einem vermeintlich erhöhten Planungsaufwand häufig auch ästhetische Gründe nennen. Viele führen z. B. die fehlende Anpassbarkeit der kristallinen PV-Technik hinsichtlich gestalterischer Kriterien wie z. B. Formaten, Oberflächenwirkungen und Farbigkeit als Hemmnis an, sich überhaupt intensiver mit PV-Bauteilen zu beschäftigen.<sup>36</sup>

<sup>35</sup> Hirschl/IÖW 2005, S. 35.

<sup>36</sup> Vgl. Krippner 2019, S. 31.

### 1.1.4 Gesellschaftliche Akzeptanz für innovatives Design

Gesellschaftliche Akzeptanz ist eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen der Energiewende. Dies bezieht sich auch darauf, dass Nachhaltigkeit im Wesentlichen schon erreicht ist, wenn ein Gebäude lange genutzt wird, denn der größte (energetische) Aufwand steckt im Bau selbst.<sup>37</sup> Auch zusätzliche Funktionen der Bauteile, Kostensenkungen, rechtliche Vereinfachungen u. a. haben eine positive Auswirkung auf die gesellschaftliche Akzeptanz. Bei der Verbreitung von BIPV aber gibt es einige Hürden. Gute Gestaltung soll diese Hürden und ihnen zugrunde liegende Vorbehalte abbauen und so Akzeptanz in der Gesellschaft für diese nachhaltige Technik erreichen, um ihre Verwendung zu fördern und damit zum Schutz von Klima und Umwelt beizutragen. Doch Durchsetzung und breite Wirkung von guter Gestaltung sind, unabhängig davon, ob dies die Bereiche Architektur, Produktdesign oder Mode betrifft, als ein Prozess zu begreifen. Neue Technologien bieten die Chance auf Innovation, die eventuell zunächst nur von interessierten und professionellen Gestaltern und Gestalterinnen erkannt und gefördert wird. Dadurch aber nimmt ihre Reichweite zu und weitet sich aus. Am Ende wirkt gute Gestaltung umfassend und trifft bei vielen Menschen auf breite Akzeptanz.

Spürbarer Fortschritt in Forschung und Entwicklung fördert die Akzeptanz neuer Technologien, die die Geschichte der Architektur immer wieder maßgeblich beeinflusst haben. Die möglichen Gestaltungsformen sind dabei ein wesentlicher Faktor. Dies ist nicht nur bei der PV zu sehen, sondern spiegelt sich auch in der Geschichte anderer (Bau-) Materialien wider. Die Produktion des Float-Glases war z. B. eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von Vorhangfassaden und die Verfügbarkeit von Stahl ermöglichte den Bau von Aufzügen und damit von Hochhäusern. Insbesondere aber wenn diese neuen Techniken an der Gebäudehülle sichtbar werden, werden sie zu einer gestalterischen Aufgabenstellung für Architekt/innen.<sup>38</sup> Auch Solartechnik am Gebäude bietet die Chance, die Formensprache der Architekturgestaltung zu erweitern und mit neuen architektonischen Konzepten ein hohes gestalterisch inspirierendes Potenzial zu erschließen.

Einige Vorreiter/innen haben dieses Potenzial früh für sich erkannt und haben als erste begonnen, mit Solartechnik zu gestalten und zu experimentieren. Neben den bereits genannten Vorreitern wie Thomas Herzog oder Georg Feinhals, sind es oft auch Künstler/innen, die die Möglichkeiten neuer Technologien experimentell ausloten. Als Beispiele für solche künstlerischen Experimente zu erwähnen sind hier die photoaktiven Fassaden am Projekt „Boxenstopp“ von Daniel Hausig (2000) und am „Soft House“ von Kennedy & Violich Architecture (2008), die mit Lichtzellen bestückt tagsüber gesammelte Energie nachts in Form von Licht ins Innere abgeben. In der jüngeren Vergangenheit sind auch Akteure wie z. B. Beat Kämpfen oder Karl Viridén zu nennen, die sich intensiv mit dem ästhetischen Potenzial der PV auseinandersetzen und bei ihrer Gestaltung immer wieder neue Maßstäbe setzen – sowohl mit der erweiterten Bandbreite individualisierter Bauteile als auch mit Standardmodulen.

Um Innovation zu erkennen und zu fördern, ist es wichtig weitere ambitionierte Architekten und Architektinnen zu gewinnen. Eine besondere Rolle in dieser Anfangsphase der BIPV spielen

---

<sup>37</sup> Vgl. Haas/DGNB 2015.

<sup>38</sup> Vgl. Hullmann/Willkomm 2005, S. 1.

dabei auch Wettbewerbe wie z. B. der „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“, der vom Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) ausgelobt wird, der „Schweizer Solarpreis“ der Solar Agentur oder der „Europäische Solarpreis“ und der „Deutsche Solarpreis“ der Europäischen Vereinigung für Erneuerbare Energien e.V. (EUROSOLAR). Die steigende Zahl der Einreichungen zeigt dabei, wie diese Wettbewerbe an Anerkennung gewinnen. Sie würdigen herausragende Beiträge, machen auf beispielhafte Lösungen aufmerksam und versuchen damit Architekt/innen auf Fachebene zu überzeugen.

Letztlich wird gute Gestaltung nicht durch statistische Mehrheit entschieden. Doch sie wirkt in der Breite, ähnlich wie dies z. B. auch bei millionenfach verkauften Produkten der Fall ist, und spricht dann ein großes Publikum an. So kann gute Gestaltung auch der BIPV helfen, Vorbehalte abzubauen und die derzeitigen Hürden zu überwinden – für eine breite Akzeptanz und eine größere Verbreitung.

## 1.2 Relevanz – BIPV und Umweltschutz

Die Energieproduktion am Gebäude ist ein wichtiger Baustein der nachhaltigen Energieversorgung. Mit der wachsenden Erdbevölkerung steigt auch der Energieverbrauch, während fossile Rohstoffe zur Neige gehen. Um die Umwelt zu schützen, den Wandel des Erdklimas zu stoppen und die natürlichen Lebensgrundlagen aller Lebewesen zu erhalten, ist es unumgänglich, die Energieerzeugung durch fossile Energieträger zu einer nachhaltigen Versorgung durch erneuerbare Energien zu transformieren.

Derzeit wird der Energiebedarf der Menschheit zu ca. 80 % aus fossilen Brennstoffen gedeckt<sup>39</sup> (vgl. Abb. 4), deren aktueller Verbrauch die Entstehungszeiträume von Jahrtausenden bei weitem übersteigt. Zudem entstehen bei ihrer Umwandlung in Energie klimaschädliche Treibhausgase wie z. B. Kohlendioxid. Gleichzeitig trifft jährlich über 3.000 Mal so viel Sonnenenergie allein auf die Landmassen der Erde wie von der Menschheit verbraucht wird.<sup>40</sup> Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung muss es sein, eine ausgeglichene Bilanz aus nachhaltig erzeugten und verbrauchten Energien zu erreichen.

Die Energiewende in Deutschland verfolgt dabei zwei Kernziele: die Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am gesamten Energieverbrauch und die Steigerung der Energieeffizienz (jeweils in den drei Sektoren Strom, Wärme und Verkehr).<sup>41</sup> Mit der Verabschiedung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2023 am 07.07.2022 wurden die bis dahin gültigen Ausbauziele noch einmal deutlich angehoben. Derzeit soll beispielsweise der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch u. a. durch einen jährlichen Zubau von PV-Leistung in Höhe von 22 GW bis 2030 80 % betragen.<sup>42</sup>

---

<sup>39</sup> REN21 2021, S. 28.

<sup>40</sup> Vgl. Schittich 2003, S. 9.

<sup>41</sup> Vgl. BMWK 2022b.

<sup>42</sup> Vgl. ebd.

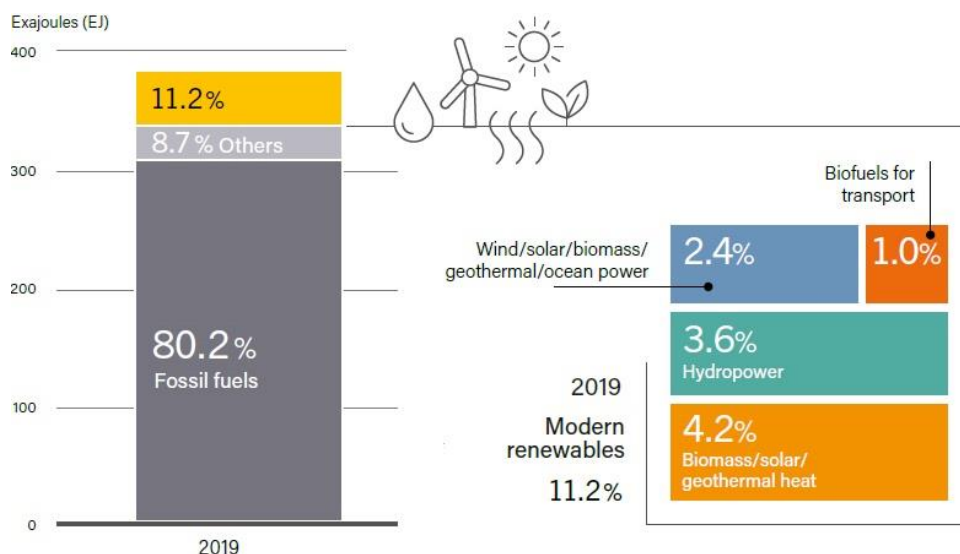


Abb. 4: Derzeitige Energieherstellung weltweit (REN21 2021, S. 28)

Bei genauerer Betrachtung der drei Energiebereiche Strom, Verkehr und Wärme zeigt sich aber auch, dass das EEG als eine zentrale Säule der Energiewende insbesondere die Rolle der Stromerzeugung in Deutschland beeinflusst hat. Die Energiewende hat bisher hauptsächlich in diesem Bereich stattgefunden und hier zu einem dynamischen Wachstum geführt. Eine große Herausforderung bleibt der Energiebedarf des Verkehrs- und des Wärmebereichs. Während 2021 über 40 % des verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Quellen stammten (vgl. auch Abb. 2), gibt es im Wärme- und Verkehrssektor seit Jahren keine signifikanten Verbesserungen (vgl. Abb. 5).<sup>43</sup> Doch der Strombereich hat auch eine sektorübergreifende Bedeutung, denn aufgrund seiner besonders hochwertigen Energieform besteht großes Potenzial, Strom im Verkehr z. B. in Form von Elektroantrieben und in der Wärme z. B. in Form von elektrischen Radiatoren zu nutzen und dadurch wiederum weitere nachhaltige Potenziale zu erschließen.

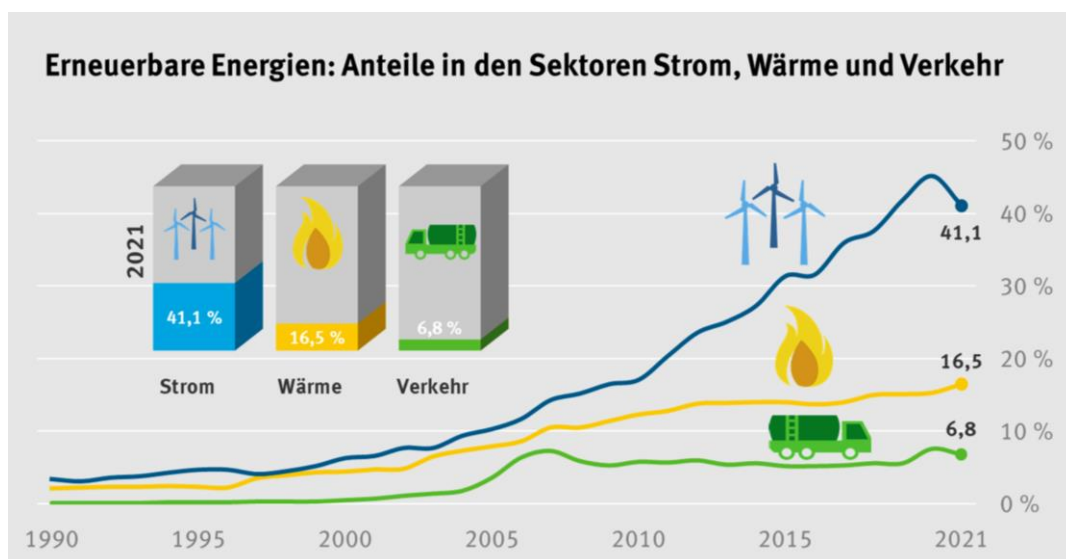


Abb. 5: Anteile der erneuerbaren Energien in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr (UBA 2022)

<sup>43</sup> Vgl. UBA 2022.

Von allen erneuerbaren Energieträgern ist Strom aus Photovoltaik eine der wichtigsten Technologien im Vergleich. Photovoltaik ist durch ihre speziellen Eigenschaften eine der umweltfreundlichsten und emissionsärmsten Technologien überhaupt. Elektrizität wird mit ihrer Hilfe direkt, lautlos, ohne bewegliche Teile, mit minimalem Wartungsaufwand und ohne Schadstoffemissionen erzeugt. Ihr modulares Prinzip ermöglicht flexible Systemgrößen für jeden Bedarf, da der Wirkungsgrad eines Solarstromsystems nur zu einem geringen Anteil auf der Anlagengröße basiert. Dabei ist das Potenzial solarer Energie nahezu unerschöpflich.

Die Verwendung von bauwerkintegrierter PV bietet im Vergleich zu Freiland-Anlagen zahlreiche weitere Vorteile. Dezentral an Gebäudefassaden erzeugter Strom nutzt vorhandene Flächen- und Infrastrukturpotenziale und dient überwiegend dem Eigenverbrauch zu der jeweiligen Tageszeit, in der er erzeugt wird. Dies reduziert Transportverluste. Überschüssige Strommengen werden in der Regel direkt im Mittel- und Niederspannungsnetz verwendet und müssen nicht mit hohen Transformationsverlusten ins Hochspannungsnetz eingespeist werden. Zudem werden die Verteilernetze durch BIPV gleichmäßiger ausgelastet, wenn die Leistungsspitzen im Tagesverlauf aufgrund der unterschiedlichen Ausrichtung der Anlagen gleichmäßiger verteilt werden. Die BIPV-Technologie unterstützt so die Netzintegration der gesamten PV.<sup>44</sup> Zudem werden die Verbraucher und Verbraucherinnen unabhängiger von großen Stromanbietern und ihre Energiekosten sinken. Gleichzeitig sensibilisiert die Nähe der Stromerzeugungsanlage zu den Benutzer/innen deren Energiebewusstsein. Zudem verhalten sich Ertrag und Generatorfläche aufgrund des modularen Prinzips annähernd proportional. So rentieren sich bereits kleine Anlagen, die sich auch mit verhältnismäßig geringen finanziellen Mitteln erwerben lassen. Zu den wichtigsten Vorteilen von BIPV im Vergleich zu Aufdach-Anlagen aber zählt die Substitution konventioneller Bauteile wie Dach- oder Fassadenmaterialien. Dadurch werden sie zu multifunktionalen Bauteilen, die neben ihrer Eigenschaft, Strom zu erzeugen, weitere Aufgaben übernehmen können wie die Abdichtung gegen Wasser, Wetter- und Sonnenschutz, Schall- und Wärmedämmung, Lichtlenkung und andere mehr.

### 1.3 Stand der Forschung

Bereits in den 1970er und 80er Jahren entstanden frühe Arbeiten, die die architektonische Integration von Solarenergie-Anlagen im Fokus industriellen Fertigbaus untersuchen, so z. B. am Institut für Industrialisierung des Bauens an der Universität Hannover. Eine dieser ersten Arbeiten ist die Dissertation Heinz Hullmanns<sup>45</sup>, der 1977 Wechselbeziehungen zwischen Solarkollektoren und Wohngebäuden hinsichtlich funktionaler und konstruktiver Verträglichkeit untersucht und dabei auch mögliche Gestaltungsprinzipien aufzeigt. Eine ausgewogene Berücksichtigung formaler Kriterien empfindet er aber noch als verfrüht angesichts des damaligen Stands der Technik. Einen ähnlichen Ansatz verfolgt Ghanem Degheili-Abdallah, der 1982 zu

---

<sup>44</sup> ERA 2011, S. 5.

<sup>45</sup> Vgl. Heinz Hullmann (1977): Wechselbeziehungen zwischen Solarenergie-Anlagen und Gebäude bei der Integration von Solarkollektoren in Dach- und Wandflächen, Dissertation, Universität Hannover.



den damaligen Integrationsmöglichkeiten für Solarzellen forsch.<sup>46</sup> Auch er kommt zu der Erkenntnis, dass der Einfluss der Solartechnik auf die Gestaltung vielschichtig ist und die Erscheinung eines Gebäudes wesentlich beeinflussen kann. Große gestalterische Potenziale sieht er zur damaligen Zeit in der ganzflächigen Bedeckung von Gebäudeoberflächen oder Bauteilen und in der Multifunktionalität von Fassadenbauteilen – Ansätze, die auch heute noch verfolgt werden.

Othmar Humm und Peter Toggweiler veröffentlichen 1993 mit „Photovoltaik und Architektur“ das erste Grundlagenwerk zum Thema mit 50 Projektbeispielen bereits gebauter Lösungen und geplanter Modelle.<sup>47</sup> Sie umreißen sowohl die technischen als auch die gestalterischen Herausforderungen und zeigen, wie ökologische, technische und ästhetische Aspekte miteinander verwoben sind. Mit ihrem Werk belegen sie insbesondere aber auch die Realisierbarkeit der Integration solarer Bauteile in die Gebäudehülle.

1996 veröffentlichen Friedrich Sick und Thomas Erge vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme im Auftrag der International Energy Agency den Forschungsbericht „Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers“.<sup>48</sup> Der Band ist das Ergebnis des Fünfjahresprogramms „Photovoltaik in Gebäuden“ im Rahmen des Solarheiz- und -kühlprogramms der Internationalen Energieagentur, an dem Architekt/innen und Solarexpert/innen aus 13 Ländern in allen Teilen der Welt teilnahmen. Das Handbuch ist eine Planungsanleitung, mit dem alle Gebäudedesigner und -designerinnen die Photovoltaik in Gebäuden zu einer architektonisch ansprechenden und energieeffizienten Option machen können.

Ingo Hagemann trägt in seiner Dissertation<sup>49</sup> 2002 dann erstmals systematisch Grundwissen über sinnvolle Integrationsmöglichkeiten von Photovoltaik an Gebäuden zusammen. Rekapituliert und vertieft werden Grundkenntnisse über Photovoltaiktechnik, solare Bauteile und ihre gestalterisch relevanten Eigenschaften. Der Schwerpunkt liegt eher auf den Möglichkeiten baukonstruktiver Integration, aber auch die Wechselwirkungen zwischen energetischen, baukonstruktiven und gestalterischen Anforderungen werden in den Fokus gerückt. In diesem Zusammenhang analysiert Hagemann elf Beispiele „gestalterisch gelungener Integration der PV“<sup>50</sup>. Die Besonderheit der Arbeit sind die zahlreichen Bildtafeln im Anhang, die einen vor allem graphischen Überblick geben über die Eigenschaften von PV-Zellen und -Modulen, über Integrationstechniken und -felder und über mehr als 100 Projektbeispiele gebäudeintegrierter Photovoltaik (aus den 1990er Jahren). Hagemann gibt mit seiner Arbeit einen Überblick über die gestalterischen Möglichkeiten und signifikante Merkmale der Gestalt von PV-Elementen

---

<sup>46</sup> Vgl. Ghanem Degheili-Abdallah (1982): Architektonische Aspekte der Integration von Solarzellenanlagen in Wohngebäude, Dissertation, Universität Hannover.

<sup>47</sup> Vgl. Othmar Humm/Peter Toggweiler (1993): Photovoltaik und Architektur: Die Integration von Solarzellen in Gebäudehüllen.

<sup>48</sup> Vgl. Friedrich Sick/Thomas Erge (1996): Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineering.

<sup>49</sup> Vgl. Ingo Hagemann (2002): Gebäudeintegrierte Photovoltaik: Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle, Dissertation, RWTH Aachen.

<sup>50</sup> Hagemann 2002, S. 142-165.

und erörtert anhand von elf analysierten Beispielen auch „mögliche Gestaltungsabsichten“<sup>51</sup> näher, diese werden aber nicht weiter systematisiert.

2003 betrachtet Silke Krawietz die unterschiedlichen Integrationsformen von Photovoltaik am Gebäude im Hinblick auf die Effizienz unterschiedlicher Integrationsarten und die Ausrichtung in verschiedenen Klimaregionen (55°N-47°N) in Europa in Form einer detaillierten Studie.<sup>52</sup> In einem Projektteil werden 13 verschiedene Beispiele bauwerkintegrierter Photovoltaik anhand objektiver Vergleichskriterien bewertet. Diese Vergleichskriterien werden als sogenannte *TOUGHNESS*-Kriterien (Typ, Ort, Umgebung, GiPV-Form, Hindernisse, Neigung, Ertrag, spezifischer Ertrag und Spitzenwert des spezifischen Ertrags) beschrieben, die jeweils die Herausforderung der sinnvollen Integration von PV abbilden. Die Ergebnisse werden auch graphisch dargestellt und nach Dach- und Fassadenintegration differenziert. Die Gestaltung von BIPV wird dabei als ein Einflussfaktor für die Effizienz betrachtet, genauso wie optische Merkmale und technischen Eigenschaften des jeweils verwendeten PV-Typs. Krawietz kommt hierbei zu dem Ergebnis, dass der Zellentyp (mono-, polykristallin, Dünnschichtzellen) in Kombination mit der Farbe (grau, blau, schwarz etc.) entscheidend ist für den erzielten spezifischen Jahresertrag.<sup>53</sup> Die Stärke der Prägung der Gestalt eines Gebäudes durch BIPV hat dagegen keinen direkten Einfluss auf die Effizienz.<sup>54</sup>

Der Schwerpunkt der Dissertation von Susanne Rexroth<sup>55</sup> liegt auf der Untersuchung der gestalterischen Auswirkung funktionaler Abhängigkeiten bei BIPV an Baudenkmalern. Hierfür analysiert die Autorin die gestalterischen Eigenschaften von PV-Modulen als Baumaterial und deren architektonische Bedeutung. Konkret werden übergeordnete Entwurfsansätze und formale Möglichkeiten der Integration aufgezeigt und anhand von Problemfeldern Anforderungen für zukünftige Bauteilentwicklungen abgeleitet. Gestalterische Aspekte der Integration von PV-Bauteilen werden unter der Zielvorgabe betrachtet, das Erscheinungsbild eines denkmalgeschützten Gebäudes nicht zu verfremden und die Grundsätze ihrer Technologie gerade nicht zum Gestaltungsprinzip zu erheben.

In ihrer Dissertation von 2009 untersucht Christina Rullán Lemke weltweit den Zusammenhang zwischen Gebäudeformen und den Möglichkeiten, über ihre Oberflächen solare Energie zu gewinnen bei gleichzeitiger Minimierung thermischer Verluste.<sup>56</sup> Methodisch bilanziert die Autorin thermische Verluste und solare Gewinne an 64 Gebäudeformen, an 42 weltweiten repräsentativen Standorten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Parameter zu Dämmstandard, solarem Wirkungsgrad, Belegungsgrad und Ausrichtung des Gebäudes. Um den enormen Re-

---

<sup>51</sup> Hagemann 2002, S. 142.

<sup>52</sup> Vgl. Silke Krawietz (2003): Gebäudeintegration von Photovoltaik (GiPV) in Europa, Dissertation, TU Darmstadt.

<sup>53</sup> Vgl. ebd., S. 123. Die Autorin untersucht z. B., ob eine starke Prägung der Gebäudegestalt durch die PV einen Einfluss auf den erzielten spezifischen Jahresertrag hat, stellt aber fest, dass diese nicht entscheidend ist.

<sup>54</sup> Vgl. ebd., S. 130-131.

<sup>55</sup> Vgl. Susanne Rexroth (2005): Gestaltungspotenzial von Solarpaneelen als neue Bauelemente - Sonderaufgabe Baudenkmal, Dissertation, UdK Berlin.

<sup>56</sup> Vgl. Christina Rullán Lemke (2009): ArchitekturForm & SolarEnergie: eine globale Formenstudie zur Untersuchung des Einflusses der Gebäudegeometrie auf Potenziale solarer Energieversorgung über die Gebäudehülle, Dissertation, TU Hamburg.

chenaufwand zu bewältigen, entwickelt sie ein eigenes Simulationsprogramm. Das Ergebnis der Arbeit zeigt, dass weltweit ein großes Potenzial in der solaren Formoptimierung von Gebäuden besteht, insbesondere bei nicht rechtwinkligen, unkonventionellen Formen. Gestaltungsansprüche an BIPV werden dabei allerdings bewusst ausgeklammert, ebenso funktionelle und technische Komponenten sowie deren Wechselwirkungen.<sup>57</sup> Photovoltaik wird als eine Art abstrakte Haut verstanden und mit unterschiedlichen Wirkungs- und Belegungsgraden untersucht. Es geht dabei aber nicht um Vorgaben aus Modulgrößen bzw. -rastern, speziellen Technologien oder Systemen integrierter PV, auch wenn die PV-Module als „flächig und hüllenintegriert“<sup>58</sup> vorausgesetzt werden.

Insgesamt wurde bauwerkintegrierte Photovoltaik bisher vielfach thematisiert auf dem Gebiet der Produktforschung und -entwicklung. Im Bereich der architektonischen Integration finden sich dagegen nur wenige Arbeiten. Viele frühe Dissertationen z. B. aus den 1980er-Jahren haben energietechnische Schwerpunkte und beziehen sich vor allem auf regionale und klimatische Zusammenhänge. In vielen betrachteten Arbeiten wird von ästhetischen Bewertungen abgesehen, oder diese werden rein fallspezifisch vorgenommen. Erst Anfang der 2000er-Jahre entstanden erste Arbeiten im Fachbereich Architektur, die schwerpunktmäßig die technische und konstruktive Einfügung behandeln aber auch gestalterische Aspekte thematisieren. Überwiegend werden also konstruktive Möglichkeiten der Integration von PV in die Gebäudehülle dargestellt und dabei vereinzelt auch gestalterisch relevante Eigenschaften solarer Bauteile aufgezeigt. Nicht näher betrachtet werden allerdings konkrete Entwurfskonzepte oder Gestaltungsprinzipien. Die vorliegende Arbeit versucht, diese Forschungslücke zu schließen, indem Prinzipien der ästhetischen Wirkungsqualität von Gebäuden auf den Bereich der Integration von PV-Bauteilen in die Gebäudehülle transferiert werden. Unter Berücksichtigung der spezifischen funktionalen und technischen Anforderungen können so Kriterien systematisiert werden für die Gestaltung von bauwerkintegrierter Photovoltaik, um letztlich einer breiteren Akzeptanz der BIPV den Weg zu bereiten.

## 1.4 Einordnung und Begründung

Das entwerferische Denken im Kontext technologischen Fortschritts erfolgt oftmals verzögert.<sup>59</sup> So wurde das ästhetische Potenzial wegweisender Technologien in ihren Anfängen in der Architektur häufig nicht voll ausgeschöpft. Dieses Dissertationsvorhaben ist motiviert von der Hypothese, dass es möglich ist, durch Erforschung und Nachweis wesentlicher Gestaltungskriterien und ihrer Anwendung auf die BIPV, weiteres ästhetisches Potenzial dieser Technologie zu erschließen und zu größerer Akzeptanz in Folge guter Gestaltung beizutragen.

Die Bedeutung guter und sehr guter Gestaltung in der Architektur ist hoch. Ihre Bewertung aber unterliegt immer auch subjektiven Empfindungen und individueller Gestaltwahrnehmung.<sup>60</sup> Was Menschen als gute Gestaltung empfinden, ist abhängig von persönlichen, kultur-

---

<sup>57</sup> Vgl. Rullán Lemke 2009, S. 101.

<sup>58</sup> Ebd., S. 99.

<sup>59</sup> Vgl. Menges/Hensel 2008, S. 19.

<sup>60</sup> Vgl. Bielefeld 2013, S. 77; Gänshirt 2011, S. 208.

geprägten Sehgewohnheiten und wird häufig mit den Ausdrücken „angemessen“, „angenehm“ oder „nicht störend“ beschrieben. Gute Gestaltung ist zunächst also oft das, was als angenehm empfunden wird bzw. was fast niemanden stört. Die Beurteilung von Architekturqualität liegt also immer im Auge des Betrachters. Doch genau wie das Wissen über spezifische Gestaltungsmittel das Ergebnis beeinflusst, beeinflusst es auch die Beurteilung von Gestaltung, die so zwischen Laien und Fachleuten häufig sehr unterschiedlich ausfällt. Ansätze wie dem Kontext entgegenstehende Andersartigkeit oder überraschende Neuinterpretationen konventioneller Formen, Farben etc. zählen ebenfalls zu guter Gestaltung und sind oft nicht mit dem Mehrheitsgeschmack kompatibel. Dies zeigt, dass gute Gestaltung nicht aus einer breiten Mehrheitsentscheidung hergeleitet werden kann. Doch auch wenn gute und sehr gute Gestaltung häufig vor allem unter Expert/innen diskutiert werden, ist in der Disziplin der Architektur und insbesondere für diese Arbeit auch der Mehrheitsgeschmack eine zu berücksichtigende Größe, wenn es darum geht, Potenziale und Akzeptanz zu erhöhen.

Der Systematisierung von Gestaltungskriterien im Bereich BIPV kommt also eine hohe Bedeutung zu. Grundlage von Kriterien für die Beurteilung gestalterischer Qualität sind wesentliche Gestaltungstheorien und historische Diskurse sowie aktuelle Forschungen im Bereich des gestaltenden Entwerfens. Berücksichtigt werden muss allerdings, dass dabei nicht absolute Objektivität anzustreben ist, sondern vielmehr eine systematische Grundlage für eine gemeinsame Suche nach Gestaltungsqualität im Diskurs der Meinungen. Dabei wird es in Einzelfällen der subjektiven Einschätzung bzw. Entwurfshaltung überlassen bleiben, ob zum Beispiel ein örtliches Umfeld in einer bestimmten Situation gestaltprägenden Wert für eine neu zu integrierende Architektur haben soll, die den Ort stabilisiert und verstärkt, oder ob das Neue eher durch eigene Gestaltqualität einen Kontrapunkt gegen das Vorhandene setzen soll, um den Ort umzuwerten oder neu zu entwickeln. Dennoch können intersubjektiv konsensfähige Kriterien eine Entscheidungsgrundlage bieten im Rahmen von Gestaltungsprozessen. Zudem kann ein Katalog solcher Kriterien auch als Gestaltungswerkzeug fungieren und weitere Potenzialbereiche aufzeigen für gute Gestaltung wie z. B. Flächen- oder Bauteilpotenziale und damit zu weiterer Akzeptanz und Verbreitung beitragen.

## 2 Problemstellung und Vorgehensweise

Nach der Einleitung in die Arbeit fassen die folgenden Ausführungen die bereits aufgezeigte Problemstellung des großen ästhetischen Potenzials der BIPV bei gleichzeitig stagnierender Verbreitung aufgrund gestalterischer Vorbehalte zusammen. Das Forschungsziel, wesentliche Kriterien für die Gestaltung von BIPV zu ermitteln, die zu größerer Akzeptanz beitragen können, wird detailliert beschrieben und in fünf leitenden Forschungsfragen konkretisiert. Durch das Aufzeigen von Eingrenzungen auf die Integration photovoltaischer Bauteile in die Gebäudehülle von Neubauten sowie das Erläutern der methodischen Kombination von analytischer Recherche und Projektanalyse wird dargelegt, wie im Rahmen dieser Arbeit ein Kriterienkatalog für die Gestaltung von BIPV synthetisiert werden kann.

### 2.1 Problemstellung

Obwohl der Anteil photovoltaisch erzeugten Stroms steigt und trotz des großen Potenzials von BIPV, ist der Anteil der am Gebäude integrierten PV an der insgesamt installierten PV-Leistung in Deutschland mit 2,4 % immer noch sehr niedrig. Wie gesehen wurde BIPV vielfach thematisiert, insbesondere im Bereich Produktforschung und -entwicklung, und dennoch spricht man von einer Krise in der Anwendung. Zielführend zu sein verspricht in dieser Frage, wie bereits angedeutet, die Bemühung um objektive Kriterien für die Beurteilung gestalterischer Qualität auf der Grundlage wesentlicher Gestaltungstheorien und historischer Diskurse sowie aktueller Untersuchungen im Bereich der Architekturgestaltung und des gestalterischen Entwerfens.<sup>61</sup>

Verschiedene Aspekte verdeutlichen das große Potenzial der BIPV. Zum einen sind die ökonomischen Voraussetzungen sehr gut. Deutschland hat einen großen PV-Markt, dessen Anteil an der regenerativen Stromerzeugung in den letzten Jahren stark gewachsen ist. Die Kosten für PV-Bauteile sinken und Marktforschungsstudien prognostizieren ein starkes, weltweites Wachstum und eine steigende Nachfrage in ganz Europa. Zudem machen steigende Strompreise die Eigenstromerzeugung interessant für Verbraucher. Auch die gesetzlichen Voraussetzungen haben sich deutlich verbessert. Neue spezifische Normen und Richtlinien, wie z. B. die DIN EN 50583 Photovoltaics in Buildings oder die EU-Gebäuderichtlinie EPBD, schaffen rechtliche Rahmenbedingungen und reduzieren Grauzonen. Auch das Angebot geeigneter Bauteile, deren Effizienz stetig steigt, wächst und bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Zahlreiche, prämierte Beispiel-Projekte auch in anderen (europäischen) Ländern belegen dies bereits. Des Weiteren besteht ein hohes Flächenpotenzial an vorhandenen Gebäuden in Deutschland, das geeignet wäre, den gesamten Strombedarf allein mit BIPV zu decken.

Dem stehen zielgruppenabhängig neben bauaufsichtlichen, rechtlichen und wirtschaftlichen Gründen auch unterschiedlich starke ästhetische Vorbehalte gegenüber der PV am Gebäude gegenüber. Aufgezeigt werden kann, dass die von der Optik der kristallinen Zelltechnologie

---

<sup>61</sup> Vgl. Friedrich Ch. Wagner (2015): Ein Gestaltungshandbuch für Architekten und Designer; Margitta Buchert/Laura Kienbaum (2013): Einfach entwerfen: Wege der Architekturgestaltung; Bert Bielefeld (2013): Basics Entwurf; Horst Ermel (1999): Grundlagen des Entwerfens; Pierre von Meiss (1994): Vom Objekt zum Raum zum Ort: Dimensionen der Architektur; Francis D. K. Ching (1991): Die Kunst der Architekturgestaltung als Zusammenklang von Form, Raum und Ordnung.

geprägte öffentliche Meinung sich vorrangig gegen konstruktiv und gestalterisch addierte Lösungen richtet und deren Akzeptanz negativ beeinflusst, während insbesondere gestalterisch ambitionierte Bauherr/innen und Architekt/innen auch ästhetische Vorbehalte bezüglich der Planungsfreiheit und der formal-gestalterischen Verträglichkeit gegenüber der BIPV-Technologie haben.

Hier setzt die vorliegende Arbeit an und untersucht den Umstand, dass, obwohl großes Potenzial rund um die BIPV besteht, die Verbreitung dieser Technologie insbesondere aufgrund von gestalterischen Vorbehalten stagniert.

## **2.2 Zielsetzung und leitende Fragestellungen**

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist es der BIPV-Technologie zu mehr Verbreitung zu verhelfen und hierfür ästhetischen Vorbehalten mit dem Aufzeigen von Gestaltungskriterien zu begegnen. Hierfür werden anhand von fünf Forschungsfragen die Grundlagen stimmiger Architekturgestaltung und ihrer Wirkungsqualität unter Berücksichtigung spezifischer technischer und funktionaler Anforderungen auf den Bereich der Gestaltung von BIPV übertragen.

### **2.2.1 Forschungsziel**

Die BIPV birgt neben den ökologisch-technischen Vorteilen auch ein großes ästhetisches Potenzial, das bisher zwar nicht ausgeschöpft, an zahlreichen „Leuchtturm“-Beispielen aber bereits sichtbar wird. Dieses Dissertationsvorhaben ist motiviert von der Hypothese, dass es möglich ist, durch Erforschung und Nachweis wesentlicher Gestaltungskriterien und ihrer Anwendung auf die BIPV, zu größerer Akzeptanz in Folge guter Gestaltung beizutragen.

Bisher wurde im Zusammenhang mit PV-Bauteilen schwerpunktmäßig die technische und konstruktive Einfügung thematisiert. Diese Arbeit soll nun einen Forschungsbeitrag zum Thema BIPV aus dem Blickwinkel der Architekturgestaltung leisten und die Relevanz ästhetischer Kriterien aufzeigen. Vielfach wird der Integrationsprozess selbst von Seiten der Gebäudetechnik oder der Hersteller betreut. Da die Integration von PV aber erhebliche Auswirkungen auf das Erscheinungsbild eines Gebäudes, seine Ausrichtung und die funktionalen Abläufe im Inneren haben kann, sollte die Gestaltung der integrierten PV-Anlage in dem Kontext stattfinden, in dem diese Entwurfparameter gesetzt werden. Architekt/innen sind die Gestaltgeber/innen eines Gebäudes und sichern seine ästhetische und funktionale Qualität. In diesem Sinne gilt ihr Interesse an Photovoltaik insbesondere der Frage, wie solaraktive Bauteile gestalterisch in die Gebäudehülle integriert werden können. Zudem bestimmt bereits der Entwurf maßgeblich den Umfang der technischen Ausrüstung und den späteren Energiebedarf eines Gebäudes.

Der Nutzung regenerativer Energien und hier insbesondere der BIPV-Technik kann zu einer größeren Anwendung und Akzeptanz verholfen werden, wenn gestalterischen Vorbehalten mit weiteren Beispielen gelungener Gestaltung entgegnet werden kann. Denn Belege erfolgreicher architektonischer Einfügung können dazu beitragen, Vorbehalte abzubauen, die Akzeptanz für die BIPV-Technik zu steigern und ihre Verbreitung zu fördern, die ein wichtiger Baustein der Energiewende ist.

Der Aspekt der gestalterischen Integration von BIPV wird in der Forschung immer wieder als wichtig herausgestellt<sup>62</sup> und es gibt viele Übersichtsarbeiten zu den Möglichkeiten der Gestaltung mit BIPV. Bisher wurden diese Ansätze aber nicht vertieft und systematisch untersucht. Indem aber hier allgemeine Prinzipien der Architekturgestaltung auf den Bereich der Gestaltung mit BIPV angewendet werden, können neue Erkenntnisse gewonnen werden für eine Systematisierung von allgemeingültigen Gestaltungskriterien für die BIPV, um diese Forschungslücke zu schließen.

Ziel ist es, allgemeingültige Gestaltungskriterien herauszustellen auf Grundlage wesentlicher Gestaltungstheorien und historischer Diskurse sowie aktueller Forschungen im Bereich des gestaltenden Entwerfens. Denn obwohl ästhetische Aspekte in der Architektur vielfach subjektiv diskutiert werden, ist die Definition von Architekturqualität immer auch stark geprägt von Prinzipien der (visuellen) Wahrnehmung, vom jeweiligen gesellschaftlichen Kontext und allgemeineren Theorien der Kunst. Für die Ableitung von Gestaltungskriterien für BIPV soll untersucht werden, welche ästhetischen Grundwerte der fortlaufenden Auseinandersetzung über Prinzipien von Schönheit in der Architektur zugrunde liegen und wie diese in die wichtigsten allgemeingültigen Gestaltungskriterien differenziert werden können, um sie auf den Bereich der BIPV-Gestaltung abzuleiten.

### 2.2.2 Forschungsfragen

Das Forschungsziel lässt sich anhand folgender Forschungsfragen veranschaulichen:

#### *Grundlagen architektonischer Gestaltung (Kap. 3)*

1. Welche Konzepte und Strategien für gute und stimmige Architekturgestaltung lassen sich anhand der Theorien ästhetischer Architekturgestaltung nachvollziehen?
2. Wie entsteht dabei architektonische Wirkungsqualität und mit welchen Kriterien lässt sich diese belegen?

#### *Gestaltung von BIPV (Kap. 4)*

3. Inwiefern sind diese Gestaltungskriterien transferfähig für die Gestaltung von BIPV?
4. Wie beeinflussen Funktion und Technik die Formfindung?
5. Welche Hemmnisse gibt es und wie lassen sich diese lösen?

## 2.3 Einschränkungen

Aufgrund des großen Umfangs der Thematik, werden folgende Einschränkungen vorgenommen:

### 2.3.1 Abgrenzungen

Solarthermische Bauteile werden nicht betrachtet, da der sinnvolle Einsatz dieser Technik auf Nutzungen mit einem hohen Wärmebedarf beschränkt ist. Zudem ist elektrische Energie hochwertiger als thermische und leichter umwandelbar in andere Energieformen, sodass damit alle

---

<sup>62</sup> Vgl. Krippner 2016, S. 8; Weller et al. 2009, S. 9; Schittich 2003, S. 11.

anfallenden Bedarfe bis hin zu Elektromobilität gedeckt werden können. Des Weiteren führt eine großflächige Anwendung von Solarthermie schnell zu großen, nicht verwendbaren Überschüssen, Verteilungs- und saisonalen Speicherproblemen, wohingegen elektrische Überschüsse aufgrund der vorhandenen Verteilernetze im Gebäudeumfeld problemlos und gewinnbringend eingespeist werden können.

Auch wirtschaftliche Betrachtungen werden ungeachtet der großen Bedeutung der damit zusammenhängenden Fragen aus der vorliegenden Untersuchung ausgeschlossen, da sich ökonomische Voraussetzungen gerade in diesem Bereich stetig stark verändern, in hohem Maße von politischen Situationen abhängig sind und folglich hierzu gewonnene Einsichten schnell zu veralten drohen. Erarbeitet wird aber ein Exkurs bzgl. der Schnittstellen zur Wirtschaftlichkeit (vgl. Kap. 7), da die Bedeutung der Bauteilkosten in der Praxis einen großen Einfluss auf die initiale Entscheidung für die Integration von PV hat.

Nicht berücksichtigt werden außerdem Denkmalschutz-Fragen, da der Denkmalschutz spezifischen Zielvorgaben folgt, wie z. B. den Kunstwert und den Zeugnischarakter eines Objekts möglichst nicht zu beeinflussen und dessen Erscheinungsbild und seine Bausubstanz weitgehend unverändert zu erhalten.

Ähnliches gilt für die Verwendung von BIPV-Bauteilen bei der Weiterentwicklung, Umgestaltung und Sanierung von Gebäuden. Auch diese Projekte werden im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet, da es sich in der Regel um Sonder- und Einzelfälle handelt, die sich für eine Ableitung allgemeingültiger Kriterien nicht eignen.

### 2.3.2 Eingrenzungen

Die Untersuchungen dieser Arbeit beziehen sich auf denjenigen Teilbereich der Architektur, der sich mit der Gestaltung der sichtbaren und damit vorrangig gestaltungsrelevanten Gebäudehülle befasst. Noch stärker als das Dach zeigt dabei die Fassade eines Gebäudes, wie es konstruktiv, aber auch räumlich organisiert ist. Vor allem aber prägt sie als „Gesicht“ eines Gebäudes dessen Ausdruck und die Beziehung zu seiner Umgebung. Photovoltaische Bauteile gestalterisch in die Gebäudehülle zu integrieren, beeinflusst ein Gebäude insbesondere auf dieser Ebene.

Die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Form, Funktion und Technik bezieht sich auf die Herausforderung von Architekt/innen und Planer/innen, Anforderungen der Nutzung mit den speziellen systemtechnischen Voraussetzungen aktuell verfügbarer PV-Bauteile zu einer ansprechenden Gestaltwirkung zu vereinen. Der Begriff der „Form“ wird in diesem Zusammenhang als „formaler Ausdruck“ synonym zum Begriff der „Gestaltwirkung“ verwendet, da er für diese Arbeit eingängig und im Sinne der Vitruvianischen Trias „Firmitas, Utilitas, Venustas“, übersetzbar in „Konstruktion, Funktion, Form“, heute z. B. auch für den Begriff der „Anmut“ gebräuchlich ist.<sup>63</sup> Die hier durchzuführenden Untersuchungen der funktionalen Wechselwirkungen beziehen sich auf Aspekte der Gestaltung von BIPV, die sich aus der Berücksichtigung von Nutzungsanforderungen ergeben, die an sie als Bestandteile der Gebäu-

---

<sup>63</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 15, 82.



dehülle gestellt werden (vgl. Abs. 4.1.2). Bezüglich der Wechselwirkungen mit der Technik werden Aspekte der Gestaltung von BIPV zu untersuchen sein, die sich aus der Berücksichtigung letztlich ertragsbeeinflussender systemtechnischer Voraussetzungen ergeben (vgl. Abs. 4.1.1).

Die weitere Fokussierung der Arbeit, die sich aus der Auswahl der „best practice“-Beispiele aus dem Untersuchungsteil der Projektstudie ergibt, wird in Abschnitt 5.3 erläutert.

## **2.4 Methodische Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit**

Die Architektur als Einzelwissenschaft setzt sich aus verschiedenen Gebieten der Kunst-, Human-, Natur- und Technikwissenschaften zusammen, die mit unterschiedlichen Methoden erschlossen werden. Diese fachliche Heterogenität macht die Architekturforschung sowohl multidisziplinär als auch multimethodisch.<sup>64</sup> Eine Erforschung von Kriterien für die Gestaltung von BIPV behandelt sowohl künstlerische Prinzipien als auch die materielle Substanz photovoltaischer Bauteile sowie die technisch-konstruktiven Methoden ihrer Herstellung und Anwendung. Damit entspricht sie der zentralen Aufgabenstellung der Architekturforschung: der Strukturierung und Konzeptionierung komplexer, heterogener Systeme.

### **2.4.1 Einordnung der gewählten Methode**

Für die vorliegende Studie bietet sich die disziplinübergreifend angewandte Methode der qualitativen Untersuchung an. Sie bietet die Möglichkeit, eine analytische Literaturrecherche mit einer Projekt-Untersuchung zu kombinieren und Grundlagenforschung mit konkreten Anwendungszielen zu verbinden. Darüber hinaus eignet sich die theoretische Ableitung von Hypothesen im Rahmen einer analytischen Recherche für vielfältige Arten von Medien.

### **2.4.2 Methodische Vorgehensweise**

Die Argumentationslinie der Arbeit beruht darauf, dass die Grundlagen architektonischer Gestaltung, basierend u. a. auf den Prinzipien visueller Wahrnehmung, zeigen, wie die Anwendung bestimmter projektunabhängiger Gestaltungsprinzipien zu einer Architekturqualität führt, die von einer Mehrheit der Menschen als harmonisch und angenehm empfunden wird. Dies sind Kriterien wie z. B. proportionale Gliederung oder Maßstäblichkeit (Kap. 3).

Um die Verbreitung von BIPV zu erhöhen, hilft die Berücksichtigung von Gestaltungskriterien mit der Zielvorgabe, visuell angenehme Ergebnisse zu erzielen, die verhindern, dass PV am Gebäude als Fremdkörper wahrgenommen wird. Dafür können die zuvor analysierten allgemeingültigen Gestaltungskriterien auf den Bereich der BIPV-Gestaltung transferiert werden. Zusätzlich müssen die speziellen Anforderungen, die PV-Bauteile als „aktive“ Bauteile stellen und die zu Wechselwirkungen mit funktionalen und technischen Anforderungen führen, und die verschiedenen Ziele bei der Gestaltung bzgl. des Gestaltprägungsgrads durch die PV berücksichtigt werden (Kap. 4).

---

<sup>64</sup> Vgl. Trautz 2012, S. 6.

Die Analyse von Wettbewerbsgewinnern im Rahmen einer Projektstudie ermöglicht es, die ermittelten Gestaltungskriterien auch an „best practice“-Beispielen zu untersuchen (Kap. 5).

Durch die Synthese der wichtigsten wissenschaftlichen Ergebnisse der Arbeit können schließlich die Kriterien für die Gestaltung von BIPV in Form eines Katalogs systematisiert werden. Zudem werden die am Anfang der Arbeit gestellten Forschungsfragen abschließend beantwortet und kritisch diskutiert bezgl. der Verifizierung der eingangs aufgestellten Thesen und der Erreichung des Ziels des gesamten Vorhabens (Kap. 6).

### 2.4.3 Begriffsklärungen

Einige Begriffe, die zum Verständnis des Themas und der Gesamtarbeit erforderlich sind, sollen hier erläutert werden. Weitere Termini, die nur für einzelne Abschnitte wichtig sind, werden in den entsprechenden Kapiteln definiert.

#### Solararchitektur

Der Begriff der Solararchitektur bezieht sich im Rahmen dieser Arbeit auf den Bereich der aktiven Stromerzeugung am Gebäude mithilfe der Photovoltaik. Allgemein kann der Begriff, wie die synonym verwendeten Ausdrücke „Solarbau“ und „Solares Bauen“, aber auch weiter gefasst werden und sich auf jegliche Architektur beziehen, die die Ressource Sonnenenergie in Form von Wärme, Licht oder Strom auf aktive oder passive Weise nutzt.<sup>65</sup> Der Begriff „Solararchitektur“ wurde bereits in den 1980er Jahren geprägt und entstand ursprünglich im Zuge von Gebäude-Experimenten, die mit Südorientierung, hohem Verglasungsanteil und Speichermassen ausgestattet waren. Es zeigte sich aber, dass Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle deutlich größere Erfolge brachten als die reine Maximierung passiver Solargewinne. Darauf aufbauend wurden die Ansätze solaren Bauens ständig weiterentwickelt und seither viele weitere Erkenntnisse gewonnen.<sup>66</sup> Die aktuelle Solararchitektur ist heute weniger typisiert, sondern umfasst individuell jegliche aktive und passive Sonnenenergienutzung sowie Kombinationen hieraus.

#### Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV)

Im Gegensatz zur gebäudeintegrierten Photovoltaik (GIPV) ist der Begriff der bauwerkintegrierten Photovoltaik (engl.: building integrated photovoltaics) umfassender, denn der Bauwerksbegriff ist deutlich weiter gefasst als der Gebäudebegriff. Ein Gebäude schließt Räume ein, die betreten werden können, wohingegen z. B. auch eine Brücke oder ein Sendemast ein Bauwerk sein können. Weiterhin existiert noch der Begriff der gebäudeintegrierten Solartechnik (GIST), der auch andere Technologien wie z. B. die Solarthermie berücksichtigt, denn auch diese spielt eine zentrale Rolle im Bereich der dezentralen Energieversorgung. Die vorliegende Arbeit befasst sich jedoch ausschließlich mit der Photovoltaik. Ein wichtiges Merkmal der BIPV als System ist, dass sie nicht nur der Energieerzeugung dient. Photovoltaische Module gelten dann als bauwerkintegriert, wenn sie als Bauteil eine Funktion des Gebäudes übernehmen. Wird das Modul abmontiert, bedeutet dies, dass es durch ein geeignetes Bauteil er-

---

<sup>65</sup> Vgl. Hegger 2003, S. 13.

<sup>66</sup> Vgl. Stark 2004, S. 21.

setzt werden müsste.<sup>67</sup> Wesentlich ist in der Regel zudem, dass die BIPV „gestaltbestimmendes Element der Gebäudehülle“<sup>68</sup> ist. Es sei denn, eine Unsichtbarkeit von bestimmten Standpunkten aus wäre in besonderen Fällen, wie z. B. im Bereich des Denkmalschutzes, explizit gewollt.

#### 2.4.4 Aufbau der Arbeit

Nachdem in der Einleitung der Ausgangspunkt der Arbeit, der aktuelle Stand der BIPV, die Relevanz dieser Technik für den Umweltschutz und der Stand der Forschung dargelegt wurden und eine allgemeine Einordnung und Begründung des Dissertationsvorhabens erfolgt ist, widmet sich das aktuelle Kapitel 2 einer Übersicht über Problemstellung, Zielsetzung, Einschränkungen, die methodische Vorgehensweise und den Aufbau der Arbeit.

In Kapitel 3 wird das zu behandelnde Thema im Rahmen der theoretischen Grundlegung in einen allgemeinen Kontext der Architekturgestaltung eingeordnet und daraus die Basis der Argumentation erarbeitet. Diese erfolgt als analytische Recherche und ermöglicht, auf der Grundlage von Literatur zu Architekturtheorie, architektonischem Entwerfen und Architekturgestaltung allgemeingültige Gestaltungskriterien abzuleiten und systematisiert darzustellen.

Die analytische Recherche wird in Kapitel 4 fortgesetzt, das zum Verständnis erforderliche Grundlagen der BIPV-Systemtechnik vermittelt sowie verfügbare Bauteile und die unterschiedlichen Akteure und Ziele bei der Gestaltung von BIPV aufzeigt. Im Hauptteil werden die Gestaltungskriterien aus Kapitel 3 hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im Kontext der Gestaltung von BIPV analysiert und unterschiedliche Zielstellungen diskutiert. Auch die Einflüsse von Funktion und Technik werden untersucht und im Hinblick auf ihre hemmende oder synergetische Wirkung differenziert.

In Kapitel 5 werden die auf BIPV anzuwendenden Gestaltungskriterien anhand der Analyse von 13 Projektbeispielen aktueller Wettbewerbsgewinner des vom Solarenergiefördervereins Bayern (SeV) ausgelobten „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“ überprüft, die in Form von Steckbriefen vergleichend dargestellt werden sollen. Diese Projektanalyse schließt Vor-Ort-Untersuchungen ein. Die genaue methodische Vorgehensweise im Rahmen der Projektstudie wird gesondert in Abschnitt 5.2 dargestellt.

Im 6. Kapitel werden die theoretischen Erkenntnisse der analytischen Recherche und die Ergebnisse der Projektstudie zusammengestellt, Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Hinblick auf die übergeordnete Problemstellung herausgearbeitet und Kernaussagen synthetisiert. Auf der Basis der Grundlagen architektonischer Gestaltung und der Gestaltung von BIPV sowie der Analyse der Projektbeispiele werden die Gestaltungskriterien für BIPV inkl. der individuellen Wechselwirkungen mit funktionalen und technischen Anforderungen verifiziert, bewertet und abschließend in Form eines Kriterienkatalogs zusammengefasst.

---

<sup>67</sup> Dieser Grundsatz ist auch in der DIN EN 50583 Photovoltaics in buildings definiert, die festlegt, ab wann ein PV-Modul bzw. ein PV-System als bauwerkintegriert gilt. Vgl. Erban 2016, S. 42.

<sup>68</sup> Krippner 2016, S. 7.

Kapitel 7 beinhaltet aufgrund der hohen Relevanz für die Praxis einen Exkurs zu Schnittstellen zwischen den Inhalten der Arbeit und ökonomischen Aspekten.

Die Arbeit schließt mit der Zusammenfassung aller gewonnenen Ergebnisse und einer abschließenden Beantwortung der in Kapitel 2 formulierten Forschungsfragen. Zusätzlich zeigt das Fazit offene Fragestellungen auf und gibt einen Ausblick auf weitere Perspektiven des behandelten Themas.

## 3 Grundlagen architektonischer Gestaltung

Grundlagen architektonischer Gestaltung beschreiben, wie die Prinzipien des Zusammenfügens einzelner Elemente zu einem Körpergebilde dessen Wirkung bestimmen. Gebäude bestehen in der Regel aus einer Vielzahl von Elementen, die in Beziehung zueinander und zum Ganzen stehen und Einfluss auf dessen Erscheinung nehmen. Die hier durchzuführenden Analysen beziehen sich vorrangig auf die Gestaltung der Gebäudehülle.

Die Wirkung eines Gebäudes wird maßgeblich davon beeinflusst, wie menschliche Wahrnehmung, insbesondere die visuelle Wahrnehmung, funktioniert. Ein Gebäude wirkt auf jeden Menschen anders, und dennoch lassen sich Muster und Regeln feststellen darüber, was viele als „schön“ empfinden und wie Gebäude „gut und stimmig“ gestaltet werden können. Diese zugrundeliegenden Prinzipien sollen hier aufgezeigt werden.

Dabei haben sich die Kriterien für Schönheit im Laufe der Jahrhunderte immer wieder verändert. Dies kann anhand der Theorien ästhetischer Gestaltung im Rahmen der Architekturtheorie seit der Antike nachvollzogen werden. Abhängig von geschichtlichen Ereignissen und gesellschaftlichen Zusammenhängen werden Wahrnehmungsgrundlagen, Empirie und Wirkungsqualität in ästhetischen Theorien zunehmend mehr berücksichtigt. Dabei wird die Vorstellung von „schöner“ Architektur immer individueller, subjektiver und spezifischer. Dennoch sind konstante Kriterien ablesbar.

Ziel dieses Kapitels ist die Darstellung allgemeingültiger Gestaltungskriterien in der Architektur.

### 3.1 Visuelle Wahrnehmung

Die sinnliche Wahrnehmung von Architektur erfolgt überwiegend visuell und kinästhetisch. Dabei beruht sie auf physiologischen und psychologischen Prinzipien der geistigen Verarbeitung von Wahrgenommenem. Kenntnisse über verschiedene Wahrnehmungsphänomene helfen, die Wirkungsweise von Gestaltungsprinzipien zu verstehen. Zu visueller Wahrnehmung und Architekturgestaltung liegt heute umfangreiche wissenschaftliche Forschung vor.<sup>69</sup>

#### 3.1.1 Wahrnehmungsphysiologie

Verschiedene wahrnehmungsphysiologische Prinzipien wie z. B. wie das räumliche Sehvermögen oder das Farb- und Scharfsehen sind auf Eigenschaften des Auges zurückzuführen wie z. B. die Beschaffenheit der Netzhaut, die Anpassungsfähigkeit von Pupille und Linse u.a. In den hier dargestellten wahrnehmungsphysiologischen Grundlagen werden diese Prinzipien

---

<sup>69</sup> Vgl. z. B. Wolfgang Metzger (1937): *Gesetze des Sehens*; Bruno Zevi (1948): *Saper vedere l'Architettura*; Rudolf Arnheim: *Kunst und Sehen: Eine Psychologie des schöpferischen Auges* (1954) und *Die Dynamik der architektonischen Form* (1977); Ernst Gombrich (1984): *Bild und Auge*; Pierre von Meiss (1994): *Vom Objekt zum Raum zum Ort: Dimensionen der Architektur*, S. 27-41; Kurt Grütter (2015): *Grundlagen der Architektur-Wahrnehmung*; Ulf Jonak (2015): *Architekturwahrnehmung: Sehen und Begreifen*; Alexandra Abel/Bernd Rudolf (2018): *Architektur wahrnehmen. Zur Entwicklung dieser Forschung zur Wahrnehmung von Kunst und dazu, welche Beiträge wesentlich waren für die Anwendung von Wahrnehmungsprinzipien auf den Bereich der Architekturgestaltung*, siehe auch Abs. 3.2.7.

insbesondere im Sinne der Aufnahme, Verarbeitung und Weiterleitung von Reizsignalen behandelt.

### Aufbau des menschlichen Auges

Die wichtigsten Bestandteile des menschlichen Auges sind die Hornhaut, die Pupille, die Linse und die Netzhaut (vgl. Abb. 6).<sup>70</sup> Die Hornhaut ist der durchsichtige vordere Bereich der Lederhaut, die den Augapfel in der Augenhöhle hält und deren Muskeln seine Drehung ermöglichen. Als Pupille wird der innere Teil der Iris bezeichnet. Die Muskeln der Iris verändern die Größe der Pupille je nach Lichteinfall. Die Linse befindet sich direkt hinter der Pupille und ist von einem Ziliarmuskelring umgeben, durch den die Linse bei einer Nähenfokussierung zusammengezogen wird. Sie fokussiert die Lichtstrahlen und projiziert sie auf die Netzhaut. Als gelber Fleck (Fovea) wird die Stelle des schärfsten Sehens bezeichnet und als blinder Fleck die Stelle, an der der Sehnerv aus dem Auge austritt. Der Ablauf des komplexen, biochemischen Prozesses, in dem die Rezeptoren der Netzhaut Lichtsignale in elektrische Signale umwandeln, die über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet und dort zu Bildern verarbeitet werden, lässt sich bis heute nicht vollständig erklären.<sup>71</sup>

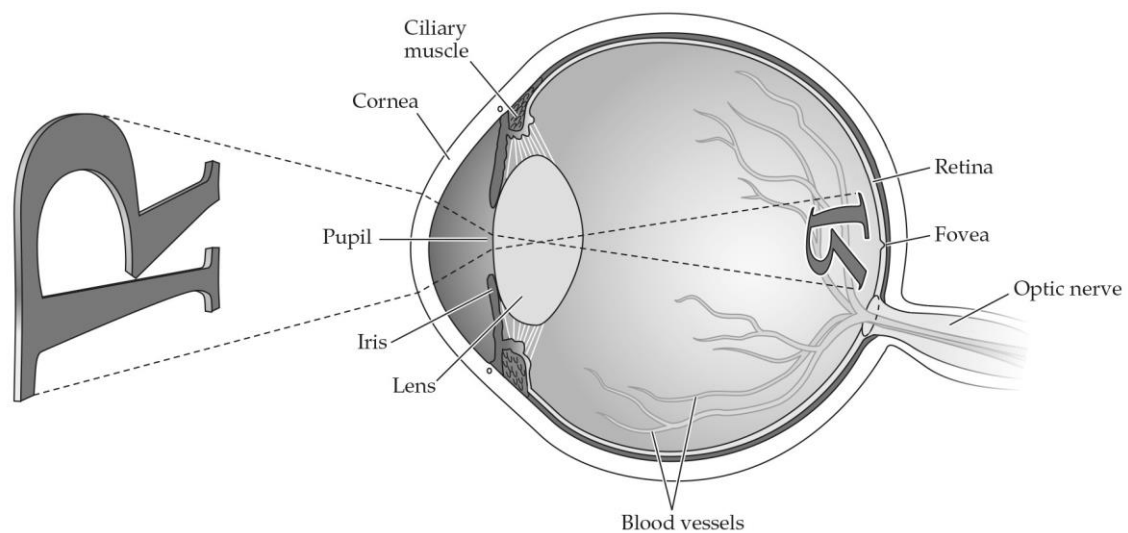


Abb. 6: Aufbau des Auges (Querschnitt) als Ausgangspunkt für die Formulierung wahrnehmungsphysiologischer Prinzipien (Breedlove/Watson 2016, S. 176)

### Räumliches Sehen

Das stereoskopische Sehen, also die beidäugige Betrachtung, ermöglicht Tiefenwahrnehmung und räumliches Sehen. Wesentliche Voraussetzungen hierfür sind zwei Augen mit koordinierter Muskelsteuerung und Netzhautkorrespondenz, die Objekte jeweils aus einem geringfügig anderen Winkel betrachten. Im Sehzentrum des Gehirns werden die beiden Einzelbilder zu einem räumlichen Bild zusammengesetzt. Zur Betrachtung näherer Objekte kann der Augapfel von der Augenmuskulatur nach innen bewegt werden, bei Entfernungen unter zwei Metern passen sich die Augenlinsen an. Die Tiefenschärfe ist definiert als kleinster

<sup>70</sup> Vgl. Breedlove/Watson 2016, S. 176.

<sup>71</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 16.

Tiefenunterschied, der unter optimalen Umständen aus einer bestimmten Distanz wahrgenommen werden kann, und beträgt bei 1 m ca. 0,5 mm, bei 50 m noch 1 m, bei 500 m schon über 100 m und ab 2,5 km sind auch größte Unterschiede nicht mehr wahrnehmbar.<sup>72</sup> Dabei unterliegt das Auge optischen Täuschungen. Es schätzt vertikale Dimensionen größer ein als horizontale, da es ihre Ausdehnung weniger genau ermitteln kann. Zudem wirken nach oben zurückweichende Wände senkrecht, nach oben gebogene Stufen, Gesimse etc. waagrecht.<sup>73</sup> Schon in der griechischen Antike wurde diesem Eindruck mit einer leichten Krümmung entgegengewirkt, eine exakte Begründung für den zugrundeliegenden Effekt ist allerdings bisher nicht bekannt. Zeitgleich interpretieren Menschen räumliche Tiefe aber auch anhand ihrer Erfahrung über die Größe von Objekten (vgl. Abs. 3.1.2).

### Farbsehen

Menschen nehmen einen Teil der elektromagnetischen Strahlung als Licht wahr. Dieses sichtbare Spektrum liegt ca. zwischen 380 nm und 740 nm (vgl. Abb. 7). Licht setzt sich aus Lichtwellen unterschiedlicher Wellenlängen zusammen. Sind alle Wellenlängen vertreten wie näherungsweise bei Sonnenlicht, spricht man von „weißem Licht“. Licht bestimmter Wellenlängen wird als Spektralfarbe wahrgenommen, die z. B. durch ein Prisma sichtbar gemacht werden kann.

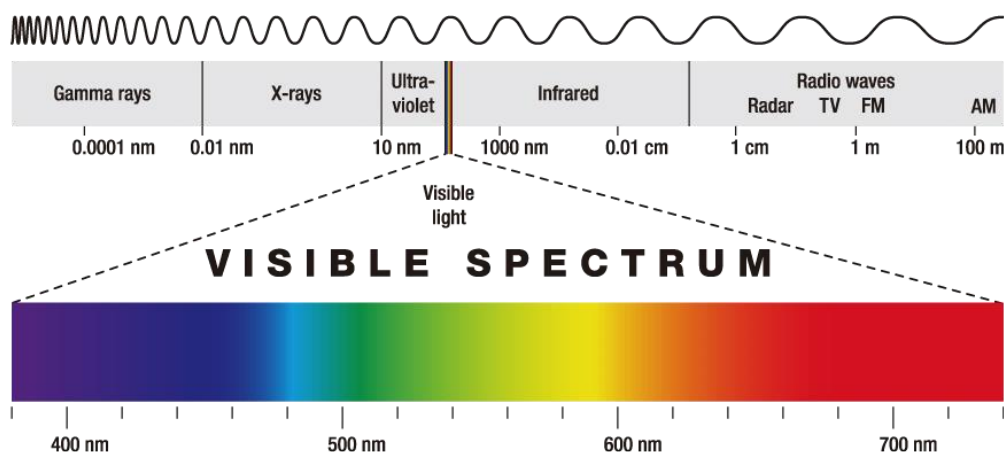


Abb. 7: Elektromagnetisches Strahlungsspektrum und für den Menschen sichtbares Farbspektrum (BenQ Corporation)

Die Lichtrezeptoren der Netzhaut lassen sich in zwei Typen unterscheiden: Stäbchen und Zapfen im Verhältnis von 18 Stäbchen zu einem Zapfen. Von den Stäbchen gibt es nur einen Typ, sie messen die Helligkeit. Die Zapfen unterteilen sich in drei Typen unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit, sie messen die Farbanteile. Gemäß den Erkenntnissen zur neuronalen Verarbeitung von Farbinformationen kann Farbe nach Farbton, Sättigung und Helligkeit definiert werden.<sup>74</sup> Das Farbsehen ist von hoher Bedeutung für die Orientierung im Raum, denn es bietet neben der Formwahrnehmung eine entscheidende weitere Dimension an Unterschei-

<sup>72</sup> Vgl. Metzger 2006, S. 92.

<sup>73</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 48.

<sup>74</sup> Vgl. Arnheim 2000, S. 343.

dungsmerkmalen. Ein roter Fleck auf blauem Grund z. B., der sich nicht durch einen Helligkeitsunterschied oder andere Anhaltspunkte unterscheidet, wäre sonst nicht erkennbar.<sup>75</sup> Als Adaption bezeichnet man die Fähigkeit der Netzhaut, sich an Helligkeitsunterschiede zu gewöhnen, wobei sie von der Weitanpassung der Pupille unterstützt wird. Dies ist sowohl relevant bei einem schnellen Wechsel von einer dunklen in eine helle Umgebung als auch umgekehrt und erklärt auch, weshalb Blendeffekte, die eine starke Adaption erfordern, als sehr unangenehm empfunden werden. Über die reine elektro-chemische Reizweiterleitung hinaus haben aber auch sozio-psychologische Faktoren Einfluss auf die Farbwahrnehmung.

### Scharfsehen

Stäbchen und Zapfen sind ungleichmäßig verteilt. In den Randbereichen der Netzhaut sind nur die sehr viel lichtempfindlicheren Stäbchen vorhanden, weshalb das Scharfsehen bei Tag und Nacht verschieden ist. Bei Dämmerlicht ist die Sehschärfe am Rand des Gesichtsfeldes hoch, bei Tageslicht ist sie im mittigen Bereich am größten. Menschen sehen nur das scharf, was sie direkt anschauen. Dabei stellt das Auge ein betrachtetes Objekt scharf, indem es das einfallende Licht des fixierten Objektes durch die Linse auf die Netzhaut lenkt. Je nach Entfernung des Objekts ändert sich die Form der Linse und damit ihr Brennpunkt. Liegt der Brennpunkt direkt auf der Fovea, dem Bereich der größten Schärfe, ist das Bild am schärfsten. Dies bedeutet aber auch, dass der Bereich scharfkonturierter und farbigen Sehens relativ klein ist. Er beträgt lediglich 2° des Gesichtsfeldes.<sup>76</sup> Der Effekt, dass durch die Anpassungsfähigkeit der Linse sowohl nahe als auch ferne Objekte scharfgestellt werden können, wird als Akkommodation bezeichnet.<sup>77</sup>

### Ruhe- und Tastbild

Das Ruhebild beschreibt einen ungefähr runden Ausschnitt der Umgebung, den das menschliche Auge auf einmal erfassen kann. Es entspricht ca. einer Kreisausschnittsfläche von 54° in der Breite, 27° nach oben und 10° nach unten.<sup>78</sup> Der Durchmesser entspricht in etwa der Entfernung zum Objekt. Beim Tastbild wandert das Auge über ein Objekt. Dann entspricht der Wahrnehmungsbereich (Gesichtsfeld) einer Größe von ca. 180° in der Horizontalen und 130° in der Vertikalen.<sup>79</sup> Die Größe dieser Gesichtsfelder oder eventuell auch Lesefelder sollte bei der Größenausbildung von Bauteilen berücksichtigt werden (vgl. Abb. 8). Objekte oder Räume, die Menschen auf einen Blick erfassen können, geben ein Gefühl der Geborgenheit, zu niedrige Decken können wiederum aber auch bedrückend wirken. Hohe Objekte, die das Auge erst abtasten muss, um sie zu erfassen, wirken dagegen frei und erhaben. Ein „tastendes“ Auge hangelt sich an Widerständen entlang, wie z. B. strukturierenden Elementen an der Außenwand eines Gebäudes. Diese können so auch ganz bewusst in bestimmten Abständen eingesetzt werden, um eine Fassade zu rhythmisieren.<sup>80</sup>

---

<sup>75</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 324.

<sup>76</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 77.

<sup>77</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 23.

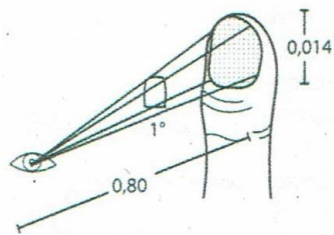
<sup>78</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 48.

<sup>79</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 77.

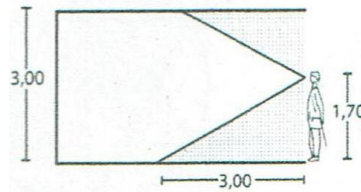
<sup>80</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 48.



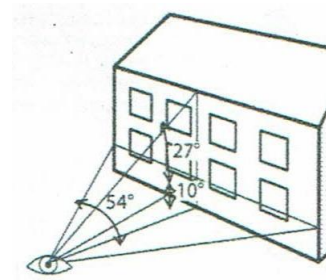
### Ruhebild



Das scharfe Sehfeld eines starren Auges auf einer Distanz von 80 cm entspricht dem Umkreis von 1°.

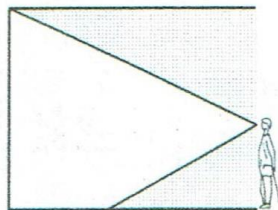


Ein Raum erscheint „auf einen Blick“.



Ausschnitt des Ruhebildes eines menschlichen Auges beim Betrachten einer Fassade.

### Tastbild



Das Auge tastet nach oben, um z. B. einen hohen Raum über das Ruhebild hinaus zu erfassen.

Abb. 8: Unterschiedlich große Bereiche der Wahrnehmung (Gesichtsfelder) bei Ruhe- und Tastbild (Neufert/Kister 2012, S. 48)

### 3.1.2 Wahrnehmungspsychologie

Die Wahrnehmungspsychologie bezieht sich auf den subjektiven Anteil der Wahrnehmung, der durch die Sinnesphysiologie nicht erklärbar ist. Der komplexe Vorgang der Perzeption, der den Unterschied beschreibt zwischen dem, was Lebewesen objektiv mit ihren Sinnesorganen erfassen, und dem, was sie subjektiv wahrnehmen, kann anhand einiger grundlegender Prinzipien veranschaulicht werden, die auch für den Bereich der Architekturwahrnehmung relevant sind.

#### Gestaltgesetze

Die optische Wahrnehmung als Teil der Gestalttheorie befasst sich mit der Tendenz des menschlichen Gehirns, prägnante Elemente zu bevorzugen und fehlende Teile zu einer einfachen Form zu ergänzen.<sup>81</sup> Diese Ansätze entstanden als Gestaltpsychologie Anfang des 20. Jahrhunderts. Heute sind sie eine über die Psychologie hinaus relevante Metatheorie, die auf Forschungsarbeiten von Goethe, von Ehrenfels, Wertheimer, Köhler, Koffka, Metzger u. a. zurückgeht (vgl. auch Abs. 3.2.7). Wichtige Vertreter im Bereich der Kunstpsychologie sind z. B. Arnheim, Gombrich und Duncker. Die Gestalttheorie befasst sich insbesondere mit der Entstehung von Ordnung im psychischen Geschehen, in der Wahrnehmung ebenso wie im

<sup>81</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 21.

Denken, Fühlen und Verhalten, also mit wahrnehmungspsychologischen Prinzipien der gesamten Erlebniswelt des Menschen. Dabei geht die Gestalttheorie davon aus, dass wahrnehmungspsychologische Phänomene nicht aus der Summe von Einzelementen entstehen, sondern auf dem ganzhaften Charakter einer Gestalt beruhen, ihrer einheitlichen Konfiguration und der individuellen Erfahrung mit dieser Gestalt.<sup>82</sup> Die wichtigsten Erkenntnisse Wertheimers hierzu können in Form von Gestaltgesetzen formuliert werden (vgl. Abb. 9).

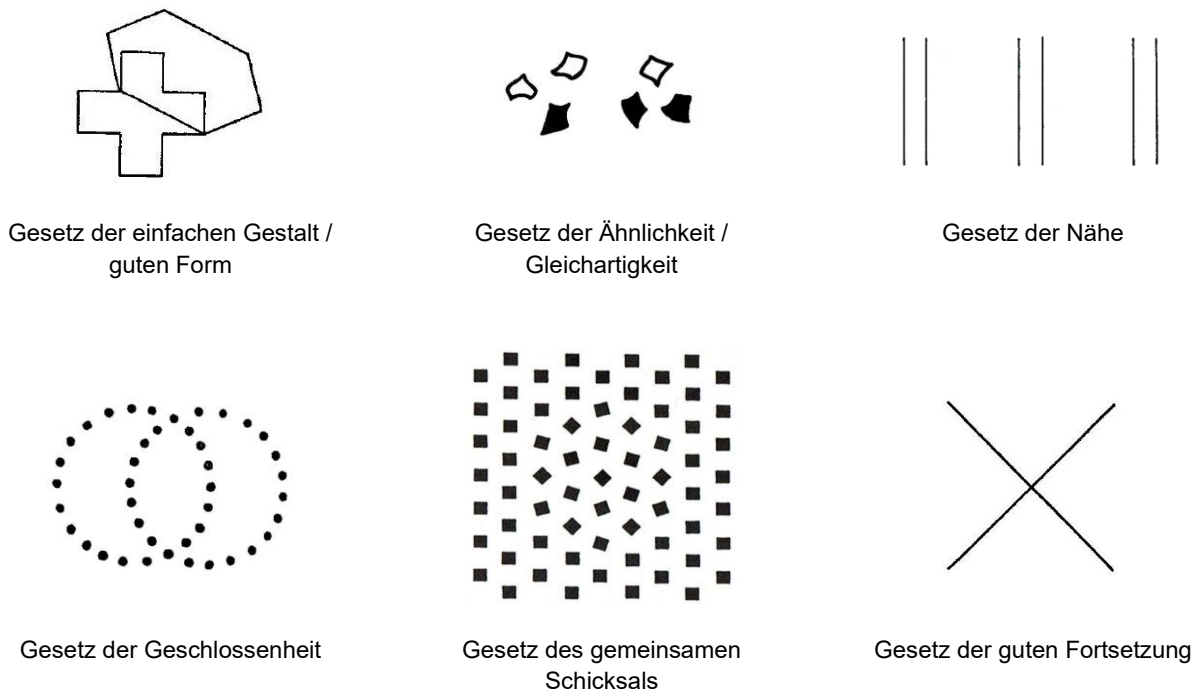


Abb. 9: Die wesentlichen Faktoren der optischen Zusammenhangsbildung nach den wichtigsten Gestaltgesetzen (v. o. l. n. u. r.: Metzger 2006, S. 20, 33, 30, 134; Meiss 1994, S. 39; Wagner 2015, S. 50)

Das Gesetz der einfachen bzw. guten Gestalt beschreibt den Vorgang, bei dem unvollständige Figuren automatisch zu einfachen Formen ergänzt werden. Es ist eine Art grundlegende Gesetzmäßigkeit, dass unter der Prämisse von Prägnanz unter vielen Möglichkeiten in der Regel das einfachste Muster und die einfachste Form gewählt werden. Wichtig für die Zusammenhangsbildung zwischen Formen ist auch ihre Similarität. Gemäß dem Gesetz der Ähnlichkeit bzw. Gleichartigkeit werden Elemente, die sich ähnlich sind, automatisch gruppiert. Die Ähnlichkeit kann sich dabei sowohl auf die Form, Größe oder Ausrichtung als auch auf die Farbe beziehen. Das Gesetz der Nähe veranschaulicht, wie Elemente, die räumlich nah beieinander liegen, als zusammengehörig wahrgenommen werden, indem das Auge aus benachbarten visuellen Elementen Gruppen bildet. So können beispielsweise einzelne Fenster in Reihen vom Auge zu Einheiten von Fensterbändern zusammengefasst werden. Grenzen werden dort gezogen, wo die Abstände größer werden. Auch Elemente, die zusammen eine geschlossene Figur erzeugen, werden automatisch zusammengefügt. Diesen psychischen Mechanismus

<sup>82</sup> Vgl. Ching 1996, S. 257.

beschreibt man als das Gesetz der Geschlossenheit. Die menschliche Wahrnehmung bevorzugt allgemein geschlossene gegenüber offenen Formen. Ein weiteres wichtiges Gesetz ist das Gesetz des gemeinsamen Schicksals bzw. der gleichen Ausrichtung. Diesem gemäß werden unterschiedliche Elemente, die sich in die gleiche Richtung oder im gleichen Rhythmus bewegen, als zusammengehörige Gruppe wahrgenommen und gegenüber anders ausgerichteten Elementen abgegrenzt. Nach dem Gesetz der guten Fortsetzung schließlich werden beispielsweise Linien bevorzugt in gerader Richtung fortgesetzt. Selbst wenn sich zwei Linien in einem Diagramm schneiden, also „geknickt“ erscheinen, verlängert das Gehirn ihren „natürlichen“ Verlauf. Auch einzelne Elemente werden so gruppiert, dass eine imaginäre Linie oder Kurve fortgesetzt wird.

### Konstanzprinzipien

Die Konstanzvariabilität ist eines der wichtigsten Organisationsprinzipien optischer Wahrnehmung.<sup>83</sup> Der Begriff beschreibt das Phänomen, dass große Mengen von Informationen der Umgebung z. B. bzgl. der Farbe oder Größe von Objekten anhand des Vergleichs mit anderen Informationen aussortiert und relativiert werden können. So ermöglicht beispielsweise die Größenkonstanz, dass eine Reihe von Bauteilen gleicher Höhe, die im Vordergrund deutlich größer erscheinen als im Hintergrund, im Gesamten als gleich hoch wahrgenommen werden. Die Reize der Umgebung geben dabei die entscheidenden Anhaltspunkte, sodass die auf die Netzhaut projizierten Größeninformationen im Gehirn automatisch angepasst und Größen richtig eingeschätzt werden. Auch Formen und Abstände von Bauteilen zueinander werden als gleichartig wahrgenommen, selbst wenn sie, z. B. durch Bewegung um sie herum, variierend auf die Netzhaut projiziert werden. Gleiches gilt für die Farb- und Helligkeitskonstanz. Nach dieser Gesetzmäßigkeit ist innerhalb gewisser Grenzen immer eindeutig, dass alle Objekte die gleiche Farbe und Helligkeit haben, auch wenn die realen Informationen variieren, z. B. weil einige der Objekte im Schatten liegen (vgl. Abb. 10).<sup>84</sup>



Abb. 10: Farbkonstanz: Reduktion der Vielzahl eingehender Farbreize zu einer einzelnen Gesamtinformation über die Farbe eines Gebäudes (Grütter 2015, S. 321)

<sup>83</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 29.

<sup>84</sup> Vgl. ebd., S. 31.

All diese Gesetzmäßigkeiten der visuellen Wahrnehmung reduzieren die Anzahl der Informationen, die immer wieder neu verarbeitet werden müssten. Das Gehirn gleicht also automatisch kleinere Abweichungen aus und bildet anhand eines Durchschnittswertes ein Bezugssystem für alle Informationen zu einem Objekt.<sup>85</sup>

### Figur-Grund-Trennung

Der Begriff der Figur-Grund-Trennung bezeichnet den Vorgang, bei dem Bildinformationen automatisch gewichtet und entsprechend einem Hinter- und einem Vordergrund zugeordnet werden. Ist eine Form relativ klein und abgegrenzt auf weitem Grund, tendiert sie dazu, Figur im Vordergrund zu werden. Sie grenzt sich dabei insbesondere durch ihre Konturen von der Umgebung ab; dabei fordern benachbarte Flächen jeweils die Grenzen für sich.<sup>86</sup> Sind Figur und Grund annähernd gleich stark, entsteht ein Kräfte messen (vgl. Abb. 11, links). Dieser Effekt ist auch Grundlage der Faszination vieler Arbeiten von M. C. Escher, der bewusst mit dem Kippmoment des Figur-Hintergrund-Verhältnisses spielt (vgl. Abb. 11, rechts).



Abb. 11: Bekannte Figur-Grund-Beispiele: Kippfigur nach Metzger (links: Metzger 2006, S. 3) und Ausschnitt aus „Himmel und Wasser“ von M. C. Escher (rechts: Wikiart)

Im Bereich der Architekturgestaltung wirken die flächenmäßig größeren, offenen Anteile z. B. an Fassaden meist als Grund, während kleinere, in sich geschlossene Bereiche dazu tendieren, als Figur zu wirken. So kann das Figur-Grund-Phänomen an Gebäuden auch genutzt werden, um einen Eindruck von Tiefe zu erzeugen.

### Assoziationen

Bei der visuellen Wahrnehmung gleichen Menschen das, was sie sehen, immer auch mit Formen ihrer Erinnerungswelt ab. Erfahrungen, Kenntnisse und Erinnerungen nehmen Einfluss auf das Erkennen von Formen.<sup>87</sup> Dieses assoziative Sehen kann auch als Gesetz der Erfahrung bezeichnet werden. Es zeigt, wie eigentlich undefinierte, also weiße Bereiche, schnell als bestimmte Figuren gesehen werden, weil sie als Formen bekannt sind, obwohl diese Formen streng genommen nicht da sind bzw. andere Formen eigentlich prägnanter sind (vgl. Abb. 12, links, in der viele Menschen z. B. ein „E“ sehen). Je sinnhafter und bekannter Formen sind, umso leichter werden sie als bestimmte Figuren erkannt, selbst gegenüber anderen, prägnan-

<sup>85</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 31.

<sup>86</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 35.

<sup>87</sup> Vgl. ebd., S. 40.

teren visuellen Informationen. Auch in der Architekturgestaltung können Formen so Assoziationen wecken. Dabei kann festgestellt werden, dass dies im Bereich der Gestaltung von Gebäuden eher von unregelmäßigen Formen ausgeht, während regelmäßige Formen an Gebäuden häufiger zu Vereinfachung führen.<sup>88</sup> So sehen viele z. B. im TWA Flight Center die Figur eines landenden Vogels (vgl. Abb. 12, rechts).

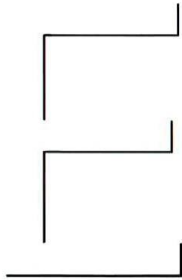


Abb. 12: Das Gesetz der Erfahrung: Formen werden als Figuren erkannt, auch wenn diese streng genommen nicht da sind (links: Bühler/Schlaich/Sinner 2017, S. 30; rechts: Welt/Max Touhey)

### 3.1.3 Folgerungen

Neben den beschriebenen Phänomenen und Prinzipien des Sehens nehmen Menschen Gebäude und räumliche Situationen auch mit anderen Sinnen wahr, z. B. kinästhetisch über die Bewegung. Aber auch akustisch ist es möglich, Raumausdehnungen oder Oberflächenqualitäten anhand des Widerhalls einzuschätzen. Zudem gibt auch der Geruchssinn Aufschluss über Material- und Raumqualitäten und hat großen Einfluss darauf, ob Menschen sich mit ihnen wohlfühlen.<sup>89</sup> Und natürlich werden viele Elemente von Gebäuden im Laufe ihrer Nutzung vielfach berührt. Insgesamt sind zwar besonders die Fernsinne wie Sehen, Hören und Riechen gegenüber den Nahsinnen relevant für die Wahrnehmung von Architektur; eine Gestaltung aber, die bewusst viele Sinne anspricht, verleiht dieser eine hohe Empfindungsqualität.<sup>90</sup>

Trotz der multisensorischen Wahrnehmung von Bauwerken ist der Sehsinn der wichtigste Rezeptor für die Architekturerfahrung. Die oben aufgezeigten wichtigsten physiologischen Prinzipien stellen dessen biologische Grundlagen dar. Physiologische Fähigkeiten und Grenzen, wie sie die adaptive, räumliche, farbliche und scharfe Wahrnehmung in einem bestimmten Gesichtsfeld definieren, bilden den Rahmen dafür, welchen Teil ihrer Umwelt Menschen sehen können und wie sie sich darin in unterschiedlichen Verhältnissen ganz grundsätzlich orientieren. Daraus ergibt sich ein hohes Maß an Gemeinsamkeiten in der menschlichen Wahrnehmung allein durch die Übereinstimmungen der biologischen Anlagen. Die beschriebenen physiologischen Prinzipien dienen vor allem der Orientierung; dabei ist das Auge adaptiv, aber

<sup>88</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 193.

<sup>89</sup> Vgl. ebd., S. 13.

<sup>90</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 161.

seine Möglichkeiten sind auch begrenzt. Architektonischer Gestaltung geben die physiologischen Prinzipien also einen gewissen Rahmen vor.

Die aufgezeigten psychologischen Prinzipien basieren auf empirischen Versuchen zur subjektiven visuellen Wahrnehmung. Sie sind relevant für die Architekturgestaltung, da sie aufzeigen, unter welchen Bedingungen Menschen Objekte und Orte als ganzheitlich und einprägsam erfahren.<sup>91</sup> Die Gestaltgesetze machen deutlich, dass die menschliche Wahrnehmung nach Vereinfachung strebt mit einer starken Tendenz, visuelle Objekte zu ordnen, zu gruppieren und Formen als Figuren lesbar zu machen.<sup>92</sup> Dabei lässt sich das Auge aber auch optisch täuschen. Verschiedene Prinzipien der Gewichtung und Verarbeitung von Informationen nehmen weiteren Einfluss auf die Wahrnehmung. Aus Gründen der Verarbeitungs- und Speicherkapazitäten des Gehirns bildet jeder Mensch ein Referenzsystem anhand dessen neue Informationen abgeglichen und aussortiert werden. So prägen individuelle Erfahrungen das Erleben der Umwelt. Im Bereich der Architekturgestaltung können wahrnehmungspsychologische Prinzipien z. B. bei der Gestaltung von Fassaden helfen zu ordnen, einprägsam zu machen, um Einzelelemente zu einem einheitlichen Ganzen zusammenzufügen oder vorgegebene (konstruktive) Gestaltungszwänge (z. B. farblich) zu kompensieren. Sie können aber auch eingesetzt werden, um bewusst Kontrapunkte oder auffallende und kontrastierende Elemente zu setzen.

## 3.2 Theorien ästhetischer Architekturgestaltung

Die Theorien ästhetischer Architekturgestaltung seit der Antike zeigen, wie sich bei der Erforschung der Beziehungen zwischen Gestalt, Wirklichkeit und Wahrnehmung die Kriterien für Schönheit, beeinflusst von gesellschaftlichen Ereignissen, immer wieder verändert haben. Für diese Arbeit ist insbesondere aufzuzeigen, was in den jeweiligen Epochen für „gute und stimmige“ Architektur gehalten wurde, was als schön galt und wie Architektur bzw. Fassaden entsprechend gestaltet werden sollten. Dabei konnte die tatsächliche Baupraxis in jeder Zeit gerade bei profanen Gebäuden stark von dem abweichen, was theoretisch thematisiert wurde. Kurz beschrieben werden sollen im Folgenden der gesellschaftliche Kontext, in dem einschlägige Überlegungen bzw. die Bautätigkeit selbst stattgefunden haben, das übergeordnete Ziel der Architekturgestaltung bzw. deren Hauptprämisse in Form der Grundzüge der jeweiligen Theorien und dann insbesondere die Kriterien für gute und stimmige, also „schöne“ Architektur. Aufgezeigt werden diese Aspekte anhand der Hauptvertreter/innen bzw. auch an den Hauptbegriffen der jeweiligen Epoche. Hierbei ist noch einmal auf die Rolle der bereits in Abschnitt 3.1 dargelegten Wahrnehmungsprinzipien hinzuweisen. Es soll aufgezeigt werden, wie Wahrnehmungsgrundlagen, Empirie und Wirkungsqualität in Ästhetiktheorien immer mehr Berücksichtigung erfuhren und die Vorstellung von „schöner“ Architektur immer individueller, subjektiver und spezifischer wurde. Zusammenfassend kann diese Geschichte von Kriterien für Schönheit und Prinzipien ihrer Wahrnehmung beschrieben werden als die Entwicklung von „Was ist schön?“ hin zu „Was wirkt schön?“. Interessant sind hier vor allem konstante oder

---

<sup>91</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 96.

<sup>92</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 35, 38.

wiederkehrende Gestaltungskriterien, die im anschließenden Abschnitt 3.3 zusammenfassend dargestellt werden sollen, um sie im weiteren Verlauf der Arbeit auf ihre Anwendbarkeit im Bereich BIPV zu untersuchen.

### 3.2.1 Antike

Die frühesten Anfänge einer Theorie über die Kunst können in das 6. Jahrhundert v. Chr. zurückverfolgt werden. Diese mit Sokrates beginnende „neue Phase des Denkens“<sup>93</sup> gilt als das erste Mal, dass Menschen in überlieferten Dokumenten über Kunst reflektieren. Sie ist gekennzeichnet von der Vorstellung, der Kosmos basiere auf harmonischen Zahlenkonstellationen und schön sei, was dieser Harmonie entspricht.

Insbesondere die von **Platon (427-347 v. Chr.)** überlieferten Theorien bauen auf der pythagoräischen Zahlenharmonie des Kosmos auf. Nach seiner Vorstellung von der Ideenwelt bzw. der Welt der Urbilder oder Urformen nehmen Menschen über ihre Sinne immer nur Abbilder von Dingen wahr, nie aber deren Urbild. Nur der Verstand einiger weniger Gelehrter kann das Urbild, also die „Idee“ von Gegenständen auf geistigem Wege erkennen, niemals über die Sinne. In seinem berühmten Höhlengleichnis beschreibt Platon, wie die meisten Menschen Realität erkennen, nicht etwa indem sie sie direkt sähen, sondern wie ein Schattenspiel an einer Höhlenwand. Daraus folgt für ihn auch, wie Menschen Kunst machen. Die Gegenstände selbst sind bereits Nachahmung einer höheren Idee. Ahmt man jene dann erneut nach, kopiert man als Kunst lediglich ihre „sinnliche Erscheinung“ und entfernt sich noch weiter von der ursprünglichen Idee. Man imitiert eine Imitation. Diese sogenannte Nachahmungstheorie führt dazu, dass er den Wert der Kunst nicht als sehr hoch einschätzt.<sup>94</sup> Dabei differenziert Platon zwei Arten von Schönheit – zum einen die der Natur und der Lebewesen und zum anderen die der Geometrie als der Linie, des Kreises, der Fläche oder der stereometrischen Körper. Die Schönheit der ersteren Kategorie ist für ihn relativ, die der Geometrie und der von Menschen geschaffenen Objekte absolut und für immer und „an sich schön“.<sup>95</sup> Er begründet damit eine Zweiteiligkeit des Schönheitsbegriffes, die auch als „Dualität von Naturschönem und Kunstschönem“ bezeichnet wird.<sup>96</sup> Das Wesen des Schönen und Guten liegt für ihn entsprechend den Gesetzen des Kosmos im richtigen Maß und im angemessenen Verhältnis<sup>97</sup>, also in den Gesetzen der Mathematik, der „richtigen“ Proportion und der Harmonie. Die Kunst der Architektur gilt für ihn als schön, da sie Zahlen und Maße verwendet und ein geordnetes Kunstwerk schafft mit einer inneren Ordnung. Als schöne Zahlenverhältnisse nennt er z. B. die Idealzahlen der Timaios-Tonleiter sowie fünf regelmäßige Körper (vgl. Abb. 13). Für ihn ist Schönheit also an die Beschaffenheit eines Objekts gebunden und unabhängig vom Betrachter.

---

<sup>93</sup> Kultermann 1987, S. 22.

<sup>94</sup> Vgl. ebd., S. 23.

<sup>95</sup> Naredi-Rainer 1989, S. 15.

<sup>96</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 256.

<sup>97</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 15.

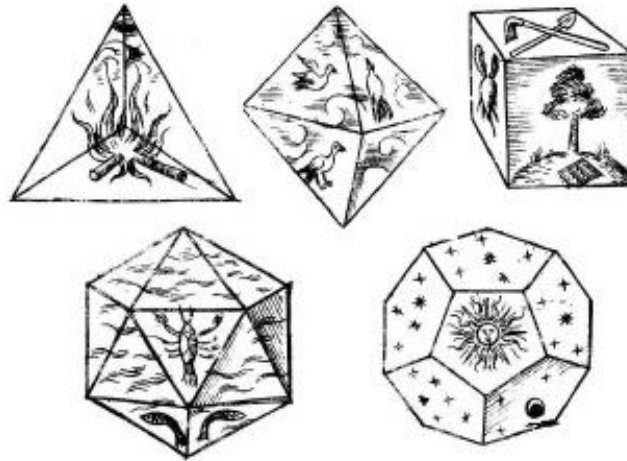


Abb. 13: Die fünf regelmäßigen Körper, von Platon zu den Elementen Feuer, Luft, Erde und Wasser sowie zum Universum in Beziehung gesetzt, dargestellt in Johannes Keplers „Mysterium cosmographicum“ (JKU Linz)

Im Hellenismus (336-30 v. Chr.) verschiebt sich der Fokus auf das individuell Schöpferische. **Aristoteles (384-322 v. Chr.)** als Schüler von Platon unterscheidet wie dieser ebenfalls die mimetische von der schöpferischen Kunst, bringt aber deutlich subjektivere Faktoren ein. Indem er auf den schöpferischen Aspekt der Kunst und das Sichtbarmachen menschlicher Möglichkeiten verweist, gesteht er der Kunst zu, die Schönheit der Natur vollenden zu können<sup>98</sup>, denn gerade das Nachahmen ermögliche das Lernen. Auch für ihn sind Proportionen, Symmetrie, Ordnung, Harmonie und Bestimmtheit Kriterien für Schönheit, und Architektur ist Ausdruck dieser mathematischen Schönheit.<sup>99</sup> Und doch unterscheidet er in seiner Theorie zwischen der Form als geistigem Prinzip und der Materie als Körperlichem und versucht in ersten Ansätzen die Dialektik zwischen Wesen und Erscheinung zu bestimmen. Für diese Dialektik ist für ihn neben Stoff, Form und Bewegung erstmals auch der Zweck maßgeblich. Er schreibt: „Naturdingen ist der Zweck immanent, Kunstdingen muss der Künstler einen Zweck geben.“ Aristoteles' Lehre von der Entelechie begründet damit die Theorie einer sich im Material verwirklichenden Form als einer Art im Organismus selbst angelegter Kraft, die dessen eigene Vollendung bewirkt.<sup>100</sup> Insbesondere aber subjektiviert er das Erleben von Schönheit und verleiht der Einstellung des Betrachters Bedeutung. Er ist auch der Erste, der die menschlichen Sinnesorgane systematisiert in Gesichtssinn (Sehen), Gehör-, Geruchs-, Geschmacks- und Tastsinn.<sup>101</sup>

Die älteste überlieferte Schrift der Architekturtheorie ist das Traktat „Zehn Bücher über die Baukunst“ von **Vitruv (ca. 84 - 20 v. Chr.)**, einem Kriegersingenieur bei Cäsar und Augustus. Er formuliert drei Ziele der Architektur: „Firmitas“ (Festigkeit), „Utilitas“ (Zweckmäßigkeit) und „Venustas“ (Anmut)<sup>102</sup>, die in der neuzeitlichen Rezeption zum Kernstück seiner Lehre werden.

<sup>98</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 16.

<sup>99</sup> Ebd., S. 16.

<sup>100</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 28.

<sup>101</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 13.

<sup>102</sup> Vgl. Vitruv 1981, S. 34; Germann 1987, S. 18.



Germann und Krufft beschreiben die gesamte Architekturtheorie von der Renaissance bis zum Klassizismus als eine einzige, anhaltende Auseinandersetzung mit Vitruv.<sup>103</sup> Für Neumeyer dreht sich die gesamte Architekturtheorie bis heute um diese Trias, wobei unter Schlagworten wie Funktionalismus, Konstruktivismus und Formalismus Vitruvs eigentlich gleichwertige Bedingungen immer wieder neu „einseitig privilegiert“ werden.<sup>104</sup>

Mit dem Ausdruck *Firmitas* postuliert Vitruv die Solidität der Fundamente und die Hochwertigkeit der Baustoffe. Unter *Utilitas* versteht er die korrekte Anordnung und Ausrichtung von Räumen. *Venustas*, u. a. zu übersetzen mit „Anmut“, steht für das angenehme und gefällige Aussehen.<sup>105</sup> In Bezug auf die ästhetische Erscheinung eines Gebäudes spielen sechs Unterbegriffe eine Rolle: das Größenverhältnis der Einzelteile untereinander und zum Ganzen (*Ordinatio*), die Beziehung der Teile untereinander und ihre Anordnung innerhalb des Ganzen (*Dispositio*), das anmutige Aussehen (*Eurythmia*), das modulare Verhältnis der Einzelteile untereinander und zum Ganzen (*Symmetria*), die angemessene Ausstattung je nach Nutzung (*Decor*) und die Angemessenheit von Materialien und Kosten je nach Art der Nutzung (*Distributio*).<sup>106</sup> Unter diesen sechs Grundbegriffen hebt Germann *Symmetria*, *Eurythmia* und *Decor* als die drei ästhetischen Hauptbegriffe hervor (vgl. Abb. 14).<sup>107</sup>

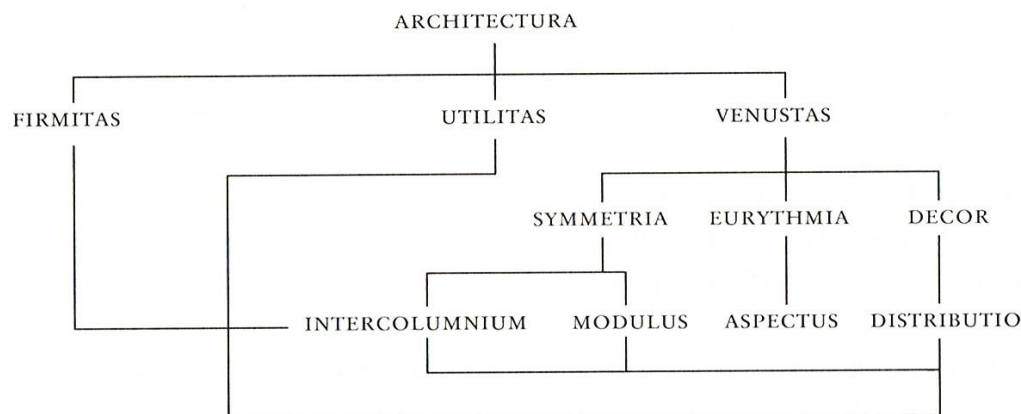


Abb. 14: Drei Ziele der Architektur nach Vitruv und die drei Hauptkriterien für architektonische Schönheit (Germann 1987, S. 29)

*Symmetria* ist dabei nicht im heute gebräuchlichsten Sinne als „Achsensymmetrie“, sondern als ein Proportionsgesetz zu verstehen, das auf einem Element des Gebäudes als Grundeinheit (*Modulus*) beruht. Der *Symmetria* ist es zu verdanken, wenn ein Gebäude „angenehm“

<sup>103</sup> Vgl. Germann 1987, S. 10; Krufft 1986, S. 20.

<sup>104</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 15.

<sup>105</sup> „Auf Festigkeit wird Rücksicht genommen sein, wenn die Einsenkung der Fundamente bis zum festen Untergrund reicht und die Baustoffe, welcher Art sie auch sind, sorgfältig ohne Knauserei ausgesucht werden; auf Zweckmäßigkeit, wenn die Anordnung der Räume fehlerfrei ist und ohne Behinderung für die Benutzung und die Lage eines jeden Raumes nach seiner Art den Himmelsrichtungen angepasst und zweckmäßig ist; auf Anmut aber, wenn das Bauwerk ein angenehmes und gefälliges Aussehen hat und die Symmetrie der Glieder die richtigen Berechnungen der Symmetrien hat.“ (Vitruv 1981, S. 45.)

<sup>106</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 25-27; Neumeyer et al. 2002, S. 20; Vitruv 1981, S. 37-43.

<sup>107</sup> Germann 1987, S. 18.

und „gefällig“ aussieht, indem seine Proportionen gewissen Regeln entsprechen.<sup>108</sup> Zur wichtigsten Grundlage der Gestaltung wird die Säule, bzw. die Säulenordnung, da der Säulendurchmesser das Modul als grundlegende Maßeinheit darstellt. Die Entstehung der drei Säulenordnungen, die nicht nur die Gestalt der Säulen, sondern auch die gesamte Komposition einer Fassade umfassen, erklärt Vitruv mit geografischen (Einzel-)Ereignissen.<sup>109</sup> Ihre Maßverhältnisse gelten als „divinae proportiones“, d. h. als göttliche Proportionen, die auch am wohlgeformten menschlichen Körper nachgewiesen werden können. Diese Rückführbarkeit auf menschliches Ebenmaß galt lange als Beweis für das Vorhandensein eines „natürlich schönen“ Maßes.<sup>110</sup> Der Eurythmia kommt eine besondere, ästhetische Relevanz zu, da sie eine Wohlgereimtheit des Anblicks beschreibt, basierend auf dem passenden Verhältnis von Höhe zu Breite. Dabei denkt Vitruv sowohl die Korrektur optischer Täuschungen bereits mit als auch den Aspekt des Betrachtens.<sup>111</sup> Als Decor bezeichnet er eine Art „funktionale Gestaltung“, bspw. die Auswahl passender Stile für bestimmte Götter. Der Begriff ist außerdem eng mit dem der Distributio, der Angemessenheit von Materialien und Bauweise, verflochten und verweist auf „natürliche“ Zusammenhänge zwischen Bauaufgabe und Formgebung.<sup>112</sup>

Der Wirkungsaspekt schöner Architektur spielt bei Vitruv noch eine untergeordnete Rolle. Proportion ist kein ästhetischer Grundbegriff, sondern ein reines Zahlenverhältnis. Das macht Schönheit nicht von ästhetischen Urteilen abhängig, sondern zu einer Frage der Eigenschaften von Dingen. Die Gesetze der Natur liefern dabei die Vorlage für schöne Maßverhältnisse.<sup>113</sup> Vitruvs Theorien werden insbesondere in der Renaissance wieder aufgenommen und dominieren den Diskurs über Architekturästhetik bis in das 20. Jahrhundert. Dabei stellt sich sein Werk immer wieder als widersprüchlich heraus. So definiert er ästhetische Grundbegriffe, die an anderer Stelle wieder verworfen oder nicht beachtet werden. Die Systematisierung der Säulenordnungen wird eigentlich erst bei Alberti vorgenommen und im Nachhinein Vitruv zugeschrieben und insbesondere die Zahlenwerte der Proportionsverhältnisse erscheinen sowohl als absolute, vom menschlichen Körper abgeleitete Größen als auch „durch Beobachtungen und Nachahmung“ gewonnene quasi empirische Größen, die zudem teilweise auch auf optische Verzerrungen reagieren dürfen.<sup>114</sup> Hierdurch werden viele Grundsteine gelegt für Diskussionen in der nachantiken Architekturtheorie.<sup>115</sup>

### 3.2.2 Mittelalter

Im Mittelalter gilt nach wie vor die platonische Regel von der Spiegelung von Gottes Schönheit in den harmonischen Zahlenverhältnissen von Musik und Architektur; doch es entwickeln sich auch neue Auffassungen. Eine eigenständige Architekturtheorie entsteht in dieser Zeit aber

---

<sup>108</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 254.

<sup>109</sup> Vgl. Germann 1987, S. 22-24.

<sup>110</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 16-17.

<sup>111</sup> Vgl. Germann 1987, S. 29.

<sup>112</sup> Vgl. ebd., S. 23, 29.

<sup>113</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 16.

<sup>114</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 29.

<sup>115</sup> Vgl. ebd., S. 20.

nicht.<sup>116</sup> Theoretische Schriften über Architektur sind nicht erhalten, denn Bauregeln wurden von den Bauhütten meist geheim gehalten, oder es fehlt ihnen eine Verbindung von Theorie und Praxis.<sup>117</sup>

**Plotin (205-270)** nimmt eine besondere Stellung ein an der Schwelle von der Antike zum Mittelalter, denn er fasst die Theorien der Antike zusammen, nimmt entscheidende Änderungen an der Definition der Schönheit vor und gibt dieses Wissen an das christliche Mittelalter weiter.<sup>118</sup> Er wendet sich sowohl gegen Platon als auch gegen die Anschauungen des Hellenismus, denn er sieht Schönheit nicht nur in der Übereinstimmung von Teilen, also von Zusammengesetztem, sondern geht von einem Urschönen und Urguten aus.<sup>119</sup> Wie bereits Platon legt er den Akzent auf die Quelle der Schönheit im Geist und in der Seele jedes Menschen und auf die sinnliche Erfahrbarkeit von Schönheit. Er überwindet die Kluft zwischen Idee und sinnlicher Wahrnehmung, indem er auf die gottgegebene Anlage des Schönen im Menschen verweist, die es ihm überhaupt ermöglicht, Schönheit zu sehen,<sup>120</sup> und trägt damit weiter zur Herausbildung des Konzepts vom menschlichen Subjekt bei.

Aufgegriffen werden diese Ansätze von **Aurelius Augustinus von Hippo (354-430)**, der den Begriff der göttlichen Ordnung implementiert und die antiken Harmonievorstellungen weiter ins Christliche transferiert.<sup>121</sup> Durch Gottes Ordnung wird alles bestimmt, und Gottes Schönheit spiegelt sich in den harmonischen Verhältnissen von Musik und Architektur. Unter Bezug auf den alttestamentarischen Spruch „alles hast du nach Maß, Zahl und Gewicht geordnet“ wird Schönheit zum Wesen von Ordnung und zum Teil mit der Zahl gleichgesetzt.<sup>122</sup> Er beschreibt die Zahl als Quelle aller ästhetischen Vollkommenheit<sup>123</sup> und erwähnt auch bereits die Bedeutung von Licht als „Augenverführung“.<sup>124</sup>

**Thomas von Aquin (1225-1274)** ist der Theologe und Philosoph des Mittelalters, in dessen Werken die mittelalterliche Philosophie und Kunstanschauung ihren Höhepunkt erreicht.<sup>125</sup> Er definiert zwei für die Frage nach dem Schönen wichtige Grundsätze. Zum einen: „das Schöne und das Gute sind identisch“, denn sowohl im Guten als auch im Anblick des Schönen kommt das Streben zur Ruhe, wenn Wahrheit und Wahrnehmung übereinstimmen. Aus diesem Grund sind seiner Ansicht nach die wichtigsten Sinne (das Sehen und das Hören) auf das Schöne (Dinge und Töne) gerichtet. Zum anderen nennt er drei Bedingungen für Schönheit, „Perfektion, Proportion und Klarheit“<sup>126</sup>, welche im Menschen die Befriedigung wahrnehmender Er-

---

<sup>116</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 43.

<sup>117</sup> Vgl. Germann 1987, S. 30.

<sup>118</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 32-33.

<sup>119</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 18.

<sup>120</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 35-36.

<sup>121</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 31.

<sup>122</sup> Vgl. ebd., S. 20.

<sup>123</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 38.

<sup>124</sup> Vgl. Germann 1987, S. 35.

<sup>125</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 53.

<sup>126</sup> Vgl. ebd., S. 55.

kenntnis hervorrufen, und stellt damit erstmals Welterschöpfung und Kunstwerk auf eine gemeinsame Ebene.<sup>127</sup>

Insgesamt sind das Denken über Schönheit und die Kunstanschauung im Allgemeinen im Mittelalter stark von religiösen Vorstellungen geprägt. Die Annahme, dass das Gute und Schöne von Gott geschaffen ist, macht, ebenso wie die Ordnung der Welt, Schönheit zu einer Art metaphysischen Gegebenheit. Der Kirchenraum gilt als Abbild des Himmelszeltes und Gott als Baumeister, der den Kosmos baut wie seinen eigenen königlichen Palast.<sup>128</sup> Eine hohe Bedeutung kommt auch der Zahlensymbolik zu, deren Quelle meist die Bibel ist. Vor allem in Sakralbauten finden sich viele Zahlenbezüge wie z. B. Verweise auf die zwölf Apostel, die göttliche Dreifaltigkeit und die Vier als Versinnbildlichung der weltlichen Ordnung.<sup>129</sup> Auch das Licht bekommt hierüber eine neue Bedeutung als Symbol der göttlichen Weisheit und Herrlichkeit selbst. Die sinnliche Erfahrung von Licht wird zum zentralen Symbol religiöser und künstlerischer Sprache<sup>130</sup>, mehr als das sogar zur Bedingung des gotischen Kirchenraums, nicht nur was dessen Gesamtheit betrifft, sondern insbesondere in Bezug auf die leuchtenden großen Glasflächen<sup>131</sup> (vgl. Abb. 15).

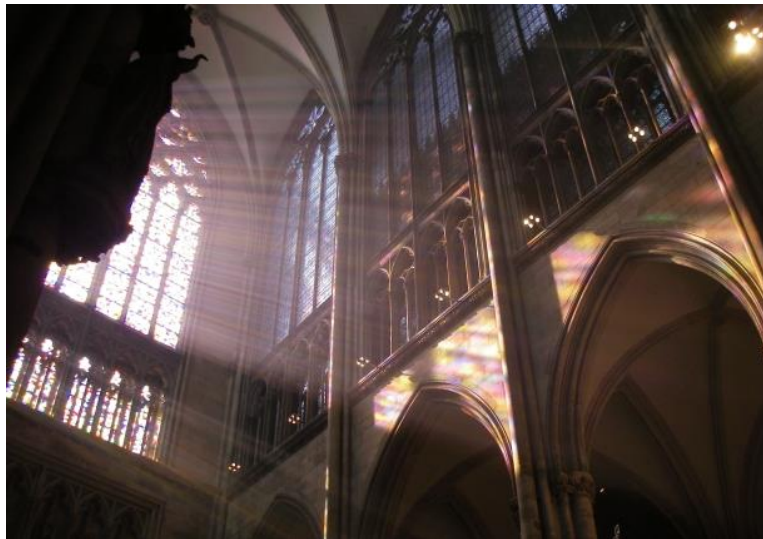


Abb. 15: Intensive Lichtstimmungen erzeugt von den großen Buntglasfenster am Kölner Dom (Wilfried Kuhn)

Licht durchdringt Glas ohne es zu zerstören und wird so zum Symbol des Heiligen Geistes.<sup>132</sup> Als schön gilt dabei, was den Lichtcharakter besonders zur Geltung bringt, wie z. B. glänzende Materialien und strahlende Farben. Aber auch wohlproportionierte, harmonisch gegliederte Gestalten können als „lichthaft“ verstanden werden, wenn ihre Form von Licht besonders gut in Szene gesetzt wird.<sup>133</sup> Und auch die Schönheit der Farbe wird als eine „einfache, unmittelbar

<sup>127</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 13.

<sup>128</sup> Vgl. Germann 1987, S. 36.

<sup>129</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 343.

<sup>130</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 51.

<sup>131</sup> Vgl. Germann 1987, S. 36.

<sup>132</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 344.

<sup>133</sup> Vgl. Hauskeller 1998, S. 22.

wahrnehmbare“ Schönheit empfunden, da sie im Gegensatz zur Proportions-Schönheit nicht auf spezifischen, mathematischen Verhältnissen beruht.<sup>134</sup> Weiterhin relevant bleibt auch der Vergleich von architektonischen Elementen mit dem menschlichen Körper wie z. B. bei Kirchengrundrissen.

### 3.2.3 Renaissance

Die Renaissance ist gekennzeichnet von der Neubelebung der antiken Ästhetik. In der Architektur rückt im frühen 15. Jahrhundert durch die Wiederentdeckung der Zehn Bücher Vitruvs die Wichtigkeit der richtigen Maßverhältnisse wieder in den Vordergrund. Vorherrschende Themen der Architekturtheorie sind die Säulenordnungen, die Proportionslehre und die Perspektive.

Das erste gedruckte Architekturtraktat stammt von **Leon Battista Alberti (1404-1472)**. Es ist sein Hauptwerk, „Über das Bauwesen“, das wahrscheinlich zwischen 1443 und 1452 entsteht und erst nach seinem Tod gedruckt wird. Das Hauptwerk des humanistischen Gelehrten und praktizierenden Architekten gibt der Theorie in der Architektur neuen Aufschwung und macht ihn zum eigentlichen Begründer der Architekturtheorie. Er sieht in der Architektur eine gesellschaftsstiftende Stadtbaukunst, die dem gesamten Gemeinwesen Gestalt verleihen kann.<sup>135</sup> Sein Werk ist im Aufbau stark an Vitruv angelehnt, orientiert sich an den drei Begriffen Firmitas, Utilitas und Venustas und ist ebenfalls in zehn Bücher gegliedert. In seinem Werk definiert Alberti sechs Grundbegriffe: Gegend (Regio), Baustelle (Area), Grundriss (Partitio), Mauer (Paries), Decke (Tectum) und Öffnung (Apertio).<sup>136</sup> Mit den ersten beiden Begriffen Regio und Area lenkt er neuzeitlich-humanistisch den Fokus auf den Menschen im Diesseits und legt hiermit auch den Grundstein für die Berücksichtigung der Ortsbindung von Architektur.<sup>137</sup> Interessant in diesem Zusammenhang sind auch die Ausführungen zu Wand und Öffnungen. Alberti definiert die Säulenordnungen erstmals konkret nach Vitruv, weicht aber auch von dessen Lehre ab, da er sich auf die Vermessung antiker Baudenkmäler stützt.<sup>138</sup> Insbesondere begreift er die Säule, da sie in Reihe für ihn wie eine Wand wirkt, als Teil dieser. Damit lässt er sie zugunsten der Wand zurücktreten und sieht sie weniger als eigenständiges Element denn als Schmuckelement, das der Fassade Tiefe gibt und sie symbolisch zum öffentlichen Raum öffnet (vgl. Abb. 16). Dieses System, Wand mit Öffnungen, ist eine grundlegend neue Herangehensweise, die Alberti eng verknüpft mit der Begrenzung und Verschränkung von privatem und öffentlichem Raum.<sup>139</sup> Schönheit in der Architektur besteht für ihn in der „gesetzmäßige[n] Übereinstimmung aller Teile, [...] [so], dass man weder etwas hinzufügen noch hinwegnehmen oder verändern könnte, ohne sie weniger gefällig zu machen“<sup>140</sup>. Weiter schreibt er: „Die Schönheit ist eine Art Übereinstimmung und ein Zusammenklang der Teile zu einem Ganzen,

---

<sup>134</sup> Vgl. Eco 1993, S. 68.

<sup>135</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 92.

<sup>136</sup> Vgl. Germann 1987, S. 56.

<sup>137</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 20.

<sup>138</sup> Vgl. Germann 1987, S. 57.

<sup>139</sup> Vgl. Neumeyer 2002, S. 21.

<sup>140</sup> Alberti 2020, S. 294.

das nach einer bestimmten Zahl, einer besonderen Beziehung und Anordnung ausgeführt wurde, wie es das Ebenmaß, das heißt das vollkommenste und oberste Naturgesetz fordert“<sup>141</sup>. Das Ebenmaß (Concinnitas) versteht er dabei als eine Art Proportionsgesetz, dessen Grundlage musikalische Harmonien und Zahlen sind.<sup>142</sup> Außerdem kennt er auch die Zentralperspektive und die Wirkung optischer Täuschungen, die auszunutzen ihm bei Privatgebäuden ebenso legitim erscheint wie von allzu starren Regeln abzuweichen, wenn es zur Anmut beiträgt.<sup>143</sup>



Abb. 16: Pilasterrelief an Albertis Palazzo Rucellai in Florenz (eigene Aufnahme)

Auch **Andrea Palladio (1508-1580)**, der vor allem ein Architekt von privaten Wohnhäusern ist, sieht Vitruv weniger als Autorität und eher als Schlüssel zum Verständnis der Antike.<sup>144</sup> Sein Hauptwerk „Die vier Bücher zur Architektur“ erscheint 1570. Auch für ihn ist die Vitruvianische Trias grundlegend und auch seine Schönheitsdefinition entspricht der Albertis. Es wird vermutet, dass er ursprünglich ebenfalls zehn Bücher schreiben wollte.<sup>145</sup> Neu bei Palladio ist, dass er eine Gewichtung von Formen und Bauteilen vornimmt nach dem Vorbild des menschlichen Körpers, um Gebäudeelemente nach „Ansehnlichkeit“ zu hierarchisieren.<sup>146</sup> Schönheit in der Architektur, schreibt er, „wird sich ergeben aus der Form und der Beziehung des Ganzen zu den verschiedenen Teilen, der Teile untereinander und dieser wiederum zum Ganzen; die Gestalt möge als ein ganzer Körper erscheinen, an dem jedes Glied mit dem anderen über-

<sup>141</sup> Alberti 2020, S. 480.

<sup>142</sup> Vgl. Germann 1987, S. 59.

<sup>143</sup> Vgl. ebd., S. 57.

<sup>144</sup> Vgl. ebd., S. 134.

<sup>145</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 120.

<sup>146</sup> Vgl. Germann 1987, S. 137-139, Neumeyer et al. 2002, S. 25.

einstimmt und alle notwendig sind, um das zu komponieren was du zu formen beabsichtigst."<sup>147</sup> Dabei trennt er anders als Alberti die Ästhetik nicht von der praktischen Architekturlehre.<sup>148</sup> Er entwickelt ein umfassendes Proportionssystem, das er nicht nur auf die Säulenordnungen anwendet, sondern auch auf Grundrissformen, Raumvolumen und -abfolgen (vgl. Abb. 17). Bekannt ist Palladio insbesondere für seine Vorliebe für regelmäßige Formen wie Kreis und Quadrat, symmetrische Grundrisse und säulengeschmückten Giebel, mit denen er das Tempelmotiv an Wohnhäusern anwendet. Darin sieht er keinen Widerspruch und zitiert Vitruv, dem zufolge das Wohnhaus sich aus dem Hausbau entwickelt hat und somit die gesamte Architektur ursprünglich aus dem Hausbau entstanden ist.<sup>149</sup> In seinen Ausführungen tadelt er die Architektur, die „sich von dem entfernt, was die Natur ausmacht“,<sup>150</sup> und plädiert für die Nachahmung der Natur und nicht mehr nur der antiken Denkmäler. Damit ruft er zahlreiche Verteidiger des Vitruvianismus auf den Plan, die die gute antike Architektur der Zeichen in Gefahr sehen.<sup>151</sup>

Darüber hinaus gibt es weitere bekannte Vertreter der Renaissance, die die Architekturtheorie um wichtige Aspekte bereichern. **Filarete (1400-1469)** versucht, das Geistige weiter vom Operativen zu trennen, und geht der Frage nach, wie ein Gedanke Gestalt annimmt. Er forscht am Prozess des Entwerfens und entwickelt hierfür sein bekanntes Quadratraster. In Bezug auf die Architekturästhetik sieht er insbesondere Vielfalt als Grundlage von Schönem.<sup>152</sup> **Martini (1439-1502)** illustriert Vitruv mit vielen Zeichnungen und Prototypen und sieht weiteren, erheblichen Spielraum für Erfindungskraft. Dies zeigt sich auch in seinen eigenen Arbeiten, in denen er menschliche Proportionen teilweise direkt in realisierbare Entwürfe einzeichnet.<sup>153</sup> Mit **Serlio (1475-1554)**, dessen Buch das erste ist, das durch die damals neue Technik des Buchdrucks Verbreitung findet, und der sich ganz nach dem Geschmack des Publikums richtet, und **Vignola (1507-1573)**, dessen Säulenlehre ebenfalls zum Teil auf der Meinung der Gemeinschaft basiert, breitet sich der Vitruvianismus in Venedig und Frankreich aus.<sup>154</sup> **Philibert de l'Orme (1510-1570)** gilt als Erfinder einer nationalen, französischen Säulenordnung im Vorgriff auf die Nationalisierung historischer Baustile im Historismus.<sup>155</sup>

In der Renaissance dominiert die Vorstellung der harmonischen Übereinstimmung von Mensch und Natur. Doch die Theorie, dass Harmonie auf kosmischen Prinzipien beruhe, wird in zahlreichen ähnlichen theoretischen Abhandlungen immer mehr zu einem „starrten System von Proportionsregeln, das die Erzeugung architektonischer Schönheit garantieren soll“<sup>156</sup>. Letztlich führen eben diese vielen Festlegungen wie z. B. die Säulenordnungen dann zum Ende der Renaissance-Theorien.

---

<sup>147</sup> Palladio (1983): Die vier Bücher zur Architektur, S. 20, zitiert in: Haas-Arndt 2000, S. 17.

<sup>148</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 25.

<sup>149</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 26, Germann 1987, S. 141.

<sup>150</sup> Palladio (1983): Die vier Bücher zur Architektur, S. 51-52, zitiert in: Germann 1987, S. 145.

<sup>151</sup> Vgl. Germann 1987, S. 145.

<sup>152</sup> Vgl. ebd., S. 69.

<sup>153</sup> Vgl. ebd., S. 85-86.

<sup>154</sup> Vgl. ebd., S. 117.

<sup>155</sup> Vgl. ebd., S. 130-131.

<sup>156</sup> Naredi-Rainer 1989, S. 25.

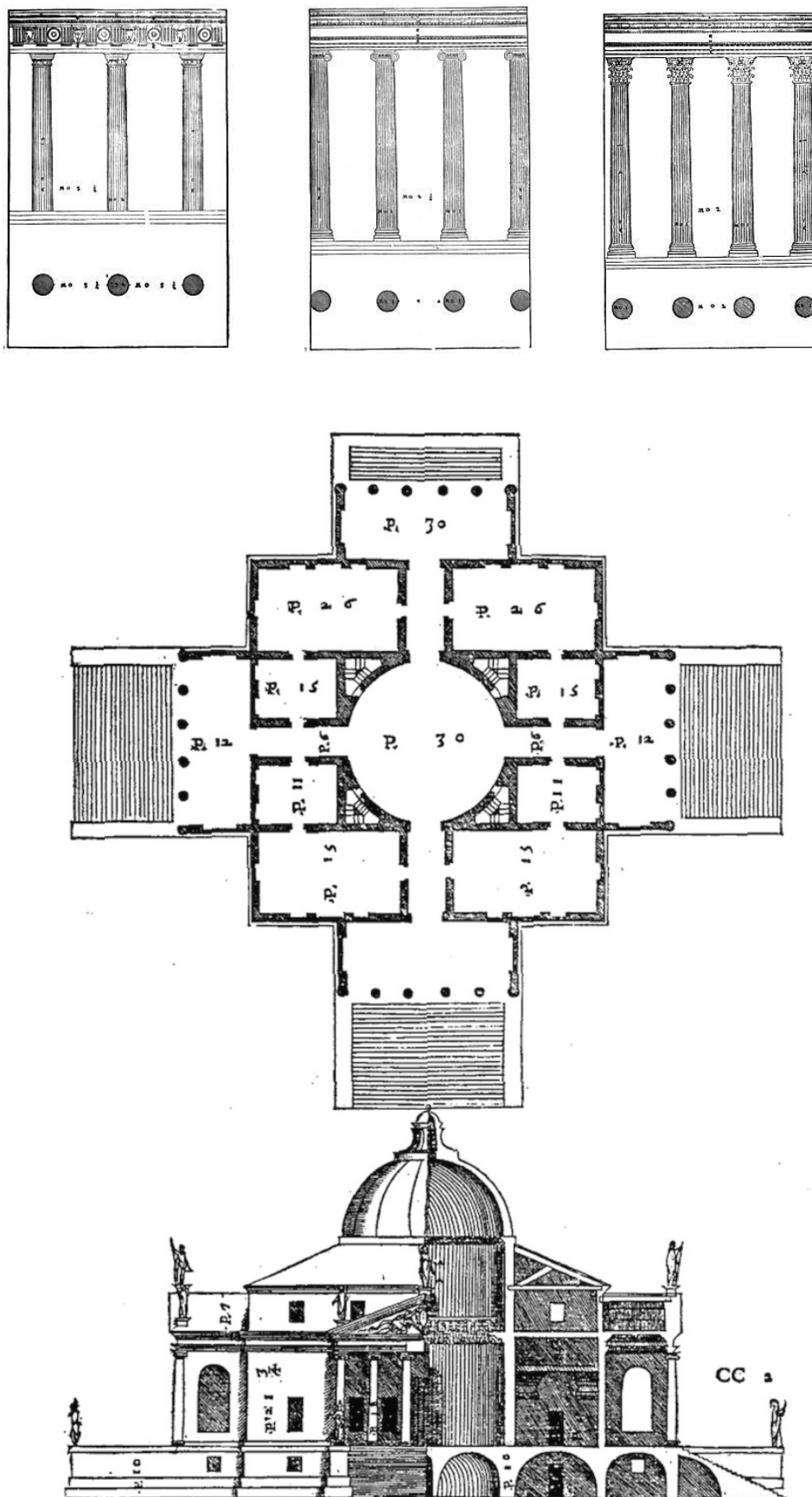


Abb. 17: Beispielhafte Darstellungen von Palladios Proportionssystem mit genauen Größenverhältnissen für die Säulenordnungen (oben: Palladio 1993, S. 51, 59, 69) und die volumetrischen Arrangements von Raumformen (unten: Palladio 1993, S. 133)



### 3.2.4 17. Jahrhundert

Im 17. Jahrhundert nehmen die Weiterentwicklungen in den Wissenschaften wie z. B. das empirische Arbeiten sowie die Anfänge der Archäologie und genauen Bauaufnahme großen Einfluss auf die Architekturtheorie. Auch Erkenntnisse der Philosophie zum Thema Verstand und aufgeklärtes Denken wie etwa von René Descartes fließen in die Diskussionen mit ein. Die Weiterentwicklungen in der Philosophie und den Naturwissenschaften sind stark geprägt von der Aufklärung und finden in den ästhetischen Theorien der Architektur ihren Niederschlag.<sup>157</sup> Darüber hinaus stehen die architektonischen Ästhetiktheorien des 17. Jahrhunderts auch im direkten Zusammenhang mit der Konsolidierung des Absolutismus in Europa, für welche der Versailler Hof unter Ludwig XIV modell- und stilbildend wirkt. Neugegründete Akademien sollen im damaligen Frankreich unter staatlicher Kontrolle feste Regeln und Grundsätze für die Natur- und Geisteswissenschaften sowie für die bildenden Künste erarbeiten und dem Ruhm des Königs dienen. Zwischen Streben nach wissenschaftlichem Fortschritt und dem Beharren auf der Unumstößlichkeit antiker Autoritäten entspinnen sich Konflikte und Diskussionen. Der Streit an der neugegründeten Académie Royale d'Architecture zwischen Konservativen und Modernen, die „Querelle des Anciens et des Modernes“, zeigt dabei deutlich die wichtigsten Aspekte in den Kontroversen um Schönheit in der Architektur im 17. Jahrhundert auf.

**Francois Blondel (1617-1686)** ist als Direktor der Architekturakademie Vertreter der konservativen Anciens. Zwar schränkt auch er bereits die Unumstößlichkeit feststehender Proportionen ein, da ihm bekannt ist, dass das Auge optischen Täuschungen unterliegt; dennoch argumentiert er gegen die Modernen.<sup>158</sup> Als Mathematiker lässt er antike Autoren und Bauten studieren, um an der Akademie neue, einheitliche Architekturregeln zu erarbeiten, denen als Grundlage die Nachahmung antiker Vorbilder dienen soll. Die genaue Erforschung und systematische Zusammenfassung der alten Regeln soll der Architektur ihren antiken Glanz wiedergeben und sie unter Ludwig XIV zu neuer Blüte führen. Blondel ist Vertreter einer Theorie von „Imitation und Verfeinerung“<sup>159</sup>. Durch die Erforschung architektonischer Entwicklungen, die auf ein absolutes Schönheitsregeln entsprechendes Urmodell zurückgeführt werden, deren mathematische Begründung und die Auslotung von Verbesserungsmöglichkeiten, könne Architektur, so seine Annahme, aus der Antike kommend weitergeführt werden (vgl. Abb. 18). Dies könne dann z. B. auch genutzt werden, um weitere Formen zu entwickeln, wie eine neue (französische) Säulenordnung. Blondels Vitruvübersetzung erscheint 1675. Hierin schreibt er, das Ziel der Architektur liege darin, „gut“ und „angenehm“ zu bauen, aber auch „solide, praktisch und gesund“.<sup>160</sup> Bautechnik und praktische Funktionalität tragen für ihn also ebenfalls entscheidend zu architektonischer Qualität bei. Bezüglich der Säulenordnungen versteht er deren Proportionen streng nach Vitruv als Analogie zum menschlichen Körper, hält sie aber nicht für unumstößlich. Er benutzt als Modul den halben Säulendurchmesser, passt die Proportionierung aber je nach Position der Säulen (freistehend, vor die Wand gestellt, Halbsäule

---

<sup>157</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 145.

<sup>158</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 27.

<sup>159</sup> Evers/Thoenes 2015, S. 174.

<sup>160</sup> Krufft 1986, S. 148.

etc.) steiler werdend an.<sup>161</sup> Als Kriterien für Schönheit nennt Blondel „den angenehmen Aspekt und die gute Anmut eines richtig proportionierten Gebäudes“ (Eurythmie), das Verhältnis der Teile zum Ganzen in Analogie zum menschlichen Körper (Symmetrie) und die Schönheit, die das Erscheinungsbild eines Werks genau reguliert, ähnlich dem Decor-Begriff bei Vitruv (Benseance).<sup>162</sup> Die Proportionen eines Gebäudes sind für ihn also unveränderbar und naturgegeben, genau wie die Proportionen des menschlichen Körpers, auch wenn er die Antike nicht für die absolute Norm sondern durchaus für vervollkommenbar hält. Blondel versucht einen schwierigen Spagat zwischen Fortschrittsdenken, also der auch empirischen Erforschung vielseitiger architektonischer Lösungen in der Vergangenheit aufgeworfener Probleme, und andererseits der Vereinheitlichung dieser Ansätze zu einem verbindlichen Regelwerk gemäß den in der Antike entstandenen absoluten Schönheitsregeln.

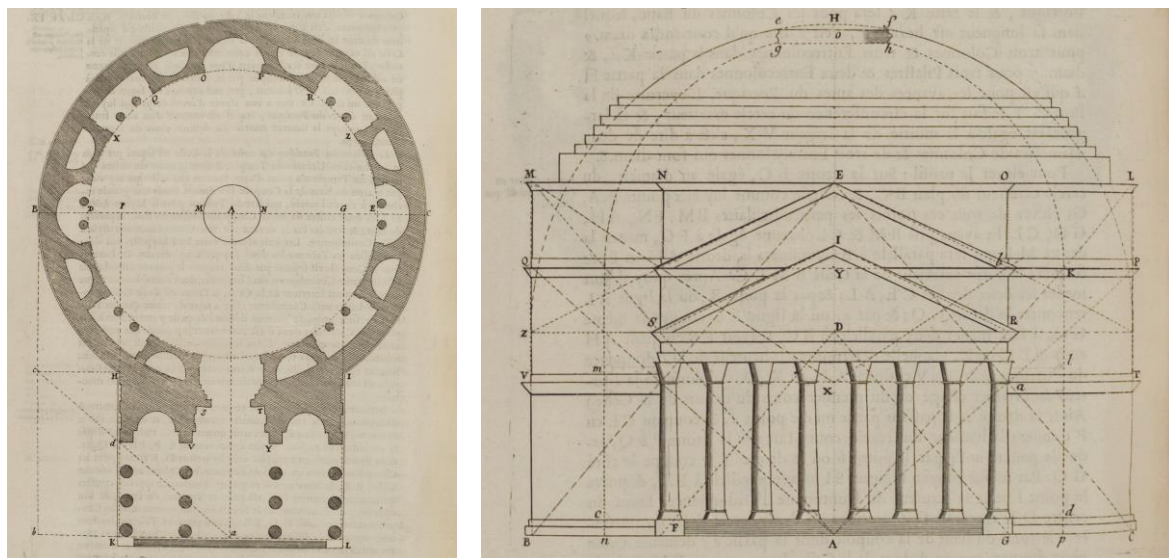


Abb. 18: Vermessung des Pantheons zur Veranschaulichung der Vorbildhaftigkeit antiker Proportionen (Blondel 1698, S. 750, 752)

Blondels Gegenspieler **Claude Perrault (1613-1688)** ist Professor der Physiologie und Pathologie und Mitglied der Académie des Sciences. Seine kommentierte Vitruvübersetzung stammt aus dem Jahr 1673. Auch Perrault ist als Wissenschaftler auf der Suche nach Gesetzmäßigkeiten und widmet sich direkt der Frage, wie sich die Uneinheitlichkeit der Proportionen in den Quellen der Vitruvübersetzer erklären lässt. Bezüglich der Säulenordnungen ist sein Vitruvkommentar eigentlich eine konventionelle Säulenlehre, doch schlägt er einfachere Regeln, und zwar vor ausgehend von der Gesamthöhe.<sup>163</sup> Er sieht Schönheit nicht in unwandelbaren Zahlenverhältnissen und leugnet auch deren Verankerung in der Natur und der menschlichen Seele. Er verweist auf den Empirismus und darauf, dass das Auge mit Hilfe des Urteilsvermögens die Dinge grundsätzlich so sehen kann, wie sie sind.<sup>164</sup> Bezüglich der Schönheit unterscheidet er zwei unterschiedliche ästhetische Kategorien – die „positive, natürliche Schönheit“

<sup>161</sup> Vgl. Kruff 1986, S. 148.

<sup>162</sup> Ebd., S. 148.

<sup>163</sup> Vgl. ebd., S. 150.

<sup>164</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 27.

(*Beauté positive*) und die „willkürliche, gewohnheitsmäßige Schönheit“ (*Beauté arbitraire*).<sup>165</sup> Unter der positiven Schönheit versteht er die Schönheit des Materials und der Ausführung. Hierdurch werden Vitruvs bisher nicht spezifisch ästhetisch verstandene Kategorien *Firmitas* und *Utilitas* zu einem Teil der Schönheit selbst, denn auch Aspekte wie Festigkeit (*Solidité*), Gesundheit (*Salubrité*) und Komfort (*Commodité*) zählt er zur grundlegenden Schönheit eines Bauwerks. Symmetrie definiert Perrault nicht länger als Proportion, sondern als moderne Symmetrie im Sinne von Spiegelbildlichkeit. Der Begriff sowie die Funktion eines Gebäudes werden hiermit zum entscheidenden Faktor von natürlicher Schönheit. Unter der arbiträren Schönheit versteht Perrault eine Art künstlerischen Freiraum, der von der Gewohnheit bestimmt wird. Die Proportion, die Vitruv früher als Symmetrie definiert hatte, ist für ihn nun Proportion im Sinne von Maßverhältnissen und Teil der arbiträren Schönheit. Er geht im Gegensatz zu Blondel nicht davon aus, dass die Proportionsregeln den Maßen des menschlichen Körpers entsprechen, sondern die Architektur ihre eigenen Regeln habe und die seien auch von der Art des Bauens abhängig und kein Naturgesetz, sondern durch Gewohnheit und Tradition bestimmt. Er relativiert damit die Proportion als empirische Größe und stellt den Kern aller früheren Architekturtheorie in Frage.<sup>166</sup> Dies begründet er damit, dass unterschiedliche Proportionen als schön empfunden werden können, natürliche Schönheit aber jeder mit gesundem Menschenverstand empfinden könne. Proportionen seien also bloße Übereinkunft, die dadurch entstehe, dass Architekten gegenseitig ihre Werke nachahmen.<sup>167</sup> Perrault kennt auch bereits anerzogene Sehgewohnheiten und wendet als erster die Assoziationsästhetik auf die Architektur an. Nach ihm ist der Schönheitssinn nicht angeboren, sondern angewöhnt.<sup>168</sup>

Blondel und Perrault liegen inhaltlich nicht weit auseinander. Beide arbeiten Proportionslehren aus und beide glauben an „schöne“ Zahlenverhältnisse. Dennoch leiten sie diese völlig unterschiedlich her und ziehen jeweils andere Schlüsse bezüglich ihrer Entwicklungs- und Fortschreibungsfähigkeit. Blondel glaubt daran, dass genaue Untersuchung zu absoluter Normierung führt, Perrault dagegen geht davon aus, dass gerade genaue Untersuchungen einen gewissen Spielraum aufzeigen. Dabei geht es nie um absolute Regellosigkeit, sondern vielmehr um ein „Ausloten des Spielraums und die Neubestimmung der Grundsätze, die das Verhältnis von Konvention und Innovation regeln.“<sup>169</sup> Die weitreichendsten Folgen hat wohl die Aufspaltung des Proportionsbegriffs in die natürliche Schönheit von Symmetrie und die gewohnheitsmäßige Schönheit von Proportionen. Außerdem verschiebt sich das Ziel der Architektur leicht von der Vitruvschen Trias zu einem Fokus auf dem Nutzen von Architektur. Bei dem Versuch, auf empirischer Grundlage zu normen, führt das oben beschriebene Ringen um einen handhabbaren Begriff des guten Bauens sowohl zu einer klassizistischen Normung mit monumentalen, symmetrischen und streng geometrischen Gebäuden als auch zum Gegenteil - einer Öffnung der Regeln hin zu den freieren Formen des Barocks. Gegen Ende des 17.

---

<sup>165</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 150-151.

<sup>166</sup> Vgl. ebd., S. 150.

<sup>167</sup> Vgl. Germann 1987, S. 185-186.

<sup>168</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 27.

<sup>169</sup> Neumeyer et al. 2002, S. 27.

Jahrhunderts bricht die bisherige Weltordnung dann endgültig zusammen und mit ihr auch die starren ästhetischen Regelsysteme.<sup>170</sup>

### 3.2.5 18. Jahrhundert

Mit dem 18. Jahrhundert beginnt ein Schwinden der prägenden Kraft des Vitruvianismus. Nachdem seine Grundsätze im 17. Jahrhundert grundsätzlich in Frage gestellt worden waren, beginnt nun die Suche nach neuen Ansätzen. In der Folge richtet sich die Lehre vom Schönen mehr und mehr auf die Wahrnehmungskraft des Menschen und wird immer stärker subjektiviert.<sup>171</sup> Es ist der Beginn einer anthropozentrischen, subjektivistischen Kunsttheorie<sup>172</sup>, die Geschmack, Empfindung, Wahrnehmung und Betrachter zu wichtigen Begriffen dieser Zeit macht und auch der Ausdruck der Funktion wird immer wieder thematisiert.

Den Abt und Architekturkritiker **Jean-Louis de Cordemoy (1655-1714)** bezeichnet Germann als „Hauptzeugen des Gesinnungswandels im 18. Jahrhundert“.<sup>173</sup> In seinem Traktat von 1706 lehnt er die Formen der Barockarchitektur der Modernen ab und stellt sich deutlich in die Tradition des Vitruvianismus, führt aber auch zwei neue Begriffe in die Diskussion ein – den „gesunder Menschenverstand“ (Bon sens), einen allgemein zugänglichen Wert, der beschreibt, was als schicklich gilt, und den „angeborenen Geschmack“ (Bon goût). Im Gegensatz zu Perrault trennt er die Ästhetik nicht mehr in positiv-natürlich und gewohnheitsmäßig, insbesondere da eine positive Schönheit nicht mit Komfort und Nutzungszweck vereinbar sei und hinter diese beiden Erfordernisse zurücktreten müsse.<sup>174</sup> Diese Ansicht macht ihn auch zu einem frühen Wegbereiter des Funktionalismus,<sup>175</sup> der sich zu Beginn des Jahrhunderts in Form einer „Charakterlehre“ darstellt, nach der sich der Charakter eines Gebäudes stark an seiner Nutzung im Sinne von Funktionsabläufen orientiert.<sup>176</sup>

Gegen Mitte des 18. Jahrhunderts kann man laut Krufft kaum mehr von einer einheitlichen Architekturtheorie sprechen, sondern vielmehr von vielen verschiedenen und heterogenen Tendenzen, die vom normativen Klassizismus bis hin zu einer Lehre reichten, die, inspiriert von Rousseau, Architektur auf rational verstandene Urformen zurückführen möchte.<sup>177</sup> Ein wichtiger Vertreter dieses Rousseauismus ist **Marc-Antoine Laugier (1713-1769)**, der in seinen beiden Veröffentlichungen „Essai“ (1753) und „Observations“ (1765) beschreibt, wie die Schönheit der Architektur auf der Nachahmung der einfachen Natur beruhe. Er fasst sie als eine absolute und essentielle Größe auf, die von Gewohnheit und Konvention abhängig ist.<sup>178</sup> Inspiriert von dem glücklichen Urzustand der Menschheit, den Rousseau annimmt, interpretiert Laugier die Ursprungstheorie der Urhütte bei Vitruv neu. Sie ist nun nicht mehr rein ent-

---

<sup>170</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 31-32.

<sup>171</sup> Vgl. ebd., S. 28.

<sup>172</sup> Vgl. Germann 1987, S. 223-224.

<sup>173</sup> Ebd., S. 195.

<sup>174</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 30.

<sup>175</sup> Vgl. ebd.; Krufft 1986, S. 158.

<sup>176</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 171.

<sup>177</sup> Vgl. ebd., S. 170.

<sup>178</sup> Vgl. ebd.

wicklungsgeschichtlich zu verstehen, sondern als eine Art Architekturprinzip, bezogen auf den konstruktiven Aufbau von Architektur. Die Säulen und ihre Proportionsordnungen werden bei ihm konstruktiver Bestandteil und eingebettet in eine umfassende Logik, in der Konstruktion, Säulenordnungen, Proportionen sowie das ganze Gebäude und sein Charakter zusammengedacht werden. Laugier erklärt also das konstruktive Prinzip zum Prinzip architektonischer Schönheit. Er formuliert damit den Funktionalismusbegriff neu und verschiebt den Charakterbegriff deutlich in Richtung konstruktiver Logik.

Noch konsequenter ist **Carlo Lodoli (1690-1761)**, der den Zweckgedanken und die Materialgerechtigkeit zum Mittelpunkt seiner Lehre macht.<sup>179</sup> Seine Ansichten sind hauptsächlich durch die Übermittlung anderer bekannt, da er seine eigenen Schriften zu Lebzeiten nie veröffentlicht. Bekannt ist aber, dass er gegen den Barock und das Rokoko Positionen eines entschiedenen architektonischen Rationalismus und, ähnlich wie Laugier, eine modernistische Auffassung des Funktionalismus vertritt. Sein Schwerpunkt liegt dabei im Bereich der Materialgerechtigkeit, indem er fordert, Architekturformen aus dem jeweils verwendeten Material zu entwickeln.

Einen deutlichen Einfluss üben auch Erkenntnisse der Philosophie dieser Zeit auf die Architekturtheorie aus, insbesondere durch die Begründung der Wissenschaft von der Ästhetik. **Alexander Gottlieb Baumgarten (1714-1762)** gilt mit seiner Schrift „Aesthetica“ (1750-58) als Begründer der Ästhetik als philosophischer Theorie und eigenständiger Wissenschaft von der Lehre des Schönen und der sinnlichen Erkenntnis. Der Geschmack in der Ästhetik wird zum Parallelbegriff zu dem der Vernunft in der Ethik<sup>180</sup> und damit auch erstmals neben dem Gefühl und der Empfindung in die Definition von Schönheit miteinbezogen. **Immanuel Kant (1724-1804)** geht als erster davon aus, dass Ästhetik weder mit festgelegten Regeln noch mit angenehmen Empfindungen bei der Betrachtung gleichzusetzen ist, sondern einem subjektiven Urteil unterliegt und dass der Geschmack allein über schön und nicht schön entscheidet.<sup>181</sup> Schönheit werde also auch unabhängig von einer Denkleistung wahrgenommen und sei vielmehr etwas, das die Wahrnehmung insgesamt in einen harmonischen Zustand versetzt.

Einfluss nehmen diese Auseinandersetzungen auch auf die Entwicklungen der Architektur in Frankreich. Eine wichtige Strömung des 18. Jahrhunderts ist dort die Revolutionsarchitektur – die reale sowie die vielen utopischen Entwürfe. Die Architektur von Vertretern dieser Richtung wie **Étienne-Louis Boullée (1728-1799)** oder **Claude-Nicolas Ledoux (1736-1806)** wird oft als revolutionärer Stil beschrieben, da sie im Zusammenhang mit der französischen Revolution gesehen wird. Aus ideologischen Gründen verschiebt sich der Fokus hier auf viele, profanere Bauaufgaben mit einfacheren Formen. Kriterien für die Schönheit der Architektur werden insbesondere in deren Bildwirkung gesehen. Die sogenannte „architecture parlante“ soll ihre eigene Funktion erklären. Entwürfe dieser Stilrichtung zeigen häufig monumentale, sachliche Gebäude mit geschlossenen, einfachen Großvolumen und vergleichsweise zurückhaltenden Schmuckelementen, wie z. B. das Grabmal für Isaac Newton – eine 150 m hohe Kugel, die

---

<sup>179</sup> Vgl. Germann 1987, S. 218.

<sup>180</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 255; Naredi-Rainer 1989, S. 28.

<sup>181</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 19.

die Sphäre des Universums symbolisiert (vgl. Abb. 19). Aufgrund fehlender technischer Möglichkeiten werden viele der damaligen Ansätze aber nicht realisiert und erst im 20. und 21. Jahrhundert wieder aufgegriffen.

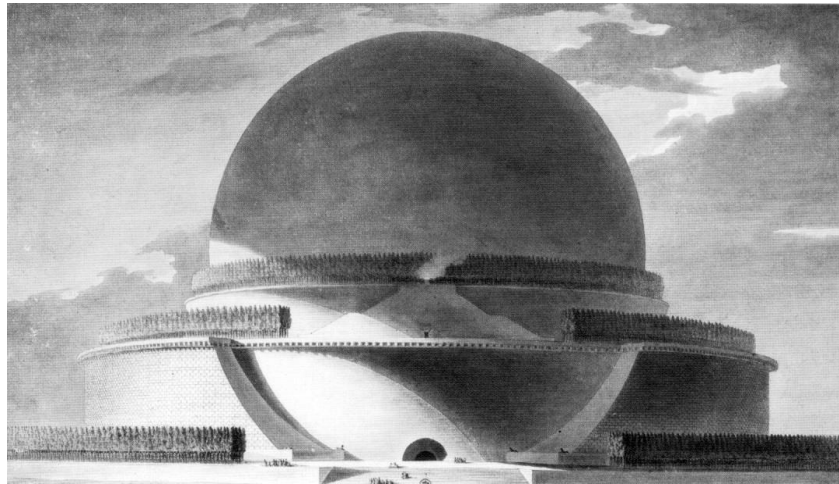


Abb. 19: Der Kenotaph, geplant als Grabmal für Isaac Newton: Höhepunkt und Sinnbild der „architecture parlante“ und der utopischen Revolutionsarchitektur (Wikipedia)

### 3.2.6 19. Jahrhundert

Das 19. Jahrhundert ist geprägt von tiefgreifenden Veränderungen. Es ist das Jahrhundert der Globalisierung, in dem das Nationalstaatsprinzip politische Reform- und Umsturzbestrebungen bestimmt, der Entfaltung neuer Technologien und der Mechanisierung der Güterproduktion, die den Beginn des Industrie- und Ingenieurszeitalter markieren. Ingenieursleistungen wie der Londoner Kristallpalast von Joseph Paxton, eine in vier Monaten gebaute Glas-Eisen-Konstruktion, die, über 500 m lang, in modularer Systembauweise 1851 vor Ort montiert wird, werden zum Symbol dieser Epoche.<sup>182</sup> Gleichzeitig ist es das Jahrhundert der Verwissenschaftlichung mit großem Interesse an Entstehungs- und Entwicklungsprozessen, zu dessen Höhepunkten zweifellos Darwins Evolutionstheorie zählt. Im Bereich der Architektur führen die Erforschung neuer Materialien und ihrer Verwendung sowie die systematische Anwendung wissenschaftlicher Methoden zu einer Trennung von Wissenschaft und Kunst. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch der Organismusbegriff, der zunächst naturhaft von der Gotik abgeleitet, dann naturwissenschaftlich-empirisch begründet wird. Auch die Gartenstadt-Bewegung sucht nach Möglichkeiten, inspiriert von der englischen Landschaftsgartenbewegung das Wohnen wieder stärker mit der Natur zu verbinden. Ideen aus diesen Bereichen nehmen auch Einfluss auf den Städtebau, sodass die Gartenstadt und insbesondere ihr sozialer Charakter, bewusst als Gegenpol zu den Industrielandschaften entwickelt wird. Allgemein ist das 19. Jahrhundert stark gezeichnet von der Suche nach einem eigenen Stil, der die modernen Neuerungen in Materialien und Techniken abbildet. Dafür wird die Geschichte auf ihre Gegenwartstauglichkeit hin durchsucht, gleichzeitig aber auch in romantischem Geiste eine alternative Architektur gesucht.<sup>183</sup>

<sup>182</sup> Vgl. Erben 2017, S. 68.

<sup>183</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 38.

Ein bekannter Vertreter mit ingenieurstechnischem Fokus auf Ökonomie und Rationalität ist **Jean-Nicolas-Louis Durand (1760-1834)**. Als Professor an der École polytechnique veröffentlicht er um 1800 einen Bildatlas sowie mehrere Hefte zu seiner Bauentwurfslehre, die insbesondere die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts prägen. Er stellt den öffentlichen Nutzen, die Zweckmäßigkeit und insbesondere die Sparsamkeit in den Vordergrund und selbst seine ästhetischen Kategorien (Symmetrie, Regelmäßigkeit und Einfachheit) sollen auf ökonomische Maßgaben Rücksicht nehmen.<sup>184</sup> Die Wirtschaftlichkeit des Bauens versucht er mit einem radikal systematisierten Entwurfsprinzip sicherzustellen.<sup>185</sup> Besonders bekannt ist er für seine diagrammatische Entwurfs- und Darstellungsmethode, die eine zweckmäßige Übersicht gibt, vergleichbar mit einer Art Baukasten für alle Denkmäler und Stile, die nach den archäologischen Untersuchungen bekannt sind. In den Heften zu seiner Lehre zeigt er auf der Grundlage eines einfachen, quadratischen Achsrasters Bautypen, die aus zweimal zwei, dreimal drei etc. Quadraten entsprechend den Raumerfordernissen radikal systematisiert aufgezogen werden.

Neben den Theorien der Architekten und Ingenieure fließen auch zahlreiche idealistische, philosophische Ansätze in die Architekturtheorie des 19. Jahrhunderts ein, sowohl in den Klassizismus als auch in verschiedene funktionalistische Theorien.<sup>186</sup> Wichtige Beiträge leisten **Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831)**, **Bernard Bolzano (1781-1848)**, **Arthur Schopenhauer (1788-1860)** und **Karl Rosenkranz (1805-1879)**. Sie thematisieren beispielsweise Aspekte wie Tragen und Lasten und sehen die Bauästhetik als das Sichtbarmachen von Schwerkraftgesetzen und den statisch-technischen Eigenschaften von Formen und Materialien.<sup>187</sup> Zudem gilt ihr Interesse der Rolle des Lichts, das die ästhetische Qualität von Objekten erst belebt und vermittelt<sup>188</sup>. Auch die Dialektik von Natur- und Kunstschönem spielt weiterhin eine große Rolle. Für Hegel bspw. ist das Kunstschöne, zu dem er auch die Architektur zählt, höhergestellt<sup>189</sup> und Architektur soll die in der Natur vorgefundenen Bedingungen, Materialien und Formen nehmen und dem menschlichen Verstand gemäß etwas symmetrisch Geordnetes daraus machen, was die Widrigkeiten und das Hässliche außen vor lässt.<sup>190</sup> Deutlich davon abgegrenzt sind die Theorien von Karl Rosenkranz, der vor allem als Provokateur und Vertreter einer „Ästhetik des Hässlichen“<sup>191</sup> bekannt geworden ist. Seiner Theorie nach ist Ästhetik nicht nur idealistische Schönheit, sondern zur Wahrheit gehört für ihn auch, dass es Hässliches gibt, das ebenso in die Kunst eingebunden werden muss, um die Realität selbst einzubinden. Der Schönheit etwas entgegensetzen, bewahre bzw. verdeutliche diese umso mehr.<sup>192</sup> Und nicht zuletzt drehen sich die Diskussionen nach wie vor darum, ob der Schönheitssinn angeboren sei, bzw. erlernt werden könne. Nach Hegel muss der Schönheitssinn

---

<sup>184</sup> Vgl. Erben 2017, S. 59.

<sup>185</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 222.

<sup>186</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 346-347.

<sup>187</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 195.

<sup>188</sup> Vgl. Gleiter 2008, S. 121; Krufft 1986, S. 345.

<sup>189</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 128.

<sup>190</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 22.

<sup>191</sup> Veröffentlicht 1853.

<sup>192</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 25.

(Geschmack), dessen es bedarf, um Kunstschönes wahrzunehmen, anerzogen werden.<sup>193</sup> Bolzano wiederum widerspricht dieser Auffassung. Für ihn erfordert das Erkennen von Schönheit keine Denkarbeit. Ein Gegenstand sei schön, wenn seine Betrachtung Vergnügen erzeuge ohne Aufwand oder wirkliches Bewusstsein hierfür.<sup>194</sup>

Als Vertreter des romantischen Klassizismus gilt **Karl Friedrich Schinkel (1781-1841)**, der unter staatlicher Anstellung landesweite Bauaufsichtsaufgaben in ganz Preußen betreut.<sup>195</sup> Er möchte durch Neues das Alte bzw. die Geschichte fortführen<sup>196</sup> und „das Mechanische mit dem Ästhetischen [...] versöhnen“<sup>197</sup>. Schinkel sieht neue Technologien nicht nur als Mittel zum Zweck, sondern erkennt in ihrer Anwendung bereits ihr ästhetisches Potenzial. Für ihn besteht „ein wesentliches Verhältnis zwischen Konstruktion und Schönheit“,<sup>198</sup> weshalb die Konstruktion grundsätzlich sichtbar bleiben soll. Er betont die Vitruvianische Trias stark funktionalistisch, indem Charakter und Schmuck aus Material, Raumverteilung und Konstruktion resultieren sollen.<sup>199</sup> Auch die antike Formensprache behält er bei. Verbunden mit einer romantischen Hinwendung zur Gotik und der Einbeziehung neuer technischer und materieller Möglichkeiten, führt er diese aber zu neuen Interpretationen und Anwendungen, z. B. im Bereich der sichtbaren Verwendung von Backstein (vgl. Abb. 20). Nach Schinkel entsteht Stil, wenn die Materialcharakteristik sichtbar wird.<sup>200</sup>

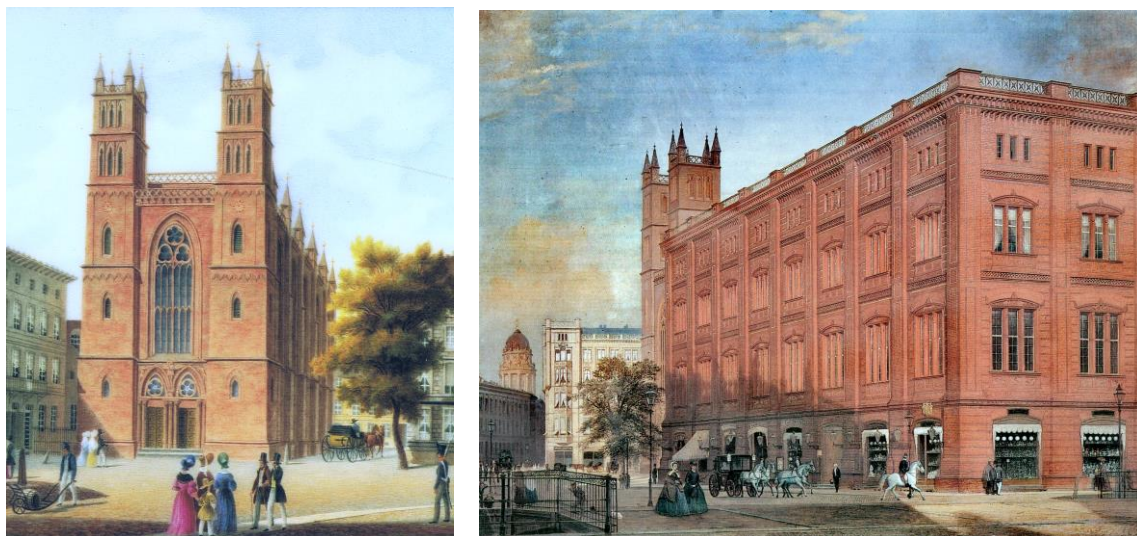


Abb. 20: Materialcharakteristische Verwendung von Backstein an der Friedrichswerderschen Kirche und der Bauakademie in Berlin (links: Wikimedia/Freydanck; rechts: Wikipedia/Gärtner)

<sup>193</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 255.

<sup>194</sup> Vgl. ebd.

<sup>195</sup> Seine Entwicklung ist allerdings keine stringente, sondern reicht in verschiedenen Phasen von romantisch über klassizistisch bis hin zu technizistisch. (Vgl. Peschken (1979): Schinkel, das architektonische Lehrbuch, zitiert in: Krufft 1986, S. 340-343.)

<sup>196</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 402.

<sup>197</sup> Neumeyer et al. 2002, S. 40.

<sup>198</sup> Krufft 1986, S. 341.

<sup>199</sup> Vgl. ebd., S. 340.

<sup>200</sup> Vgl. ebd., S. 342.



Die Leitfrage der Architekturtheorie des 19. Jahrhunderts stellt **Heinrich Hübsch (1795-1863)**, Architekt und Baudirektor in Karlsruhe mit seiner Veröffentlichung „In welchem Stil sollen wir bauen?“ (1828).<sup>201</sup> Er sieht in der reinen Nachahmung der Antike keine Universallösung mehr für die Erfordernisse der Gegenwart. Auf der Suche nach einer konstruktiven Begründung für den richtigen Stil kommt er über das Argument, dass der Rundbogen-Konstruktions-Stil der Romanik für aktuelle Herausforderungen besser geeignet sei, zu dem Schluss, dass auch der Stil der Neo-Romanik der richtige sein müsse.<sup>202</sup> Krufft sieht in Hübsch einen typischen Vertreter des im 19. Jahrhundert verschiedentlich zu beobachtenden Argumentationsmusters, nach welchem vermeintlich rationale „Stil-Beweise“ vielmehr vorgeschobene Gründe für historische „Stil-Vorlieben“ sind.<sup>203</sup> So wird der Stil im 19. Jahrhundert zu einer Formensprache, die an bestimmte Orte und Zeiten gebunden ist. Davon ausgehend sucht man dann einen eigenen Stil.<sup>204</sup>

Einer der meistgelesenen Architekten des 19. Jahrhunderts ist **Gottfried Semper (1803-1879)**. Schon mit dem Nachweis, dass antike Bauwerke im Gegensatz zu ihren Kopien in der Renaissance farbig waren, zeigt er im sogenannten Polychromiestreit (einer Diskussion über die Bemalung antiker Gebäude), dass die gegenwärtige klassizistische Architektur für ihn keinesfalls allgemeingültig sein kann, wenn sie nicht ihren Vorbildern entspricht, und sucht über das reine Kopieren antiker Bauwerke hinaus nach Lösungen für die Gegenwart. In „Die vier Elemente der Baukunst“ (1851) entwirft er eine Art Baukastensystem von vier Bauelementen (Herd, Erdaufwurf, Dach und Wand), die auf einen jeweiligen kunstgewerblichen Ursprung zurückgeführt werden (Metall, Wasser/Mauer, Holz und Textil)<sup>205</sup> und wie Worte mithilfe einer Grammatik zu einem sinnvollen Satz verknüpft werden. Diese Verknüpfung leisten vier „Autoritäten“ (die „eurythmisch-symmetrische“, die „proportionale“, die „Richtungs-“ und die „Inhaltsautorität“).<sup>206</sup> Semper vertritt damit nicht nur den Standpunkt, Material ganz nach dessen eigenem Charakter zu verwenden und es gemäß seiner eigenen Materialität erscheinen zu lassen.<sup>207</sup> Vielmehr verweist er auch auf die gleichen Wurzeln der Begriffe „Wand“ und „Gewand“ und entwirft eine Theorie des textilen Ursprungs der Architektur, „die dem Schmuck- und Schutzbedürfnis gleichermaßen entspringt“<sup>208</sup> und von der Bekleidung des menschlichen Körpers nach und nach auf andere technische Künste und schließlich auf die Baukunst übergegangen sei. Damit begründet er die Idee einer „das Material transzendierenden Baukunst“<sup>209</sup> und einen wichtigen theoretischen Anfang der Trennung von „Stilhülse“ und „Kern“<sup>210</sup>, die die Bedeutung der Konstruktion im Sinne einer relativen Unabhängigkeit der Hülle gegenüber dem

---

<sup>201</sup> Vgl. Erben 2017, S. 63.

<sup>202</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 352-353.

<sup>203</sup> Vgl. ebd., S. 353.

<sup>204</sup> Vgl. Germann 1987, S. 263.

<sup>205</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 434.

<sup>206</sup> Vgl. Erben 2017, S. 71-72.

<sup>207</sup> Vgl. Germann 1987, S. 261-262.

<sup>208</sup> Neumeyer et al. 2002, S. 14.

<sup>209</sup> Erben 2017, S. 74.

<sup>210</sup> Vgl. ebd., S. 74-75.

Kern relativiert.<sup>211</sup> Sein Hauptwerk „Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten“ (1860-1863) ist einer der wichtigsten architekturtheoretischen Beiträge des 19. Jahrhunderts.<sup>212</sup> Hierin beschreibt er, dass Stil dann entstehe, wenn technische Mittel und verfügbare Materialien zusammenkommen in einer sinnvollen Verbindung mit Funktion, Konstruktion und Dekoration.<sup>213</sup> Dabei ist er kein reiner Funktionalist, vielmehr ist Materialgerechtigkeit „nur eine Prämisse einer wahren Symbolhaftigkeit von Architektur“<sup>214</sup>. Wenn auch entschiedener Vitruv-Gegner, definiert er als Grundlage schöner und einheitlicher Formen „drei Gestaltungsmomente“: Symmetrie, Proportionalität und Bewegungsfreiheit/‘Richtung‘.<sup>215</sup> Germann sieht Semper als letzten Theoretiker, der mit seinem Beitrag den Vitruvianismus endgültig beendet und, „indem er die Künste und die ‚Kunstindustrie‘ unter ihren politischen und wirtschaftlichen Produktionsbedingungen betrachtet“, „die Architekturtheorie auf ein neues Feld [führt]“.<sup>216</sup>

Viele Beispiele für die Kombination von technischem Fortschritt und Historismus liefert auch **Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879)** als Mitbegründer der Neu-Gotik als technologischer Neuentwicklung der Gotik. Mit Konstruktion und Funktion als Hauptfaktoren eignet sich die Architektur der Neuzeit für seinen Fokus nicht, denn sie war von Schmuck und Dekoration überlagert. Er kehrt die bisher verbindliche Auffassung um, nach der Antike und Renaissance Hochzeiten sind gegenüber dem Mittelalter, denn für ihn ist die Gotik des 13. Jahrhunderts aufgrund ihrer rationalen Prinzipien bezüglich Statik und Materialverwendung durchaus ein Höhepunkt der europäischen Architekturgeschichte.<sup>217</sup> Ihre Prinzipien erscheinen ihm besonders geeignet, die Architektur der Gegenwart weiterzuentwickeln und zeitgenössische Bauaufgaben zu lösen. In zahlreichen Veröffentlichungen beschreibt er, wie Architektur insbesondere logisch, vernünftig und effizient sein müsse<sup>218</sup> und die Bauform aus den Materialeigenschaften und aus dem Konstruktionsprinzip abzuleiten sei.<sup>219</sup> Proportionen seien dabei von der Statik abhängig, feste Zahlenbezüge lehnt er ab.<sup>220</sup> In seinem festen Glauben an den technologischen Fortschritt bewertet er auch Eisen als Baumaterial positiv und erkennt dessen Verwendungsmöglichkeiten und auch seine spezifische Ästhetik, versucht aber dabei, dieses Material noch stark an gotische Formen anzupassen. Trotzdem ist sein Werk eines der frühesten Beispiele für die Entwicklung einer Formensprache aus den konstruktiven Prinzipien eines neuen Baustoffes.<sup>221</sup>

Als prägend erweist sich auch **John Ruskin (1819-1900)**, ein englischer Kunstschriftsteller, der in „Stones of Venice“ und „Seven Lamps of Architecture“ Architektur als poetische Erzählung beschreibt und ihre sinnliche Gegenwart betont gegenüber ihrer historischen Vergangen-

---

<sup>211</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 41, 47.

<sup>212</sup> Vgl. Erben 2017, S. 69.

<sup>213</sup> Vgl. ebd., S. 71.

<sup>214</sup> Krufft 1986, S. 356.

<sup>215</sup> Vgl. Joseph Rykwert (1983): Ornament ist kein Verbrechen, S. 220, zitiert in: Grütter 2015, S. 237.

<sup>216</sup> Vgl. Germann, 1987, S. 263.

<sup>217</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 321-322.

<sup>218</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 240.

<sup>219</sup> Vgl. Germann 1987, S. 16.

<sup>220</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 323.

<sup>221</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 232.

heit.<sup>222</sup> Er sucht allgemeingültige Architekturprinzipien nicht in der Geschichte, sondern auf der Grundlage subjektiver Empfindungen und Vorlieben<sup>223</sup> und akzeptiert als Architekturgesetze nur solche, die aus der menschlichen Natur und der Gesetzmäßigkeit des Materials herrühren<sup>224</sup>. Seine fundamental ästhetische Naturauffassung steht z. B. in deutlichem Gegensatz zu Hegel, der die Kunstschönheit höher bewertet als die Naturschönheit.<sup>225</sup> Auf einer stark moralischen Ebene fordert er für die Architektur als eine von deren sieben Leuchten „Wahrheit“ im Sinne von Materialgerechtigkeit, Transparenz konstruktiver Zusammenhänge und Sichtbarkeit handwerklicher Bearbeitung bzw. Verwendung eines handgefertigten organischen Ornaments.<sup>226</sup> Aus moralischen Gründen ist er generell sowohl gegen industriell gefertigte Architektur wie den Cristal Palace als auch gegen klassizistische und spricht sich für das traditionell handwerkliche Bauen wie in der Gotik und Romanik aus. In seiner Ornamentlehre fordert er, sich wieder an der Malerei und an den Farben und Formen der Natur zu orientieren, und entwickelt selbst, neben vielen eigenen Architekturornamenten, eine umfassende Theorie, die der Architekturtheorie eine neue Komplexität verleiht und vielfach zitiert wird.<sup>227</sup>

Mit den Beiträgen von **August Schmarsow (1853-1936)** und **Louis Sullivan (1856-1924)** entstehen gegen Ende des 19. Jahrhunderts dann erste Vorläufer der sogenannten „Raum-Wende“, des „Spatial Turn“.<sup>228</sup> Schmarsow veröffentlicht 1894 in „Das Wesen der architektonischen Schöpfung“ drei Thesen eines neuen Raum-Denkens, nach denen (1) Architektur Raumschöpfung ist und weniger Baukörpergestaltung, (2) Raum durch Benutzer konstituiert wird und nicht durch Begrenzungen und (3) das Zentrum des Raums der Mensch ist.<sup>229</sup> Laut Neumeyer rückt damit „zum ersten Mal der architektonische Raum als Wahrnehmungs- und Vorstellungsform in den Mittelpunkt der Architekturtheorie“.<sup>230</sup> Dies ist einer der großen Paradigmenwechsel, im Zuge dessen sich die Funktion von Architektur vom Repräsentieren zum Raumbilden wandelt und die Architekturwahrnehmung gemäß den Möglichkeiten menschlicher Sinne begriffen wird.<sup>231</sup> Schmarsow bezieht die Eigenheiten menschlicher Wahrnehmung mit ein in die Architekturwahrnehmung, z. B. indem er Tast- und Gesichtsraum definiert und die Zusammenhänge zwischen Größenwahrnehmung, Maßstäblichkeit und optischen Täuschungen und der Funktionsweise menschlicher Wahrnehmung aufzeigt als „das ästhetische Ereignis in Abhängigkeit von der Eigentümlichkeit des Auges“<sup>232</sup>. Schmarsows anthropogenem Raumkonzept steht Sullivans funktionalistisches gegenüber. Er beschreibt in seiner „Milieu-Theorie“, wie Raum von dem ihn umgebenden Milieu geformt wird, indem z. B. ausgehend von geschäftlichen Bedarfen, Bauvorschriften, konstruktiven Zusammenhängen und ge-

---

<sup>222</sup> Vgl. Erben 2017, S. 64-65.

<sup>223</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 318.

<sup>224</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 380; Neumeyer et al. 2002, S. 43.

<sup>225</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 128-129, 149.

<sup>226</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 381.

<sup>227</sup> Vgl. ebd., S. 383.

<sup>228</sup> Vgl. Erben 2017, S. 75-76.

<sup>229</sup> Erben 2017, S. 76-77.

<sup>230</sup> Neumeyer et al. 2002, S. 53.

<sup>231</sup> Vgl. Gleiter 2008, S. 46-47, 118.

<sup>232</sup> Ebd., S. 120.

wünschtem architektonischem Ausdruck ein „typisches“ Bürohochhaus generiert wird.<sup>233</sup> Funktion ist für ihn dabei mehr als die Erfüllung spezieller Aufgaben eines Gebäudes. Es liegt nahe, gewisse Einflüsse der Evolutionstheorie anzunehmen, wenn sich bei Sullivan Funktionen als „Hervorbringungskräfte des Milieus“ deuten lassen, die evolutionär in der Erscheinung eines Gebäudes adaptiert werden.<sup>234</sup> Das Gebäude wird so zum „Produkt seiner Umwelt“<sup>235</sup> und drückt auch bei Sullivan in seiner Form menschliche Bedürfnisse aus<sup>236</sup>. Der „vom Menschen hergestellte[...] Raum“ ist bei ihm aber vielmehr „durch Institutionen geformt“ gegenüber dem Raum bei Schmarsow, der „durch die Körperwahrnehmung hergestellt“ ist.<sup>237</sup> Gleichzeitig legt Sullivan mit „Das Bürohaus unter künstlerischen Gesichtspunkten betrachtet“ (1896) den Grundstein für die Leitlinie „form follows function“, die zum Leitspruch vieler funktionalistischer Architekt/innen der Moderne wird. In seinem Beitrag beschreibt Sullivan die Aufgaben und den Aufbau künstlerisch anspruchsvoller Büro-Hochhäuser; seine eigentliche Aussage bezieht sich aber auf den Zusammenhang zwischen materiellem Aufbau und den Schönheitsgesetzen der Natur, der für ihn untrennbar ist.<sup>238</sup> Damit steht er auch in direktem Bezug zu den organischen Ansätzen Wrights. Auch er ist gegen eine „falsche“ bzw. überbordende Verwendung von Ornamenten, wie er 1892 in „Ornament in Architecture“ ausführt. Seine eigene Ornamentierung ist eher gliedernd, basierend auf geometrischen Grundformen oder ähnlich einer Oberflächenstrukturierung. In „A System of Architectural Ornament According with a Philosophy of Man's Powers“ (1924) hält er bzgl. seiner Ornamentlehre noch einmal dezidiert fest, dass das Ornament grundsätzlich wichtig und legitim sei, so lange es aus Form und Funktion des Gebäudes erwächst und dieses auch ausdrückt.<sup>239</sup>

Nicht zuletzt nehmen auch die Forschungsarbeiten der Gestalttheoretiker wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung der Ästhetiktheorien in Kunst und Architektur. Aus der „Einfühlungsästhetik“ um 1850 entwickelt sich bis zum Ende des Jahrhunderts eine „psychologische Ästhetik“ der Architektur, die bewusst als „Ästhetik von unten“ verstanden wird im Gegensatz zu einer metaphysischen Schönheit als „Ästhetik von oben“.<sup>240</sup> **Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832)** ist einer der ersten, die den Begriff der Gestalt definieren. Er versteht darunter das „Wesen der Dinge“ und schreibt weiter in seinem Aufsatz „Baukunst“ (1795): „Höchster Zweck jeder Kunst ist es, den Geist durch das ‚Sinnlich-Harmonische‘ zu entzücken und folglich erhebt auch erst ‚der poetische Teil der Baukunst‘ das Bauen über die Technik hinaus.“<sup>241</sup> **Gustav Theodor Fechner (1801-1887)** gilt als Mitbegründer der experimentellen Ästhetik.<sup>242</sup> Durch seine Forschungen zum „wohlproportioniertesten Rechteck“ kann er belegen, dass ein Rechteck mit Seitenlängen im Verhältnis des Goldenen Schnitts den meisten Probanden ge-

---

<sup>233</sup> Vgl. Erben 2017, S. 78.

<sup>234</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 411.

<sup>235</sup> Erben 2017, S. 79.

<sup>236</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 411.

<sup>237</sup> Erben 2017, S. 80.

<sup>238</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 22.

<sup>239</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 413.

<sup>240</sup> Vgl. Gleiter 2008, S. 113.

<sup>241</sup> Johann Wolfgang von Goethe (1795): Baukunst, S. 36, zitiert in: Neumeyer et al. 2002, S. 36.

<sup>242</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 53.

fällt (vgl. Abb. 21).<sup>243</sup> Er stellt fest, dass das Empfinden von Schönheit sowohl vom Objekt (dem betrachteten Gegenstand) als auch vom Subjekt (dem Betrachter) abhängig ist.<sup>244</sup> 1860 versucht er die Beziehung zwischen einem Reiz und dessen Verarbeitung gesetzmäßig zu erfassen und begründet damit die Wahrnehmung als wissenschaftliche Disziplin. Auch die Assoziationstheorie, nach der Wahrnehmung meist im Zusammenhang mit vorangegangenen Erfahrungen steht, geht auf seine Arbeiten zurück (vgl. Abs. 3.1.2).

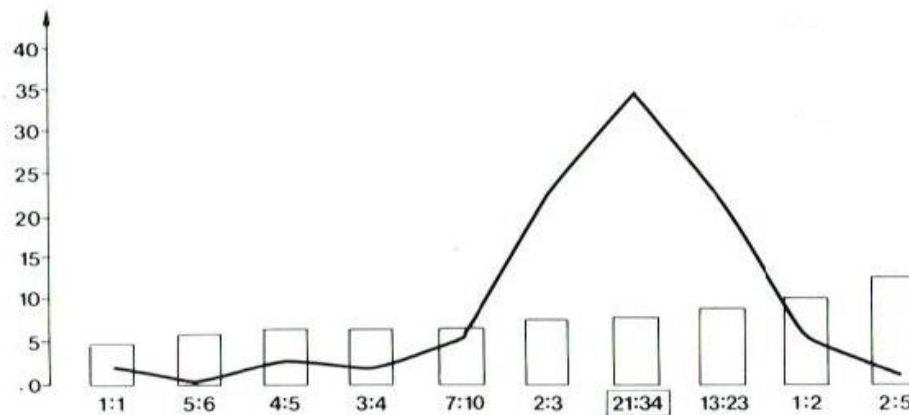


Abb. 21: Fechners Untersuchung zum „schönsten Rechteck“ (Naredi-Rainer 1989, S. 193)

Weitere Erkenntnisse zu den Prinzipien der Gestaltwahrnehmung liefert der Physiker, Philosoph und Psychologe **Ernst Mach (1838-1916)** als Begründer der Theorie, dass die Form eines Objektes über sämtliche weitere Merkmale dominiert, veröffentlicht in „Analyse der Empfindung“ (1886). **Christian von Ehrenfels (1859-1932)** prägt die Begriffe Übersummativität und Transponierbarkeit als Eigenschaften einer Gestalt als Ganzes. Bekannt geworden ist das in „Über Gestaltqualitäten“ (1890) dargelegte Beispiel einer Melodie und ihrer Übertragung in eine andere Tonart. Die Melodie besteht aus einzelnen Tönen, die auch anders zusammengestellt werden können; die Melodie aber bleibt immer die gleiche, auch wenn sie in eine andere Tonart übertragen wird und ist also mehr als die Summe ihrer Teile. Diese Melodie im Ganzen wahrzunehmen, offenbart für Ehrenfels ihr Wesen im Sinne ihrer „Gestaltqualität“. **Max Wertheimer (1880-1943), Wolfgang Köhler (1887-1967), Kurt Koffka (1886-1941) und Kurt Lewin (1890-1947)** bilden zusammen die sogenannte „1. Generation der Berliner Schule“. Zunächst begründen Köhler, Wertheimer und Koffka die Gestaltpsychologie als neuen Zweig der Psychologie am Psychologischen Institut in Frankfurt. Dort führen sie 1910 bis 1914 die entscheidenden Experimente zu den Gestaltgesetzen durch. Wertheimers 1912 veröffentlichte Habilitation, eine experimentelle Studie zum Sehen von Bewegung, gilt allgemein als Geburtsstunde der Gestalttheorie.

<sup>243</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 191-193.

<sup>244</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 256.

### 3.2.7 Moderne

Zu der klassischen Moderne der Architektur zählen die theoretischen Strömungen der ca. 1920er bis 1960er Jahre. In Reaktion auf Historismus und Neo-Stile und angesichts der Verfügbarkeit neuer Baumaterialien ist diese Zeit vielfach geprägt von Rationalismus und Standardisierung. Verschiedene Leitlinien, deren Relevanz bis in die Gegenwart reicht, verdeutlichen dabei die unterschiedlichen Schwerpunkte der Akteure. Hierzu zählen insbesondere der von Louis Sullivan geprägte Grundsatz des Funktionalismus „form follows function“, die Ablehnung des Ornaments, für die allen voran Adolf Loos mit seiner Aussage „Ornament ist Verbrechen“ steht und nicht zuletzt Mies van der Rohe „less is more“ als Grundlage des Minimalismus. Als Oberbegriff erklärt der Architekt und erste Direktor der Architekturabteilung des Museum of Modern Art in New York Philip Johnson diese moderne Architektur 1932 zum „International Style“.<sup>245</sup> Neben der weiteren Thematisierung von Materialgerechtigkeit angesichts neuer synthetischer Materialien wie Beton, Eisen und Glas, spielen auch Entwicklungen im industriellen Bauen und industriell vorgefertigte Bauteile bis hin zu einer eigenen Maschinenästhetik eine wichtige Rolle. Sozialbauten bzw. das „Bauen für das Existenzminimum“ sind angesichts der drängenden sozialen Probleme und des großen Bedarfs an Wohnraum wichtige Bauaufgaben. Gleichzeitig markieren diese Jahre den Beginn städtebaulicher Leitbilder wie der Funktionstrennung in „Wohnen, Arbeiten, Freizeit, Verkehr“, der offenen Bebauung und der sogenannten „autogerechten Stadt“. Nicht zuletzt wird auch der Raumbegriff mit dem „Raumplan“ (Loos), der „Promenade Architecturale“ (Le Corbusier) und dem „absoluten Raum“ (Mies van der Rohe) weiterentwickelt.<sup>246</sup>

Ein wichtiger Vertreter der frühen Phasen der Moderne ist **Frank Lloyd Wright (1867-1959)**, der 1908 bereits in seinem Aufsatz „In der Sache der Architektur“ seinen organischen Ansatz unterstreicht. Sein Ideal guter Architektur ist amerikanisch, individuell und vom mittleren Westen der USA geprägt. Er nennt sie eine „organische Architektur für eine demokratische Gesellschaft“<sup>247</sup>. Damit verbunden versteht er auch die Stilpluralität als Ausdruck von Demokratie.<sup>248</sup> Dabei hat sein naturbezogener und organischer Ansatz ein gotisches Vorbild: „Der richtige organische Stil im gotischen Geist sei so natürlich wie der Stil einer Blume; er müsse sich entwickeln aus den Bedürfnissen der Bewohner, aus der Natur der Materialien und aus den natürlichen Gegebenheiten der Landschaft.“<sup>249</sup> Insbesondere mit seinen „Prärie-Häusern“ baut Wright materialgerecht und mit natürlichen Materialien wie Holz und Naturstein, berücksichtigt klimatische Bedingungen und versteht Haus und Umgebung als eine Einheit.<sup>250</sup> So gestaltet er z. B. ausladende Grundrisse, die in die Umgebung greifen, oder setzt die Horizontalität von Gebäuden bewusst zur Verbindung mit dem Boden ein. Wright sieht in der Natur Form- und Farbenvielfalt, Naturschönheit bedeutet für ihn vor allem aber auch Ordnung, Ausgeglichenheit

---

<sup>245</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 196.

<sup>246</sup> Vgl. Erben 2017, S. 84-85.

<sup>247</sup> Evers/Thoenes 2015, S. 538.

<sup>248</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 50.

<sup>249</sup> Evers/Thoenes 2015, S. 540.

<sup>250</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 494.

und Einheit.<sup>251</sup> Er fordert Symmetrie und Rhythmus, aber nicht um ihrer selbst willen,<sup>252</sup> und keine Dekoration, denn Schmuck soll direkt aus den Details der Konstruktion entstehen und nicht nachträglich als Applikation hinzugefügt werden. Dabei setzt er die Grundsätze der optischen Wahrnehmung bewusst ein und nutzt z. B. vertikale Bauteile wie Kamine, um die Horizontalität seiner Gebäude zu betonen (vgl. Abb. 22).



Abb. 22: Robie House in Chicago (Grütter 2015, S. 197)

**Adolf Loos (1870-1933)** ist der bekannteste Vertreter der ornamentlosen Architektur. Beeinflusst von der Hochhausarchitektur der Chicagoer School und allgemein vom amerikanischen Lebensstil, setzt er auf Materialien und Proportionen.<sup>253</sup> Seiner Überzeugung nach ist Schönheit in der Architektur bedingt von der Materialwahl und einer Entwicklung des Gebäudes von innen nach außen. Als gute und stimmige Architektur definiert er eine Architektur, die keine Kunst sein will, sondern der Allgemeinheit dient.<sup>254</sup> Er ist auch gegen das Vermischen von Kunst und Handwerk, wie es z. B. der Werkbund oder das Bauhaus fordern und praktizieren. Architektur soll zeitgemäß und funktional sein, entsprechend seinem Konzept des „Raumplans“, in dem jeder Raum entsprechende Maße erhält, je nach seiner Nutzung, auch was seine Höhe betrifft. Dies führt zu verschachtelten Grund- und Aufrissen, Architektur und Formgestaltung selbst bleiben aber ornament- und kunstlos (vgl. Abb. 23). Loos schreibt: „Die Schönheit nur in der Form zu suchen und nicht vom Ornament abhängig zu machen, ist das Ziel, dem die ganze Menschheit zustrebt.“<sup>255</sup> Seine Kriterien für schöne Architektur sind Materialgerechtigkeit („edles Material und gute Arbeit sind Ornamentik überlegen“<sup>256</sup> und „jedes Material hat seine eigene Formensprache“<sup>257</sup>) und Ornamentlosigkeit (Ornamente, die weder dem

<sup>251</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 257.

<sup>252</sup> Vgl. ebd., S. 240.

<sup>253</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 474.

<sup>254</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 421.

<sup>255</sup> Adolf Loos (1981/1921): *Ins Leere gesprochen*, S. 97, zitiert in: Grütter 2015, S. 257.

<sup>256</sup> Grütter 2015, S. 165.

<sup>257</sup> Krufft 1986, S. 419.

Material entsprechen noch Ausdruck ihrer Zeit sind, seien Zeit- und Arbeitskraftverschwendung,<sup>258</sup> beschreibt er in „Ornament und Verbrechen“, 1908) und er setzt auf Proportionen sowie die sichtbare Konstruktion und die Art des Zusammenfügens.<sup>259</sup>



Abb. 23: Geschäftshaus für die Schneiderei Goldman & Salatsch in Wien (Wikipedia/Thomas Ledl)

Für **Bruno Taut (1880-1938)** ist die Idee der Gartenstadt eine wichtige Inspiration. In „Die Stadtkrone“ (1919) bezieht sich sein theoretischer Beitrag auf Themen der sozialreformerischen Stadtutopien, der Glasästhetik und der Esoterik und umfasst sowohl Schriften als auch zahlreiche eindrucksvolle Zeichnungen. Die „Alpine Architektur“ (1919) gilt als Höhepunkt seiner Beschreibungen der „romantischen Synthese aus Kunst und Natur“<sup>260</sup>. Die starken expressionistischen Einflüsse zeigen sich insbesondere bei dem gläsernen Pavillon für die Glasindustrie auf der Werkbundaussstellung in Köln 1914. Taut vertritt die Vorstellung einer Zukunftsarchitektur, die moderne Technologien und funktionale Rücksicht eigentlich ablehnt und doch immer wieder mit futuristischen Technikfantasien spielt.<sup>261</sup> Seine wichtigsten Inspirationsquellen sind neben der Gartenstadtbewegung die Sozialreformen seiner Zeit. In seinen realisierten Werken spielen insbesondere expressive Farbanstriche eine wichtige Rolle, die die Stadt attraktiver machen sollen. Farbe ist für ihn nicht nur ein günstiges Gestaltungsmittel, sondern modern und praktisch. Insbesondere die Hufeisensiedlung Berlin-Britz, für die er als beratender Architekt der gemeinnützigen Wohnungsbaugesellschaft tätig ist, spiegelt die Grundsätze seines Ansatzes wider. Sie ist modern und zeugt vom Einsatz neuer, technischer Methoden. Typisiert und vorgefertigt, erweist sie sich zudem als praktisch, farbig und auch für die landwirtschaftliche Nutzung geeignet.<sup>262</sup> Grundsätzlich ist Taut eher gegen geometrische

<sup>258</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 420-421.

<sup>259</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 353.

<sup>260</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 496-497.

<sup>261</sup> Vgl. ebd., S. 496.

<sup>262</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 430-431.



Ordnungsmittel. „Richtige Proportionen“ fasst er weit als „harmonisches Zusammenspiel von Gebäude, Ort und Materialien“<sup>263</sup>. Diese Definition geht also über rein geometrische Stimmigkeit eines Ordnungssystems hinaus und steht vielmehr für etwas dem Wohnen und den Menschen Angemessenes, bezogen auf Mittel, Ort und Materialien.<sup>264</sup> Taut sagt: „Architektur ist die Kunst der Proportion“<sup>265</sup>, geht theoretisch aber vom Expressionismus über den Funktionalismus und wieder zurück zur Ästhetik – sein Begriff von Proportion ist also eher irrational zu verstehen.<sup>266</sup> Farbigkeit ist dagegen ein wichtiges und wiederkehrendes Kriterium für Schönheit und wird von ihm bewusst als Gestaltungsmittel eingesetzt, um optische Wirkungen zu erzielen oder zu verstärken. Ein Höhepunkt ist die Waldsiedlung in Berlin (1926 bis 1928), in der Farbe zum aktiven Element des Städtebaus wird. Taut beschreibt, wie die bewusst eingesetzte Farbe durch ihre „Aktivität“ und „Leuchtkraft“ Fassaden gliedert, Dimensionen erweitert oder zusammendrängt und die Weiträumigkeit der Siedlung hervorhebt (vgl. Abb. 24).<sup>267</sup> Doch er verwendet Farbe bewusst auch zur gefälligen Ornamentierung, die Freude bereiten soll.<sup>268</sup>



Abb. 24: Fassade in der Waldsiedlung Berlin Zehlendorf (Anja Steinmann Fotografie)

**Walter Gropius (1883-1969)**, 1919 zum Leiter des neuen Staatlichen Bauhauses in Weimar ernannt, ist maßgeblich an Inhalten und Ausrichtung der Kunstschule beteiligt. Sein Ziel ist es, eine neue Baukunst zu schaffen aus der Wiedervereinigung aller werkkünstlerischen Disziplinen.<sup>269</sup> Zunächst stark expressionistisch geprägt, wird er dann immer sachlicher in dem Bestreben, die Errungenschaften der Industrie zu integrieren<sup>270</sup> und Kunst verfügbar zu machen

<sup>263</sup> Julius Posener (1980): Vorlesungen zur Geschichte der neuen Architektur, TU Berlin, Sommersemester 1976-1978, in: arch+ 53/1980, zitiert in: Haas-Arndt 2000, S. 178.

<sup>264</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 178.

<sup>265</sup> Bruno Taut (1977/1938): Architekturlehre, S. 37, zitiert in: Krufft 1986, S. 431.

<sup>266</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 431.

<sup>267</sup> Vgl. Karl-Heinz Hüter (1988): Architektur in Berlin 1900-1933, S. 207, zitiert in: Grütter 2015, S. 331.

<sup>268</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 105-106, 272.

<sup>269</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 528.

<sup>270</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 79.

für die breite Masse.<sup>271</sup> Er ist Aktivist im „Arbeitsrat für Kunst“ und in der „Novembergruppe“, die utopistische, revolutionäre und expressionistische Konzepte erarbeiten und gerade auch die Architekten als Gestalter einer neuen Gesellschaft sehen. Mit seinem Aufsatz „Neues Bauen“ (1920) prägt er den „Epochenbegriff“ eines „Neuen“, der sich in den Bezeichnungen „Neue Sachlichkeit“, „Neue Musik“, „Neuer Mensch“ und auch in anderen Bereichen widerspiegelt.<sup>272</sup> Sein Gebäudeentwurf für die neue Bauhausschule in Dessau von 1926 wird in der „Modern Architecture: International Exhibition“ im New Yorker MoMA 1932 ausgestellt und macht ihn laut Hitchcock und Johnson zu einem Pionier des neuen International Style.<sup>273</sup> Gropius befasst sich intensiv mit der industriellen Vorfabrikierung und versucht dabei, standardisierte Massenproduktion auf der einen Seite mit möglichst hohen individuellen Gestaltungsmöglichkeiten, z. B. durch eine hohe Kombinationsvariabilität, zu verbinden. Gleichzeitig ist er einer der wichtigsten Vertreter des Funktionalismus: „Wir wollen eine Architektur, die unserer Welt der Maschinen, Radios und schnellen Autos angepasst ist. Eine Architektur, deren Funktion klar in ihrer Beziehung zur Form erkennbar ist.“<sup>274</sup> Die Gestalt eines Gebäudes soll also aus dessen Funktion abgeleitet werden; dennoch sagt er auch, dass es des Künstlers bedarf, „um eine Synthese von Funktion und Gestalt herzustellen“<sup>275</sup>. Dabei lässt Gropius eine starke Präferenz für klare Gestaltungsprinzipien, wie Exaktheit, Klarheit, Sachlichkeit, kubische Baukörper, Gliederung nach Funktionen, Beschränkung auf typische Grundformen und hohen Anteil an Glasflächen, erkennen.

Auch **Ludwig Mies van der Rohe (1886-1969)** ist ein Vertreter der neuen Konstruktionsweisen und des Auslotens der Möglichkeiten neuer Materialien. Seinen theoretischen Beiträgen zur ästhetischen Diskussion in der Architektur liegt die Überzeugung zugrunde, dass neue Materialien wie Glas, Beton und Stahl, nach deren eigener, tektonischer Logik verwendet, Gebäuden einen neuen Glanz verleihen während er nach rationalistischen und vernünftigen Lösungen für die Herausforderungen seiner Gegenwart sucht.<sup>276</sup> Dabei wird die Erscheinung der Oberfläche eines Baumaterials selbst zur Dekoration, wie z. B. beim Barcelona-Pavillon von 1929 mit seinen geschliffenen Platten aus Travertin, Onyxmarmor und anderen Natursteinen. Während er von dieser zunächst stark materialbestimmten Auffassung später abweicht, hält er bis zuletzt an seiner Vorstellung von der Objektivierbarkeit der Form fest.<sup>277</sup> Er bewundert die strenge und einfache Ästhetik der damaligen neuen Technik und sucht nach Möglichkeiten, diese auch in architektonischer Gestaltung zu demonstrieren. Siegfried Giedion beschreibt dies als „Drang zur Eroberung der reinen Form, begleitet von einem zunehmenden Verzicht auf alles, was dem Architekten unwesentlich schien“ und sieht eine „Forderung nach dem Absoluten“<sup>278</sup> hinter Mies van der Rohes Maxime „Less is more“. Ein weiterer Schwerpunkt sind

---

<sup>271</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 442.

<sup>272</sup> Vgl. Erben 2017, S. 83-84.

<sup>273</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 522.

<sup>274</sup> Charles Jencks (1973): *Modern Movements in Architecture*, S. 109, zitiert in: Grütter 2015, S. 186.

<sup>275</sup> Gropius im Vorwort des ersten Bandes der Bauhausbücher *Internationale Architektur* (1925), zitiert in: Evers/Thoenes 2015, S. 530-531.

<sup>276</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 406.

<sup>277</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 447.

<sup>278</sup> Siegfried Giedion (1978): *Raum, Zeit, Architektur*, S. 370, zitiert in: Grütter 2015, S. 195.

neue Konzepte der Bezüge zwischen Innen- und Außenraum. In verschiedenen Entwürfen schafft Mies van der Rohe intensive Beziehungen durch die Komposition mit freistehenden Wandscheiben und großen verglasten Fassadenflächen wie z. B. beim „Landhaus aus Backstein“ (1923), dem Barcelona-Pavillon (1929) oder dem Farnsworth-Haus (1950). Er definiert den Begriff „absoluter Raum“, der auch eine Autonomie des Gebäudes gegenüber der Umgebung meint.<sup>279</sup> Insbesondere steht er damit aber auch für den offenen, fließenden Raum, der wie z. B. beim Haus Tugendhat (1930) in Brno dadurch gekennzeichnet ist, dass das Raumprogramm frei einteilbar ist. Es steht 1932 zusammen mit drei anderen Werken im Mittelpunkt der „Modern Architecture: International Exhibition“ im MoMA. Laut Johnson ist das Haus Tugendhat das bedeutendste Bauwerk der Moderne.<sup>280</sup> Immer wieder forderte Mies van der Rohe in vielen Texten unmissverständlich einen Neuanfang für die gesamte zeitgenössische Architektur und wird selbst mit zahlreichen Bauten, Studien, Möbelentwürfen und Veröffentlichungen zu einem der prägendsten Architekten der Moderne.

Bedeutende philosophische Beiträge, die Einfluss auf die Architekturtheorie der Moderne nehmen, stammen von **Martin Heidegger (1889-1976)**. Er beantwortet die Frage nach dem Wesen der Kunst und des Kunstwerkes völlig neu, sodass jedes Denken über Kunst nach ihm von dieser Neuorientierung mitbestimmt ist.<sup>281</sup> In seinem Vortrag von 1951 „Bauen, Wohnen, Denken“ sagt er, das Denken beruhe darin, „das Wohnen im Sprechen der Sprache zu lernen“,<sup>282</sup> und zeigt auf, wie sich die Haltung zur Welt in der Art zu bauen und zu wohnen widerspiegelt. Auch der Philosoph **Theodor W. Adorno (1903-1969)** liefert entscheidende Impulse zum kunstästhetischen Diskurs der Moderne, die auch innerhalb der Architekturtheorie beachtet werden. Sein Fokus gilt dabei der Integration der Wahrheit in die Definition von Schönheit, denn Ästhetik und Schönheit seien nicht gleichzusetzen.<sup>283</sup> Er plädiert gegen das sich abzeichnende Primat der Form und dafür, dass Kunst sich ewigen ästhetischen Normen widersetzt.<sup>284</sup>

Kaum ein anderer erweist sich aber als derart prägend für den Diskurs der Architekturtheorie der Moderne wie **Le Corbusier (1887-1965)**. Sein umfangreiches Werk umfasst zahlreiche theoretische Schriften mit Beiträgen zur Schönheit der Ingenieurstechnologie, zur Geometrie und zu den Platonischen Körpern sowie zur Funktionsanalyse, wie beispielsweise in „Vers une Architecture“ (1923). Die Veröffentlichung enthält Gestaltungsgrundsätze, historische Begründungen, Modelltypen und Normen. Le Corbusier propagiert darin eine moderne Ingenieurstechnologie in Serienbauweise, bei der Architekten wie Ingenieure Lösungen für technische Probleme entwickeln und Architektur in erster Linie als technisches Produkt präsentiert wird. Hier führt er auch bereits den Goldenen Schnitt ein. Deutlich zu erkennen ist sein Einfluss auch in den städtebaulichen Leitbildern seiner Zeit. Er lehnt die dichte gründerzeitliche Stadt ab und befürwortet Entflechtung und autogerechte Planung. Auch den Städtebau betrachtet er also funktionell und wendet 1922-29 seine Konzepte mit dem „Plan Voisin“ auf Paris an. Die auf

---

<sup>279</sup> Vgl. Erben 2017, S. 84-85.

<sup>280</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 520.

<sup>281</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 259.

<sup>282</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 14.

<sup>283</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 25.

<sup>284</sup> Vgl. Kultermann 1987, S. 305.

dem 4. Congrès International d'Architecture Moderne (CIAM) von 1933 entstandene „Charte d'Athènes“ besiegelt diese städtebauliche Funktionstrennung, die zusammen mit den damit verbundenen „Kahlschlagtheorien“ bis heute für Kritik sorgt. Neben seiner funktionalistischen und ingenieurstechnischen Herangehensweise ist Le Corbusier insbesondere auch für die Entwicklung des „Modulor“ (1948 und 1955) bekannt. In diesem Proportionssystem legt er ebenso wie Vitruv architektonischer Harmonie die Maßverhältnisse des menschlichen Körpers zugrunde. Es ist der Versuch, eine verbindliche Proportionstheorie aufzustellen, die geometrische, arithmetische und anthropomorphe Proportionen verbindet.<sup>285</sup> Zusammen mit standardisierten Elementen als Ausdruck von Ordnung, Harmonie und Vollkommenheit<sup>286</sup> und mit geometrischen Formen, die er beschreibt als „primär, ökonomisch und zugleich schön“,<sup>287</sup> sind dies die vorrangigen Kriterien seiner Gestaltung. Eines seiner späten Werke, „Le Poème de l'angle droit“ (1955), ein komplexes Buch mit Zeichnungen, poetischen Erläuterungen, Symbolen und Metaphern, zeigt aber auch, dass er immer vielfältige Aspekte von Architektur, eingebunden in die Kontexte des Menschen, der Gesellschaft und der Umwelt, betrachtet.

### 3.2.8 Nachkriegszeit

Die Bautätigkeit nach dem Zweiten Weltkrieg, also zwischen 1945 und den 1970er Jahren, ist in der Bundesrepublik Deutschland und in ganz Europa vor allem durch den Wiederaufbau und die Neuorganisation der Städte sowie durch den Bau von zweckmäßigen Wohnungen und die Serienproduktion eines gewissen „Bauwirtschaftsfunktionalismus“ geprägt.<sup>288</sup> Die monumentale Architektur des Nationalsozialismus wird schnell „als kurzfristiger Irrweg ad acta gelegt“.<sup>289</sup> Diese Auffassung fließt auch mit ein in die Begründungen für Kahlschlagsanierung und die aufgelockerten Stadtbilder der fünfziger und sechziger Jahre.<sup>290</sup> Als Nachkriegsmoderne oder spätmoderne Phase bezeichnet, kann diese zweite Phase der Moderne als Fortführung der ersten Phase vor dem Krieg gesehen werden. Sie ist gekennzeichnet von der Anknüpfung an Theorien der Vorkriegszeit wie z. B. den Internationalen Stil, den Funktionalismus und die Architekturanthropologie.<sup>291</sup> Hieraus entstehen aber auch weiterentwickelte und neue Ansätze wie der Strukturalismus, der Metabolismus, der Brutalismus, erste organische und vernakuläre Ansätze, Ansätze zum Ortsbezug und zu anthropologischer Architektur und Stadtplanung. Die ästhetiktheoretischen Ansätze in der Architektur seit der Nachkriegszeit sind im Folgenden in Anlehnung an Charles Jencks gegliedert, der in verschiedenen Arbeiten und Veröffentlichungen einen „Evolutionary Tree“ der unterschiedlichen Strömungen in der Architektur aufzeichnet.

Eine wichtige Stimme im architekturbezogenen Diskurs der Nachkriegszeit ist das **Team X**, das sich als Protestbewegung innerhalb der CIAM bildet und für strukturalistische und anthro-

---

<sup>285</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 463.

<sup>286</sup> Vgl. ebd., S. 458.

<sup>287</sup> Krufft 1986, S. 459.

<sup>288</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 68.

<sup>289</sup> Vgl. Erben 2017, S. 101.

<sup>290</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 174.

<sup>291</sup> Vgl. Erben 2017, S. 101-102.

pologische Ansätze in Architektur und Planung eintritt.<sup>292</sup> Das Team X bildet sich 1953 auf dem 9. CIAM-Kongress, um den 10. Kongress zu organisieren, der 1959 in Otterlo stattfindet. Der Kongressband „Working Congress Otterlo 1959“ ist eines der zentralen Dokumente der Architekturtheorie der Nachkriegszeit. Damit endet die Geschichte der CIAM-Vereinigung und mit ihrer Auflösung treten auch ihre Ideen einer Internationalen Architekturmoderne (vgl. Kap. 3.2.7) in den Hintergrund. An ihre Stelle treten eher heterogene Ideen und Ansätze. „Die Einsicht, dass die Idee des Funktionalismus auch die Funktion des Ausdrucks von Bedeutung einschließen muss, weil die Zeichenhaftigkeit der Architektur wesentliche soziologische und psychologische Funktionen erfüllt, wird zum Urteilkriterium.“<sup>293</sup> Die wichtigsten Aspekte des neuen Raumbegriffes sind die Relationen von Architektur zu menschlicher Wahrnehmung und menschlichem Verhalten, zu Geschichte und Umwelt und zur Natur.<sup>294</sup>

### Strukturalismus

Die Bewegung des Strukturalismus versteht Architektur als wahrnehmungsbezogene, anthropologische Architektur. Zu ihren wichtigsten Vertretern der Nachkriegszeit gehören **Aldo van Eyck (1918-1999)**, **Herman Hertzberger (\*1932)** und **Kevin Lynch (1918-1984)**. Van Eyck gibt neue Impulse für das Denken von Raum, indem er Partizipation, Interaktion und die Teilhabe der Benutzer und Benutzerinnen in den Vordergrund stellt. Er nennt dies die „gefühlbezogene Planung durch den Benutzer“.<sup>295</sup> Wichtig ist es dabei, psychische und physische Eindrücke, die der Raum bei Benutzer/innen hinterlässt, zu berücksichtigen. Strukturalismus bedeutet in diesem Zusammenhang, konstante, anthropologische Strukturen zu finden, in denen Menschen sich bewegen und die sich methodisch stark an Ethnologie und Linguistik anlehnen.<sup>296</sup> Eines der bekanntesten Projektbeispiele van Eycks ist das Kinderwaisenhaus in Amsterdam (ein typisches Beispiel für die Bauaufgaben der Nachkriegszeit), das aus standardisierten Moduleinheiten besteht, die sich sowohl zu kleineren Hofeinheiten gruppieren, die „Familien-Einheiten“ für die Kinder ermöglichen sollen, als auch alle zusammen um einen gemeinsamen Innenhof angeordnet sind. Kriterien für die Schönheit der Architektur sind für ihn die Vielfältigkeit der gegliederten Fassade, entsprechend der abwechslungsreichen Raumgliederung der Gebäude. Zudem arbeitet van Eyck immer wieder mit einer starken Farbigkeit. Nach Herman Hertzberger, einem weiteren bekannter Vertreter dieser Bewegung, bedeutet Strukturalismus in der Architektur, Prototypen zu entwerfen, die individuelles Leben in einer kollektiven Struktur ermöglichen, welche, auch polyvalente Architektur genannt, sich je nach den individuellen Bedürfnissen der Bewohner umgestalten lässt. Kevin Lynch schließlich befragt 1954-1959 Bewohner von Los Angeles, Boston und Jersey City zu ihren Stadterfahrungen und bittet sie, diese aus ihrem Gedächtnis aufzuzeichnen. Die Ergebnisse dieser Studie werden veröffentlicht in „The Image of a City“ (1960). Darin wird gezeigt, dass Kriterien wie Einprägsamkeit, Lesbarkeit, Vorstellbarkeit, Orientierung, Identität und Sicherheit, die menschliche Anforderungen sind, die Bewohner an ihre Stadt stellen. Hierfür definiert Lynch

---

<sup>292</sup> Vgl. Erben 2017, S. 102.

<sup>293</sup> Neumeyer et al. 2002, S. 69.

<sup>294</sup> Vgl. Erben 2017, S. 103-104.

<sup>295</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 217.

<sup>296</sup> Vgl. Erben 2017, S. 105.

Elemente, die für erkennbare Zusammenhänge wichtig sind, wie z. B. Wege, Merkzeichen, Grenzlinien, Brennpunkte und Bereiche. Gegen die Tabula Rasa der Moderne fordert er eine kohärente Stadt und eine kontextbezogene Stadtplanung und mit einem starken Fokus auf menschlichen Wahrnehmungsbedürfnissen.<sup>297</sup> Zentrale Bedeutung für die Orientierung in Zeit und Raum hat nach Lynch die Erinnerung.

### Geschichtlichkeit

Weitere wichtige Tendenzen manifestieren sich in den Bereichen des Ortsbezugs und der Geschichtlichkeit von Architektur, z. B. durch das Büro **BBPSR, Ernesto Nathan Rogers (1909-1969)** und **Aldo Rossi (1931-1997)**. „Die Präexistenzen der Umgebung“ (1955) von Ernesto Nathan Rogers ist eine der wesentlichen architekturtheoretischen Schriften und ein Plädoyer für den Rekurs auf die Geschichte und den Kontext eines Ortes als wichtige Grundlagen des zeitgenössischen Bauens.<sup>298</sup> Seine Kritik am International Style, der diese Parameter nicht berücksichtigt, gibt entscheidende Impulse für den CIAM-Kongress in Otterlo und den Architekturdiskurs in Italien. Das von Rogers auf dem letzten CIAM-Kongress vorgestellte Wohn- und Bürohochhaus „Torre Velasca“ in Mailand gilt als beispielhafte Umsetzung der eingeforderten Präexistenzen, mit der er versucht, direkten Bezug auf historisches Vorgefundenes zu nehmen. Es soll an einen mittelalterlichen Wehrturm erinnern und stellt bewusst Bezüge her zu historischen Elementen im Zentrum der Stadt wie den gotischen Dom (vgl. Abb. 25).



Abb. 25: Die Torre Velasca in Mailand als eines der ersten Beispiele für eine moderne Bezugnahme auf die historische Tradition einer Stadt (Wikipedia/David Orban)

<sup>297</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 480.

<sup>298</sup> Vgl. ebd., S. 472.

Auch Aldo Rossi distanziert sich in den 60er Jahren systematisch-wissenschaftlich vom Funktionalismus, insbesondere auf der Suche nach historischen Bezügen von Architektur.<sup>299</sup> Sein Beitrag zum architekturästhetischen Diskurs sind Theorien über die Permanenz von Grundformen, Typen und Themen, die sich zur Variation eignen.<sup>300</sup> In „Die Architektur der Stadt“ (1966) lenkt er den Blick auf die traditionelle europäische Stadt. Er kritisiert den Leitsatz der Moderne, dass Form aus ihrer Funktion folge, und forscht an prägnanten Gebäudeformen wie etwa Monumenten, die in ihrer Geschichte oftmals vielen unterschiedlichen Nutzungen unterlagen. Dabei prägt er den Begriff des architektonischen „Typus“ (Basilika, Rundbau, Turm, Forum etc.). Hierunter versteht er keinen Funktionstypus, sondern einen Formtypus, der eine Permanenz innerhalb des Stadtgefüges bildet. Diese Formtypen würden in einem „kollektiven Gedächtnis“ gespeichert und könnten so immer wieder abgerufen werden. Daher sei es wichtig, anstelle rücksichtsloser Totalplanung, vorhandene Stadtgefüge historisch-kritisch weiterzuentwickeln, indem dialektisch architektonische Prinzipien mit den einmaligen Gegebenheiten eines Ortes verknüpft werden.

### Ökologisches Bauen

Wichtige Vertreter der Anfänge des ökologischen Bauens und des Bauens in unterschiedlichen Klimazonen sind **Alvar Aalto (1898-1976)** und **Hassan Fathi (1900-1989)**. Aalto ist einer der sehr frühen Repräsentanten organischer Ansätze in der ökologischen, landschafts- und materialbezogenen Architektur, allerdings hinterlässt er kaum theoretische Schriften. Bereits 1940 sieht er allerdings den Funktionalismus kritisch und fordert eine „Humanisierung“ der Architektur.<sup>301</sup> Er sucht eine Verbindung zwischen Architektur und Natur, z. B. durch die (umarmende) Form eines Gebäudes oder indem er verschiedene natürliche, teilweise auch unbearbeitete Materialien verwendet, um so die Natur ins Innere vordringen zu lassen.<sup>302</sup> Außerdem betont er auch die Lichtführung als Möglichkeit, psychologische Wirkung zu erzielen.<sup>303</sup> Seine Ansätze zum organischen Bauen und die damit verbundenen Formfindungsphilosophien sind noch immer weitverbreitet.<sup>304</sup>

Auch Hassan Fathi entwickelt eine vernakuläre Architektur. Er thematisiert als einer der ersten die „Absurditäten“ einer unreflektierten Übernahme internationaler moderner Architektur in andere klimatische Gegebenheiten und versucht in Ägypten, jahrtausendealte Traditionen zu erhalten.<sup>305</sup> Dafür erarbeitet er Konzepte für den Selbstbau von Bewohnern, z. B. in Entwicklungsländern.

---

<sup>299</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 576.

<sup>300</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 69.

<sup>301</sup> Vgl. Alvar Aalto (1940): Die Humanisierung der Architektur. Der Funktionalismus muss einen menschlichen Standpunkt einnehmen, um seine volle Wirkung zu erreichen.

<sup>302</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 126.

<sup>303</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 162.

<sup>304</sup> Vgl. Agkathidis 2015, S. 8-13.

<sup>305</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 239.

### Brutalismus

Die Strömung des Brutalismus verbreitet sich ab 1950, abgeleitet von dem „Béton brut“ (roher Beton oder Sichtbeton). Schon Le Corbusier gebraucht diesen Begriff bei der Unité d’Habitation. Später nutzt das Team X den Begriff „Neuer Brutalismus“ in Abgrenzung dazu. Der Stil ist geprägt von der Betonung des Materials Beton, sieht aber auch dessen Kombination mit anderen Materialien vor. Bekannte Vertreter/innen sind z. B. **Alison (1928-1993)** und **Peter Smithson (1923-2003)** mit der Hunstanton School (1954). Die Architektur des Brutalismus soll kraftvoll wirken, sinnlich aber auch ehrlich, authentisch und rau. „Brutal ehrlich“ kann hierbei nicht nur stilistisch, sondern auch moralisch verstanden werden.<sup>306</sup> Der Begriff des (Neuen) Brutalismus charakterisiert diese Richtung der Architektur selbst, aber auch in ihrer Wirkung auf die Benutzer/innen.<sup>307</sup> Schwere Massen und tiefe Laibungen stehen im starken Kontrast zur Leichtigkeit des Neuen Bauens der Moderne.<sup>308</sup>

### Metabolismus

Mit dem Manifest „Metabolism 1960 – A Proposal für a New Urbanism“ startet 1960 in Japan mit **Kisho Kurokawa (1934-2007)** und anderen das Phänomen des Metabolismus. Das Konzept orientiert sich an Vorbildern aus der Natur wie Regenerations-, Stoffwechsel- und Wachstumsphänomenen, die auf zeitgenössische Themen des Städtebaus und die Einbindung von fortschrittlichen Technologien angewendet werden, basierend auf bioanalogen primären Megastrukturen (wie z. B. Doppelhelix- oder Zellstrukturen) mit austauschbaren Einzelelementen (wie z. B. Kapseln). All dies passt sehr gut zu der japanischen Kulturtradition, die Architektur traditionell als erneuerbare Variationen auf Prototypen versteht.<sup>309</sup> Eines der wenigen realisierten Beispiele der visionären Architektur der japanischen Metabolisten ist der Nakagin Tower (1972) von Kurokawa, bei dem 144 Kunststoff-Wohnzellen an zwei feste Erschließungskerne angehängt sind, die ursprünglich als austauschbare, veränderbare Räume geplant waren, dann allerdings nie ausgewechselt wurden.

### Informationsästhetik und Gestalttheorien

Weitere Einflüsse auf die Architekturtheorie der Nachkriegszeit stammen aus den Bereichen der Informationsästhetik und der 2. Generation der Gestalttheoretiker. Insbesondere **Max Bense (1910-1970)** ist bekannt für seine Forschungen zur Informationsästhetik, im Rahmen derer er mathematisch mithilfe von Formeln z. B. den ästhetischen Informationsgehalt eines Gegenstandes berechnet und verschiedene Stufen der Ordnung in der Gebäudegliederung bestimmt (Chaos, Struktur, Gestalt).<sup>310</sup> Später widmet er sich auch der Semiotik als Teil der Informationsästhetik, die sich mit der Kodierung, Vermittlung und Konstruktion von Zeichen und Zeichensystemen beschäftigt,<sup>311</sup> und entwickelt den Peirceschen Zeichenbegriff weiter. In

---

<sup>306</sup> Vgl. Oswald Matthias Ungers im Interview, in: Klotz 1977, S. 298.

<sup>307</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 203.

<sup>308</sup> Vgl. Günter Behnisch im Interview, in: Klotz 1977, S. 54.

<sup>309</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 572.

<sup>310</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 89.

<sup>311</sup> Vgl. Oswald 2015, S. 119.



„Zeichen und Design“ (1971) steht die semiotische Ästhetik im Mittelpunkt, Begriffe wie Kreativität, Forschung und Kommunikation werden vom semiotischen Standpunkt aus untersucht hinsichtlich ihrer Anwendung in der Werbung und im Design.<sup>312</sup> Bense bestimmt in der genannten Schrift ein Designobjekt semiotisch durch die drei Zeichenklassen „Technische Funktion“, „Technische Materialität“ und „Technisches Objekt“.<sup>313</sup>

Im Bereich der Gestalttheorien formiert sich eine „2. Generation der Berliner Schule“, zu der Vertreter wie **Wolfgang Metzger (1899-1979)**, **Edwin Rausch (1906-1994)** und **Kurt Gottschaldt (1902-1991)** zählen. Wichtige Forschungsergebnisse zur Tiefen- und Bewegungswahrnehmung veröffentlicht Metzger in „Gesetze des Sehens“ (1937).<sup>314</sup> Hier sowie in „Wahrnehmung und Bewusstsein“ (1966) stellt er dar, wie Proportionen von Architektur wahrgenommen werden anhand der Beziehung zwischen der eigenen Körpergröße und der Größe des Bauwerks sowie über geometrische Abstraktion, die den Raum in Flächen zerlegt, welche sich wiederum vor allem über ihre Umrisse her erschließen.<sup>315</sup> Der Kunstpsychologe **Rudolf Arnheim (1904-2007)** überträgt die Gestalttheorie auf die bildenden Künste. In „Art and Visual Perception“ (1954) liefert er eine neue Begründung zur allgemeinen Ästhetik auf Grundlage der Wahrnehmungs- und der Gestalttheorie. Dabei prangert er an, dass Architekten seiner Zeit sich kaum mit künstlerischer Formgebung auseinandersetzen, sondern sich ausschließlich mit Linguistik, Informationstheorie, Strukturalismus, experimenteller Psychologie und Marxismus beschäftigten.<sup>316</sup> In den 70er Jahren wird Arnheims „Dynamik der architektonischen Form“ zum Impuls, Vertrauen in die Form zurückzugewinnen.<sup>317</sup> Mit seinen Arbeiten zur Wahrnehmung von Architektur versucht er, den Funktionalismus logisch zu widerlegen und lässt in die Architekturtheorie zahlreiche Erkenntnisse der Psychologie einfließen.<sup>318</sup> Die „Logik der Baukunst“ (1965) kann als Versuch von **Christian Norberg-Schulz (1926-2000)** gesehen werden, allein über die visuelle Wahrnehmung und unabhängig von Stilen das Wesen der Architektur zu erklären und eine Theorie der architektonischen Form zu erarbeiten. In diesem Aufsatz verarbeitet er architekturhistorische Ergebnisse einer Besinnung auf die Zeichenhaftigkeit von Architektur „zu einer neuen Synthese architektonischer Urteilkriterien“.<sup>319</sup> Später distanziert er sich aber davon, dass dies vollumfänglich möglich sei.<sup>320</sup>

### 3.2.9 Postmoderne

Als Postmoderne in der Architektur kann die Zeit der 1970er bis 1990er bezeichnet werden. Sie ist geprägt von verschiedenen Krisen wie hoher Arbeitslosigkeit und Staatsverschuldung, ökonomischen Wachstumsstopps, ökologischen Gefährdungen und politischer Fragmentie-

---

<sup>312</sup> Vgl. Walther 1980, S. 187-188.

<sup>313</sup> Vgl. Bense 1971, S. 78-82.

<sup>314</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 31-32, 275.

<sup>315</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 140.

<sup>316</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 65.

<sup>317</sup> Vgl. ebd., S. 73.

<sup>318</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 518-519.

<sup>319</sup> Vgl. ebd.

<sup>320</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 35.

rung, die den Glauben an gesellschaftliche Modernisierung aufgrund technisch-industriellen Fortschritts erschüttern und zu einer weiteren Abwendung von der klassischen Moderne in der Architektur führen. Die Krise bringt eine Hinwendung zu Geschichte und Tradition mit sich. Erben bezeichnet dies auch als „Ende der großen Erzählungen“ von den Prinzipien autoritativer Originalität, kreativer Innovation und „Versprechen der schrankenlosen Kommunikation“.<sup>321</sup> Es ist der Beginn des Zeitalters der elektronischen Massenmedien, die die Printmedien ergänzen und ihnen alsbald den Rang ablaufen. Der Einfluss der Medien- und Kommunikationstheorie sowie der Zeichentheorie auf die Künste und die Architektur ist erheblich. Die Einbindung dieser Einflüsse bildet den wesentlichen Beitrag der Postmoderne zur Aktualisierung der Architekturtheorie. Im Zuge dieser Entwicklung werden die Medialität von Gebäuden und ihren Materialien und auch der Rückgriff auf Geschichte als Quelle für Zeichen und Symbole sowohl antifunktionalistisch und selbstkritisch als auch erzählerisch, ironisch und verspielt thematisiert, wobei die verschiedenen Strömungen innerhalb der Postmoderne nicht immer ganz klar voneinander abzugrenzen sind. Kritisch angemerkt werden teilweise auch sporadische oder ganz ausbleibende Benennungen kommerzieller Interessen und Werbeinhalte sowie halbherzige Distanzierungen hiervon, ebenso wie die Marktverflechtungen der Architekturproduktion selbst.<sup>322</sup>

### Postmoderner Klassizismus

Einer der bekanntesten Vertreter des Postmodernen Klassizismus ist **Robert Venturi (1925-2018)**. Er ist Verfasser des Gründungsmanifestes der Postmodernen Architektur „Komplexität und Widerspruch in der Architektur“ (1966). Hierin fordert er eine deutliche Distanzierung vom Funktionalismus und thematisiert historischen Manierismus und Barocktendenzen. Seine berühmte, auf Mies van der Rohes „Less is more“ bezugnehmende Aussage, „Less is bore“ verdeutlicht seinen Ansatz von Vielfalt und Widerspruch in der Architektur: Wenn man kommunikativ und unterhaltsam bauen wolle, seien Widersprüche unvermeidbar; baue man hingegen modern-funktional, mache dies Architektur langweilig.<sup>323</sup> Sein Zeichenrepertoire lässt sich bereits am Wohnhaus für seine Mutter (vgl. Abb. 26) ablesen. Es hat ein Satteldach, das es als Wohnhaus ausweist, eine dekorative Arkade über der Eingangsloggia, eine mit Öffnungen verzierte Fassade und ist gleichzeitig voller Widersprüche wie dem gespaltenen Giebel, unterschiedlichen Maßstäben und Proportionsverhältnissen zwischen Gebäudekörper und Öffnungen, Asymmetrien und unterschiedlichsten Typen und Formaten von Fenstern. Auch „Learning from Las Vegas“ (1972) und weitere, teilweise mit **Denise Scott Brown (\*1931)** zusammen verfasste Kritiken und Schriften sind von der Pop-Art-Bewegung beeinflusst und reflektieren die formale und inhaltliche Vielschichtigkeit von Zeichen. Ihre Arbeit, ein Plädoyer für Ornamentik und Eklektizismus,<sup>324</sup> ist gekennzeichnet von der Suche nach einer neuen Symbolik in „ästhetischer Überhöhung“, die auch auf Stadtebene angewendet wird. Dabei hat beides seine Berechtigung: der Schuppen mit der Dekoration oder dem Schild als Hinweis auf die Funktion („decorated shed“) als auch das Gebäude, dessen ganze Form symbolisch auf die Funktion

---

<sup>321</sup> Erben 2017, S. 109-110.

<sup>322</sup> Vgl. Erben 2017, S. 116.

<sup>323</sup> Vgl. ebd., S. 112.

<sup>324</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 513.

verweist („die Ente“). Im Gegensatz zu Aldo Rossi wendet sich Venturi dabei weniger Monumenten als Formen und Symbolen des Alltäglichen zu, „deren banale Zeichen er mit historischer Architektur-Symbolik auf eine Stufe stellt“.<sup>325</sup> Er möchte alle Potenziale der Wahrnehmung ausschöpfen<sup>326</sup> und die Architektur als Träger von Zeichen und Symbolen wiederentdecken. Denn gute Architektur spricht für ihn viele Bedeutungsebenen an.<sup>327</sup>



Abb. 26: Vanna Venturi House in Philadelphia (Baunetz/Rollin LaFrance)

Auch **Charles Moore (1925-1993)** prägt die Postmoderne mit seiner zeichenhaften Architektursprache. Laut Jencks ist Moore einer der prägnantesten Gestalter der „postmodernen Codes“, indem er das „traditionelle, familiäre Klischee“ mit dem „modernen, technologischen Fortschritt“ zu einer „besonderen Dialektik verknüpft“.<sup>328</sup> Auf der Piazza d'Italia in New Orleans (1975-1979) ebenso wie am Beverly Hills Civic Center in Los Angeles (1990) sollen zahlreiche Symbole Stimmung erzeugen, Assoziationen erwecken und inspirieren. Dabei geht Moore ganz bewusst an Grenzen, indem er sehr direkte Vorbilder (wie z. B. arabische Motive) verwendet, die nicht besonders stark interpretiert werden. Im Gegensatz zu Venturi vertritt Moore aber, wie in „Body, Memory and Architecture“ (1977) beschrieben, eine stärker anthropologische Position auf Grundlage der Einfühlungs- und Gestalttheorie, von der aus er Zeichen und Symbole nach persönlicher Erinnerung und Erfahrbarkeit der Benutzer/innen auswählt.<sup>329</sup> Er sucht Zeichen vielfach auch in der näheren Umgebung, wodurch sie teilweise auch weniger Pop-Art-Charakter haben als bei Venturi.<sup>330</sup>

<sup>325</sup> Krufft 1986, S. 512.

<sup>326</sup> Vgl. Evers/Thoenes 2015, S. 588.

<sup>327</sup> Venturi 2013, S. 24.

<sup>328</sup> Jencks 1977, S. 96-97.

<sup>329</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 513.

<sup>330</sup> Vgl. Oswald Matthias Ungers im Interview, in: Klotz 1977, S. 312.

In Europa ist **Oswald Matthias Ungers (1926-2007)** einer der wichtigsten Vertreter der Postmoderne. Im Unterschied zu Venturi wendet sich Ungers aber, genau wie Rossi, gegen eine Unterwanderung der Architektur durch die Popkultur, durch formale, materiale und semantische Reduzierung und reine Applizierung von metaphorischem und symbolischem Ornament.<sup>331</sup> Er will die metaphorische und symbolische Ebene durch Analogien, Metaphern und morphologische Transformationen von Grundformen stärken und legt einen besonderen Schwerpunkt auf die Verschränkung von Körper und Raum, die Wechselwirkung aus Idee und Ort: „Architektur ist Einordnung in das Vorhandene, Akzentsetzung und Überhöhung des genius loci, aus dem sie wächst.“<sup>332</sup> Dabei ist die Übernahme regionaler Besonderheiten für ihn nicht die einzige Möglichkeit, auf den Bauplatz zu reagieren.<sup>333</sup> Mit morphologischen Transformationen von Grundformen (z. B. ortstypischen Dachwinkeln oder Fensterachsen) und einem Entwerfen in bildhaften Analogien und Metaphern sucht er nach Strategien, einer Form „Figur und Thema“ zu geben und einer Idee Ausdruck zu verleihen.<sup>334</sup>

### Kritischer Regionalismus

Vertreter des Kritischen Regionalismus, wie **James Stirling (1926-1992)** oder **Maurice Culot (\*1939) und Léon Krier (\*1946)** positionieren sich ebenfalls als Gegenbewegung zur funktionalistischen und wenig kontextbezogenen Architektur der Moderne, indem sie regionale geografische und kulturelle Besonderheiten in eine moderne Architektur integrieren. Die Bezeichnung dieser Strömung geht auf die Architekturtheoretiker Alexander Tzonis und Liane Lefaivre zurück und wird dann von Kenneth Frampton in „Towards a Critical Regionalism“ (1983) aufgegriffen. Viele Architekten wie z. B. Jørn Utzon, Alvar Aalto, Álvaro Siza, Mario Botta, Tadao Ando, Juhani Pallasmaa und Peter Zumthor greifen Elemente des kritischen Regionalismus in ihrer Arbeit auf. Auch **Christian Norberg-Schulz (1926-2000)** gibt wichtige Impulse für die Regionalismus-Diskussionen der 70er und 80er Jahre. Seine Entwurfsansätze beschreibt er in „Genius loci. Landschaft, Lebensraum, Baukunst“ (1979). Der lateinische Begriff genius loci bedeutet wörtlich übersetzt „der Geist des Ortes“ und bezeichnete in der römischen Mythologie die Schutzgottheit eines Ortes bzw. Tempels. Nach dem Verständnis von Norberg-Schulz beschreibt er Eigenschaften des Ortes wie dessen Bodenbeschaffenheit, die Größe eines Areals und andere messbare Faktoren, beinhaltet aber vor allem auch seine Atmosphäre und Aura. Norberg-Schulz' wissenschaftstheoretischer Ansatz besteht darin, Orte in jeweils natürliche und künstliche zu unterscheiden in den Kategorien „Phänomen Ort“, „Struktur des Phänomens“, „genius loci des Ortes (romantisch, kosmisch, klassisch, komplex)“.<sup>335</sup> Er erklärt: „Der existentielle Zweck des Bauens ist es [...], aus einer Stelle einen Ort zu machen, das heißt, den potenziell in einer gegebenen Umwelt vorhandenen Sinn abzudecken.“<sup>336</sup> Insbesondere im Bereich des Städtebaus gehören **Maurice Culot (\*1939) und Léon Krier (\*1946)** 1977 zu

---

<sup>331</sup> Vgl. Gleiter 2008, S. 18.

<sup>332</sup> Oswald Matthias Ungers im Interview, in: Klotz 1977, S. 310.

<sup>333</sup> Vgl. Jormakka/Schürer/Kuhlmann 2016, S. 62.

<sup>334</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 530.

<sup>335</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 43.

<sup>336</sup> Norberg-Schulz (1982): Genius loci. Landschaft, Lebensraum, Baukunst, S. 18, zitiert in: Grütter 2015, S. 110.

den ersten, die eine Rückkehr zu traditionellem Stadtbau und der Baukultur der kleinteiligen, europäischen Stadt fordern. Sie sind gegen den Eklektizismus der Postmoderne und Krier kann als Vater des sich seit den 1980ern herausbildenden „New Urbanism“ bezeichnet werden.<sup>337</sup> Poundbury, ein Musterdorf in Dorset, das auf Initiative von Prinz Charles errichtet wurde, ist eines der bekannten europäischen Beispiele dieses „New Urbanism“.

### Dekonstruktivismus

Der Dekonstruktivismus ist eine Strömung der konzeptuellen, autonomen Architektur, die ab ca. 1980 beginnt. Sie ist gekennzeichnet durch das Zusammenfügen scheinbar zusammenhangloser Elemente und den Verzicht auf vertraute kompositorische Ordnungen.<sup>338</sup> Bekannte Vertreter/innen sind Frank Gehry, Daniel Libeskind, Rem Koolhaas, Peter Eisenman, Zaha Hadid, Coop Himmelb(l)au, Bernard Tschumi u. a. **Peter Eisenman (\*1932)** fordert 1976 in seinem Aufsatz „Post-Functionalism“, Architektur solle ihrer eigenen Logik folgen. Die Aufgabe von Architektur sieht er darin, „die Verschiebung des Menschen aus dem Zentrum seiner Welt“ zu thematisieren.<sup>339</sup> Er beruft sich auf Philosophen wie Derrida. Seine theoretischen Reflexionen gründen in der Semiotik.<sup>340</sup> Dabei möchte Eisenman die tiefliegenden Konstruktionen von Architektur aufspüren. Er betrachtet die gesamte Welt dekonstruktivistisch und erhofft sich eine Erneuerung der Architektur und eine Wiedergewinnung der Erfahrung von Erhabenheit. Dafür sollen neue visuelle Erfahrungen von Bauten ermöglicht werden, die Natur und Wissen überwinden, wie z. B. die Grunddisziplinen von Tragen und Lasten, um neue Bedeutungshaftigkeit zu erlangen.<sup>341</sup> Hierbei helfen neue Methoden und frühe Software, die aus Daten im weitesten Sinne und mathematischen Kalkulationen Entwürfe werden lassen. Auch bei **Wolf D. Prix (\*1968)** und **Helmut Swiczinsky (\*1944)** dienen verschiedene Referenzsysteme als Inspiration für eine eher surrealistische und weniger systematische Entwurfsmethode wie z. B. beim Entwurf des Dachaufbaus für eine Anwaltskanzlei in Wien (vgl. Abb. 27).

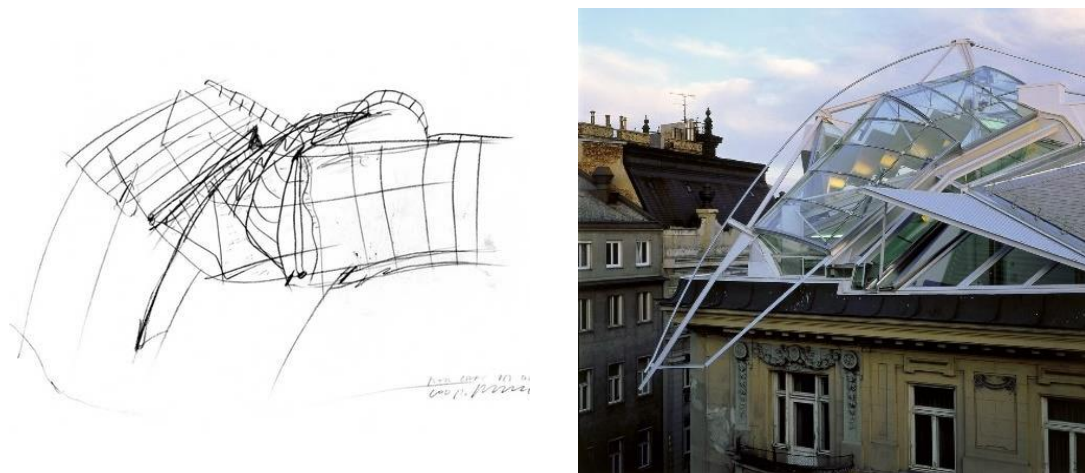


Abb. 27: Dachaufbau der Falkestraße 6 in Wien (Coop Himmelb(l)au)

<sup>337</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 540; Lampugnani 2004, S. 319.

<sup>338</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 107.

<sup>339</sup> Lampugnani 2004, S. 298.

<sup>340</sup> Vgl. Gleiter 2008, S. 17.

<sup>341</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 524.

Sie nennen ihren Entwurfsprozess „automatisches Schreiben“: Der Entwurf entsteht „aus einer explosionsartigen, mit geschlossenen Augen gezeichneten Skizze. [...] Die Hand als ein Seismograph der vom Raum hervorgerufenen Gefühle.“<sup>342</sup> Die Skizze wird dann direkt in ein dreidimensionales Modell übertragen und die entstehende Gebäudeform zur „gebauten Zeichnung.“<sup>343</sup> Diese Methode stellt die sinnliche Erfahrung der Architektur in den Vordergrund, indem die entstehende Gebäudeform eine starke Gestaltwirkung hat, die beim Betrachter eine große Aufmerksamkeit erzeugt und emotionale Reaktionen provozieren soll.<sup>344</sup> Da keine tektonischen Prinzipien und keine bekannten kompositorischen Ordnungen verwendet werden, kann es allerdings schwer fallen, eine Ordnung in dem Gebilde zu erkennen.<sup>345</sup>

### 3.2.10 Gegenwart

Die Architekturtheorie der Gegenwart ist seit den 1990er Jahren stark geprägt von großen gesellschaftlich-wirtschaftlichen Themenkomplexen wie Jahrtausendwende, Urbanisierung, Globalisierung, Neoliberalismus und Digitalisierung. Neue, digitale Technologien entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Baubranche, neue Kommunikationssysteme und nicht zuletzt die sozialen Netzwerke nehmen Einfluss auf die Architektur und ihre Diskurse. Dabei greifen Softwareweiterentwicklungen im Bereich der Entwurfsmethoden, digitale Fertigungsverfahren und digitale Medientechnologien eng ineinander. Aktuelle Positionen und Strömungen sind immer schwieriger eindeutig zu trennen, sowohl personell und zeitlich als auch räumlich, orientieren sich aber grob an den wichtigsten Vertreter/innen mit den prägnantesten Architekturtheorien gemäß den sechs Hauptschwerpunkten nach Jencks.

#### Ikonen

Seit Ende des 20. Jahrhunderts entstehen einige spektakuläre Gebäude, die ihre Umgebung gezielt aufwerten sollen, auch „Millennium Icons“ oder „Iconic Buildings“ genannt. Ihre Zeichenhaftigkeit steht dabei im direkten Zusammenhang mit einem Paradigmenwechsel in der Stadtentwicklung, bei dem nach Industrialisierung, Wirtschaft und Religion nun Kunst, Kultur und Bildung die identitätsstiftenden Zentren der Zivilgesellschaften demokratischer Städte formen sollen.<sup>346</sup> Nach einem der bekanntesten Projekte, dem Guggenheim Museum in Bilbao (1997), wird dieses Phänomen auch „Bilbao“- oder „Guggenheim-Effekt“ genannt. Ähnlich wie die Walt Disney Hall in Los Angeles (2002) hat auch das von **Frank O. Gehry (\*1929)** entworfene Kunstmuseum eine so große Wirkung auf die Stadt, dass diese sich zu einem kulturellen Zentrum mit großer Anziehung entwickelt. Das Gebäude weckt große Aufmerksamkeit und Spannung durch formale Widersprüchlichkeit und Bewegung, die auch dazu führt, dass es auf vielfältigste Art interpretierbar ist.<sup>347</sup> Dabei soll das Museum durchaus ungeordnet und provi-

---

<sup>342</sup> Jormakka/Schürer/Kuhlmann 2016, S. 37.

<sup>343</sup> Vgl. Kraft 2015, S. 274.

<sup>344</sup> Ebd., S. 281.

<sup>345</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 107.

<sup>346</sup> Vgl. Staeck/Odenthal 2013, S. 8.

<sup>347</sup> Vgl. Rauterberg 2008, S. 63.

torisch erscheinen,<sup>348</sup> was durch entsprechende Software und digitale Fertigungsmethoden machbar wird. Unterstützt wird diese Wirkung auch dadurch, dass seine innere Organisation von außen nicht ablesbar ist (vgl. Abb. 28).

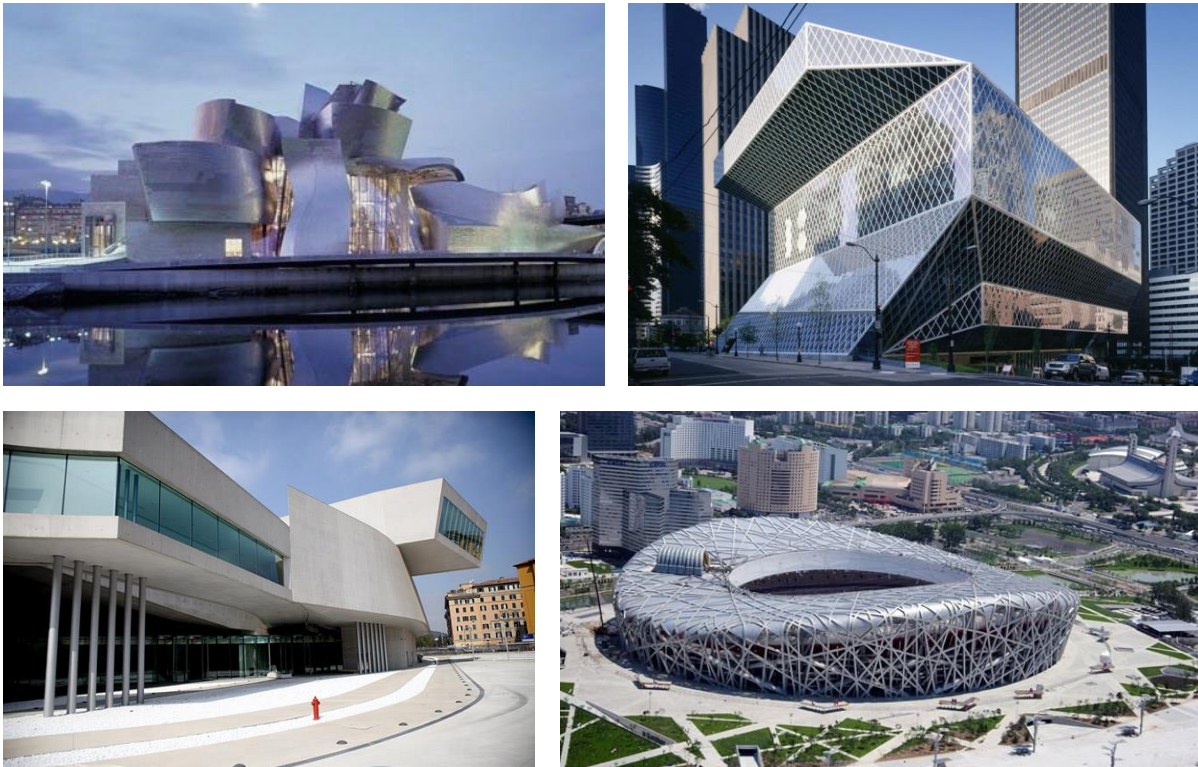


Abb. 28: Architekturikonen des Jahrtausendwechsels (v. o. l. n. u. r.): Guggenheim-Museum Bilbao (Guggenheim), Seattle Central Library (db-bauzeitung/Margherita Spiluttini/Christian Richters), MAXXI - Museo nazionale delle arti del XXI secolo, Rom (Getty/Corbis), Nationalstadion Peking (Konkel)

Auch **Rem Koolhaas (\*1944)** beschäftigt sich mit der Frage nach dem Verhältnis von Architektur und Großstadt sowie mit der Anwendbarkeit neuer Medien auf die Bauplanung und beleuchtet die Rolle der Architektur in der Globalisierung. In „S, M, L, XL: Bigness oder das Problem der Größe“ (1995) orientiert er sich stark am Bauboom in China<sup>349</sup> und forscht zum Phänomen der „bigness“. Dabei ordnet er Architektur in die Megastrukturen moderner Städte ein und kommt zu der Erkenntnis, dass Gebäude nur eine ästhetische Bedeutung haben können, wenn sie groß sind, öffentliche Räume im Inneren liegen und Gebäude nebeneinander koexistieren als großmaßstäbliche Einzelobjekte.<sup>350</sup> Auch bei seinem Hochhaus für das chinesische Staatsfernsehen (CCTV) setzt er auf die Kraft der schieren Größe.<sup>351</sup> Für Koolhaas kann nur eine pragmatische Bejahung der Umstände die Architektur retten in einer Zeit der Globalisierung und der Megacities, die nur noch als beziehungslose Zusammenstellung von riesigen Gebäudemaschinen bestehen.<sup>352</sup> Auch die Seattle Public Library und die Casa da Música in Porto gelten als Beispiele für diesen Ansatz.

<sup>348</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 204.

<sup>349</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 308-309.

<sup>350</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 574.

<sup>351</sup> Vgl. ebd., S. 74.

<sup>352</sup> Vgl. ebd., S. 574.

Weitere Architekten, die vielbeachtete Gebäude entwerfen und einen Beitrag zur Strömung der Architekturikonen leisten, sind **Jacques Herzog (\*1950)** und **Pierre de Meuron (\*1950)** mit dem Bird's Nest Stadium in Peking (2008), dem Tate Modern in London (2000) oder der Elbphilharmonie (2016).

Weitere Beispiele sind Peter Eisenmans Cidade da Cultura de Galicia in Santiago de Compostela, das Guangzhou Opera House in in Guangzhou von Zaha Hadid und der Metropol Parasol in Sevilla von Jürgen Mayer H. Die Gemeinsamkeiten der Millennium Icons liegen insbesondere darin, dass sie in ihrer Gestaltung so spektakulär und einzigartig erscheinen sollen, dass sie ein breites internationales Publikum anziehen und so einer ganzen Stadt oder Region zu einem strukturellen Wandel verhelfen. Die Bedeutung von deutlicher Zeichenhaftigkeit und Einzigartigkeit führt bei einigen dieser Bauten zu einer völligen Trennung von äußerer Ausdrucksform und innerer Funktionshülle.<sup>353</sup>

### Ornament

Eine weitere wichtige Strömung nutzt bewusst die Schönheit von Oberflächen als dekoratives Mittel und macht Materialien und Muster zu architektonisch wirksamen Elementen.<sup>354</sup> Einige Akteur/innen haben Muster und Ornamente zur Grundlage ihrer Theorie oder zu einem wichtigen Teil derselben gemacht. Verzierungen und Dekorationen spielen eine wichtige Rolle bei der Konzeptionierung ihrer Gebäude. Sie dienen dazu, die Gebäude in die Umgebung einzubinden, ihre Form zu betonen oder zu mildern, oder sie sind komplett verknüpft und gehen mit in die Konstruktion über (vgl. Abb. 29). Die Hülle umschließt das Gebäude nicht nur, sondern nimmt deutlichen ästhetischen Einfluss auf dessen Erscheinung. Vorläufer sind z. T. auch postmoderne, eklektizistische Projekte. Wichtige Kriterien hierbei können die räumliche, zeitliche oder programmatische Einbindung in den Kontext sein, Wechselwirkungen mit der Form, der Konstruktion oder den Erfordernissen von Innenräumen, der Ausdruck einer eigenen Identität oder auch Hinweise auf den Inhalt, z. B. in Form einer „Beschriftung“ (wie bei der Bibliothek Alexandrina von Snøhetta oder dem IKMZ Cottbus von Herzog & de Meuron). Wichtig ist, dass das Muster die Erscheinung eines Gebäudes deutlich prägt. Durch die angeborene, menschliche Neigung zur Mustererkennung und -herstellung, kann die Wahrnehmung von Mustern den Eindruck einer Gebäudeform stark beeinflussen, und zwar sowohl in Bezug auf Dimensionen als auch auf Proportionen. Außerdem können starke, visuelle Effekte wie Bewegung erzeugt und bewusst genutzt werden.

Vertreter dieser Strömung sind z. B. das Foreign Office of Architecture (FOA), das von **Farshid Moussavi (\*1965)** und **Alejandro Zaera-Polo (\*1963)** gegründet wurde. In Kombination von technischer Innovation und Design konzipieren sie Gebäudehüllen als Netzvorhang (John Lewis, 2008, Kaufhaus und Cineplex, Leicester) oder Kachelhülle (Ravensbourne College of Design and Communication, 2010, Campus-Gebäude, London). Deren Mustereffekte interagieren in unterschiedlicher Weise mit dem Kontext und binden das Gebäude in diesen ein, z. B. durch Widerspiegelung der Umgebung, die die eigene Sichtbarkeit des Gebäudes verringert, oder durch unterschiedliche Transparenzgrade. Auch **Jacques Herzog (\*1950)** und

---

<sup>353</sup> Vgl. Sauerbruch 2013, S. 19.

<sup>354</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 165.



**Pierre de Meuron (\*1950)** gestalten mit Mustern in der Fassade. Diese Muster können z. B. direkt aus Fotos abstrahiert werden, die einen Bezug zum Ort haben (Bibliothek der FH Eberswalde, 1999). Sie können aber auch aus Spiegelungen und Reflexionen entwickelt werden, die mit Formationen der Umgebung wie Lichtreflexionen des Meeres korrespondieren (Weltforum der Kulturen, Barcelona, 2004). Weiterhin wählen sich auch Mustern, die die Form beeinflussen, sie weicher machen und schimmern lassen (Informations-, Kommunikations- und Medienzentrum (IKMZ) der BTU Cottbus, 2004) oder bis hin zu einer kompletten Verschmelzung von Fassade und Struktur (Bird's Nest Stadium, 2008) reichen.

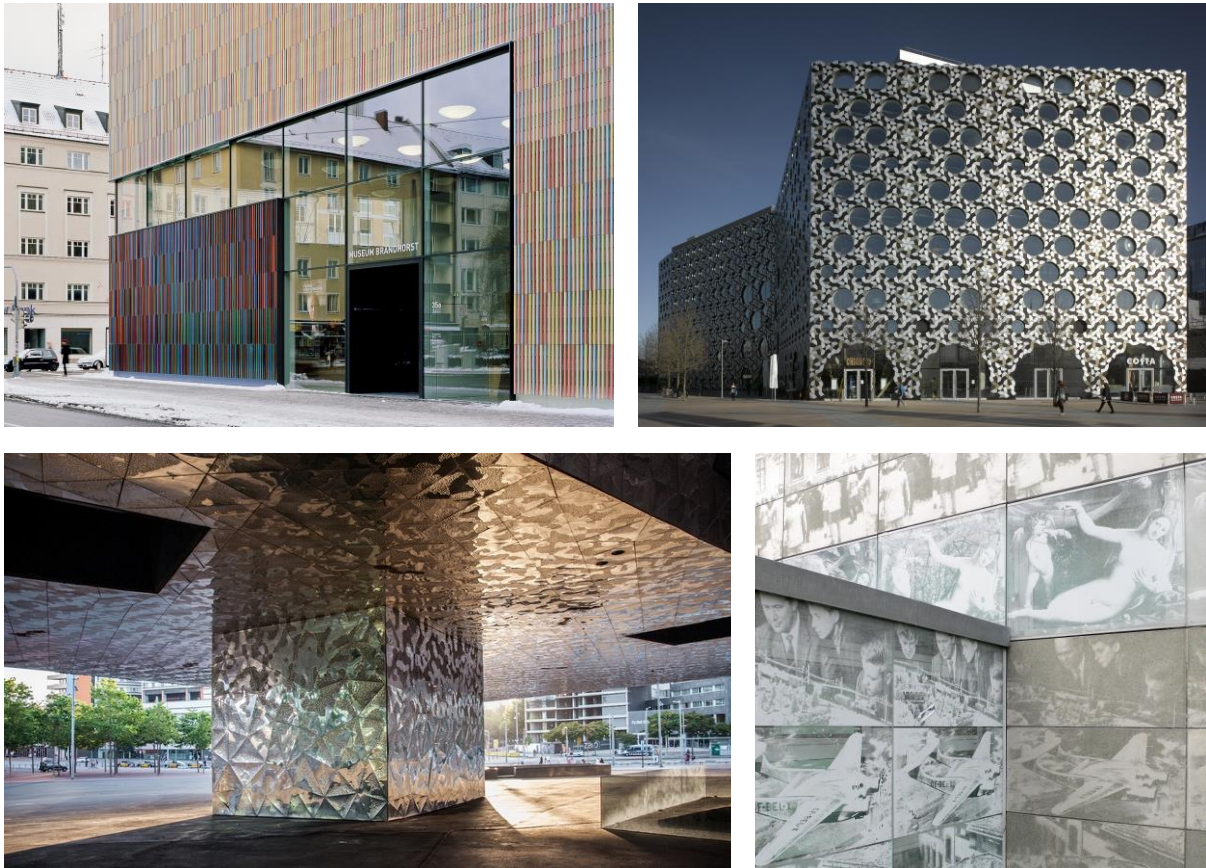


Abb. 29: Materialien und Muster als architektonisch wirksame Elemente (v. o. l. n. u. r.): Museum Brandhorst, München (Noshe), Ravensbourne College, London (Benedict Luxmoore), Museu de Ciències Naturals de Barcelona (Denis Esakov), Bibliothek der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (Dieter Janssen Photography)

Das Museum Brandhorst, entworfen von **Matthias Sauerbruch (\*1955)** und **Louisa Hutton (\*1957)**, besitzt eine Fassade aus glasierten Keramikstäben, die das Prinzip der kinetischen Polychromie veranschaulichen: ihr Muster erzeugt Bewegung und verleiht ihr eine dynamische Erscheinung, die aus der Entfernung entmaterialisiert, aus der Nähe aber sehr räumlich erscheint.<sup>355</sup> Weitere Beispiele der Muster- und Ornament-Strömung sind z. B. das Geschäftshaus Tod's von Toyo Ito, das Selfridges Kaufhaus von Greg Lynn oder die Bibliotheca Alexandrina von Snøhetta.

<sup>355</sup> Vgl. Projektbeschreibung, unter: [www.sauerbruchhutton.de/de/project/sab](http://www.sauerbruchhutton.de/de/project/sab) [31.05.2021].

### Sensualismus

Ein weiterer, theoretischer Schwerpunkt zeitgenössischer Architekturgestaltung ist die sinnliche Erfahrbarkeit von Architektur, die vor Ort aus dem Eindruck einer unmittelbaren Situation oder aus vorhandenen Materialien entsteht (vgl. Abb. 30). Teilweise werden diese Tendenzen auch mit dem von Charles Jencks geprägten Begriff des Adhocismus beschrieben. Den Namen verdankt der Adhocismus der Tatsache, dass er besonders stark auf die Ad-hoc-Verwendung von (vorgefertigten) Materialien fokussiert. Ein bekannter Vertreter, der vom unmittelbaren Eindruck eines Ortes oder Materials ausgeht, ist **Peter Zumthor (\*1943)**, ein international tätiger Schweizer Architekt und ehemaliger Denkmalpfleger. Eigentlich liegt seinen Bauten kein theoretischer Ansatz, geschweige denn eine ausgefeilte Theorie, zugrunde. Vielmehr geht er von der unmittelbar vorgefundenen Situation und auch von „architektonischen Urbildern bzw. Leitbildern“ aus, worunter er Primärerfahrungen mit Architektur versteht, die z. B. in der Kindheit gemacht wurden.<sup>356</sup> Anschauliche Beispiele sind die Bruder-Klaus-Feldkapelle (2007) in Mechernich oder Kolumba, das Kunstmuseum der Erzdiözese Köln (2007), bei denen Zumthor das Interesse von intellektueller Lesbarkeit auf sinnliche Erfahrbarkeit lenkt.<sup>357</sup> Wichtiger Ausgangspunkt ist neben den Urbildern der Kindheit der eigene Erfahrungsschatz, der verfügbar gemacht wird für die Gestaltung von Architektur. Dies ermöglicht ihm insgesamt einen eher bildhaften Zugang zu einer allgemein als sensualistisch zu charakterisierenden Architektur.<sup>358</sup> Ästhetik liegt für ihn in der hohen Präzision bei Ausführung und Verwendung von Materialien und Leitbildern wie „Höhle“ oder „Kristall“, wie er z. B. in „Architektur denken“ ausführt.<sup>359</sup>

Eine ähnliche Haltung zeichnet auch die Ansätze von **Juhani Pallasmaa (\*1936)** und **Steven Holl (\*1947)** aus. Pallasmaas forscht insbesondere zur Phänomenologie der Architektur. Im Vordergrund seiner Entwürfe steht die Intensität der Architekturerfahrung durch die menschlichen Sinne, die Architektur Gehalt und Ausdruckskraft verleiht. Dies führt er in verschiedenen Veröffentlichungen aus. In „The Eyes of the Skin. Architecture and the Senses“ (1996) setzt er sich mit dem sensualistischen Entwerfen auseinander und gießt diese Untersuchung in die Form eines „Katalogs voll Anordnungen“.<sup>360</sup> In „Six Themes for the Next Millenium“ (1994) definiert er sechs Leitbilder: Langsamkeit, Plastizität, Sinnlichkeit, Authentizität, Idealisierung und Stille, die der Architektur ermöglichen sollen, „zwischen der Welt und den Menschen zu vermitteln“.<sup>361</sup> Auch Holl stellt die sinnliche Erscheinung seiner Entwürfe deutlich in den Vordergrund. Die Idee des Entwurfs soll nur als „verborgener Faden“ durch diesen führen, während das Stoffliche die Hauptrolle spielt in Form von sichtbaren und fühlbaren Oberflächen, Lichterscheinungen wie z. B. beim „Writing With Light House“ in Long Island 2004 sowie das seelische, subjektive Erleben durch Blicke und das Bewegen durch den Raum.<sup>362</sup> Dies be-

---

<sup>356</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 318.

<sup>357</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 564.

<sup>358</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 318.

<sup>359</sup> Vgl. Zumthor 2006, S. 65-69.

<sup>360</sup> Erben 2017, S. 122.

<sup>361</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 564.

<sup>362</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 289.

schreibt er programmatisch in „Anchoring. Steven Holl. Selected Projects“ (1989). Auch das La Caixa Forum in Madrid von Herzog & de Meuron beruht darauf, jedem Raum seinen eigenen, kontrastreichen, sinnlichen Charakter zu geben, anhand von Materialien in verschiedenen Stadien des Verfalls.<sup>363</sup> Den Umgang mit vorgefundenen Materialien thematisiert dagegen David Chipperfield sehr intensiv am Neuen Museum in Berlin, das sehr anschaulich das Nebeneinander der Spuren einer mehr als 150-jährigen Bau-, Nutzungs- und auch Zerstörungsgeschichte sichtbar macht. Insbesondere die zahlreichen Altersspuren, Brüche und Beschädigungen verleihen dem Gebäude eine besondere Schönheit und Sinnlichkeit.



Abb. 30: Sensualistische Entwürfe, entstanden aus Materialien und Situationen vor Ort (v. o. l. n. u. r.): Bruder Klaus Feldkapelle, Mechernich (Aldo Amoretti), Writing With Light House, Long Island (Steven Holl Architects), Neues Museum, Berlin (Julian Harrap), CaixaForum Barcelona (db-bauzeitung)

### Nachhaltiges Bauen

Einen Höhepunkt erleben seit den 2000er Jahren theoretische Ansätze rund um das nachhaltige und ökologische Bauen. Einen umfassenden Überblick hierzu gibt Doris Haas-Arndt in ihrer Dissertation „Ästhetische Qualitäten des ökologischen Bauens und Wohnens“. Vertre-

<sup>363</sup> Vgl. Cohn 2008.

ter/innen dieser Strömung machen ökologische Aspekte explizit zur Grundlage ihrer theoretischen Ansätze und Entwurfskonzepte. Gute und stimmige Architektur ist hier vor allem natur-schön, naturinspiriert, naturbezogen und nachhaltig. Ökologische Architekturtheorien haben starke Verbindungen mit nachhaltigen Gesellschaftsvorstellungen, gleichberechtigtem Zugang zu Ressourcen und dem Erhalt individueller und regionaler Naturräume. Ästhetische Komponenten des ökologischen Bauens sind insbesondere die Gestaltung natürlicher Belichtung und Besonnung, die ökologische Leistungsform, Transparenz und Transmission sowie die aktive und passive Nutzung von Sonnenenergie. Weiterhin spielt auch die Einfügung in die Umgebung durch Aufnahme von Formen der Umgebung und die Einbeziehung von Natur und Pflanzen in Dach und Fassade eine wichtige Rolle (vgl. Abb. 31). Dabei kann nachhaltige Architektur durchaus regional, traditionell und anonym sein.<sup>364</sup>

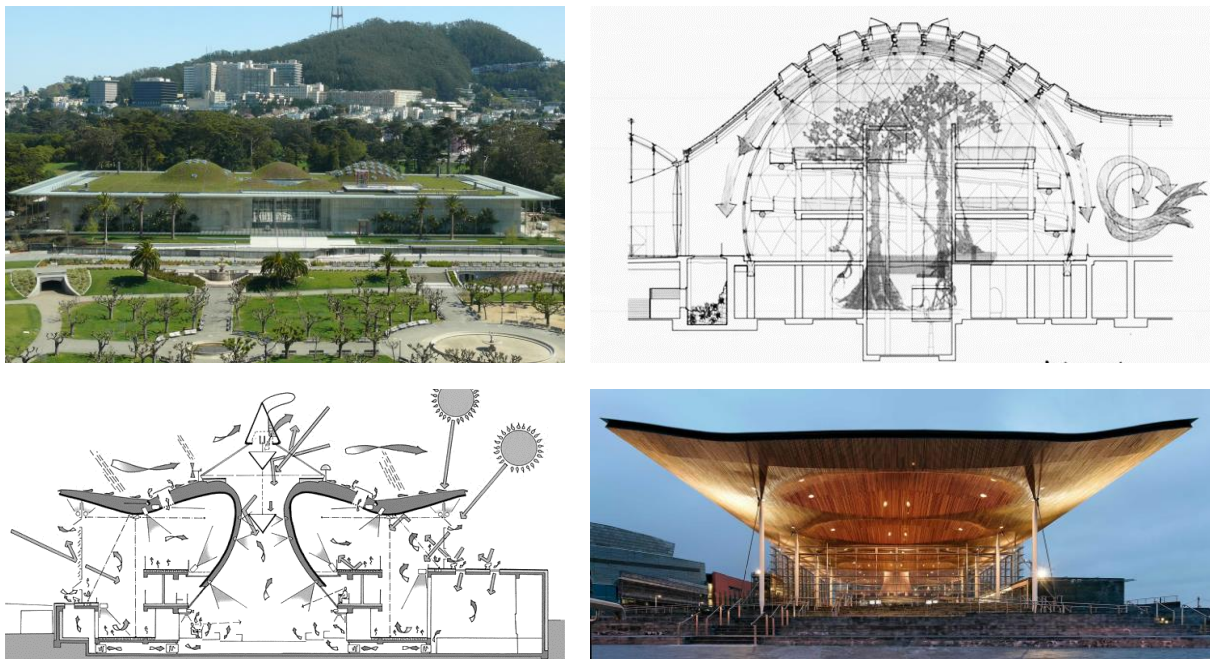


Abb. 31: Beispiele für Entwürfe auf Grundlage ökologischer Konzepte: California Academy of Sciences, San Francisco (oben) (links: Wikipedia/Dennis Jarvis; rechts: Renzo Piano Building Workshop), Walisisches Parlament, Cardiff (unten) (Rogers/Stirk/Harbour + Partners)

**Thomas Herzog (\*1941)** ist einer der führenden Architekten, die ökologische Belange zum Leitfaden machen. 1996 entwirft und redigiert er die „Europäische Charta für Solarenergie in Architektur und Stadtplanung“. Die Integration natürlicher Belichtung und Besonnung kann als erste Phase der theoretischen Auseinandersetzung mit der Berücksichtigung und ästhetischen Gestaltung von ökologischen Belangen gesehen werden<sup>365</sup>, die zu einem großen Themenbereich von Nachhaltigkeit in der Architektur geworden sind. Herzogs ästhetisches Konzept bezieht sich zum einen auf die Leistungsform, die als Form nicht vorab definiert wird, sondern aufgabenbezogen entsteht, als Resultat des Designprozesses.<sup>366</sup> Aber auch Transparenz und Transmission sind wichtige ästhetische Begriffe, die für ihn relevant sind in „Fragen der Nut-

<sup>364</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 285-286.

<sup>365</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 313.

<sup>366</sup> Vgl. Bürobeschreibung, unter: [thomasherzogarchitekten.de](http://thomasherzogarchitekten.de) [07.09.2020].

zung von Sonnenenergie“, aber auch als „Bedingungen für eine offene Gesellschaft“. <sup>367</sup> Ihm werden einige der ersten gestalterisch interessanten BIPV-Projekte zugeschrieben wie z. B. die Wohnanlage Richter in München (1982) oder das Wohnhaus Latz in Kassel (1982), die aktive Sonnenenergienutzung mit Konzepten wie gläsernen Südseiten, Wintergärten, Solarthermie, dem Haus-in-Haus-Prinzip, manueller Belüftung, unterschiedlich zonierten und temperierten Grundrissbereichen und Dämmung kombiniert. <sup>368</sup>

Auch **Renzo Piano (\*1937)** und **Richard Rogers (\*1933)** legen einen Fokus auf die Verwendung von Technik zur Lösung von Umweltproblemen und sozialen Fragen. <sup>369</sup> Ein Beispiel hierfür ist die California Academy of Sciences (2008), eines der größten Naturgeschichtsmuseen der Welt mit großem, hügeligem, begrüntem Dach und PV-Glasscheiben in einem großen verschattenden Dachüberstand. Diese nachhaltigen Ansätze lassen sich unmittelbar als Ausdruck ökologischen Bewusstseins an der Gestalt des Gebäudes ablesen. In Senedd in Cardiff gestaltet Rogers 2006 das Walisische Regionalparlament transparent und umweltfreundlich und installiert dabei natürliche Ventilations- und Regenwasseraufbereitungssysteme.

Ein weiterer Vertreter dieser Strömung ist **Jean Nouvel (\*1945)**, der, ebenfalls von Technikbegeisterung inspiriert, das Musée du quai Branly (2006), ein nationales Museum für außereuropäische Kunst in Paris, auf Stelzen über einem Landschaftsgarten und mit begrünten Fassaden entwirft. Ein Beispiel auch für die enge Verknüpfung und die vielen Schnittstellen von nachhaltiger Ästhetik und grünem Kontextualismus.

### Supermodernismus

Der Begriff des Supermodernismus geht zurück auf den niederländischen Architekten und Autor Hans Ibelings und sein Werk „Supermodernism. Architecture in the Age of Globalization“ (1998), in dem er untersucht, wie die Globalisierung in der Architektur zu einer speziellen, neutralen Superarchitektur führt. <sup>370</sup> Jencks fasst diese Theorien auch als Kritischen Modernismus zusammen. <sup>371</sup> Die unbeabsichtigten Folgen der Modernisierung wie Terrorismus oder globale Erwärmung sind typische Themen, die heute Reaktionen der Architektur motivieren. <sup>372</sup> Gemeinsam ist den architektonischen Theorien des Supermodernismus der Umgang mit den Einflüssen der Gegenwart. In diesen liegt der Fokus nicht auf Symbolen und Zeichen oder versteckte Botschaften in der Formensprache, die intellektuell gedeutet werden müssten. Im Vordergrund steht die mehrdeutige und erlebnisdichte Erfahrbarkeit. Die supermoderne Architektur hat wenig Bezug zu regionalem Kontext und fühlt sich eher dem Zeitgeist verpflichtet als örtlichen Traditionen. Auch kritische Bezüge zu Ikonen der Moderne sind vielfach anzutreffen. Viele Projekte setzen auf schiere Größe, Dramatik, sehr viel Licht und monumentale Gesten (vgl. Abb. 32).

---

<sup>367</sup> Herzog/Kuhnert/Schnell 1995, S. 36.

<sup>368</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 225-229.

<sup>369</sup> Vgl. Lampugnani 2004, S. 250.

<sup>370</sup> Vgl. Hans Ibelings (1998): Supermodernism. Architecture in the Age of Globalization.

<sup>371</sup> Vgl. Jencks 2015.

<sup>372</sup> Vgl. Charles Jencks (2007): Critical Modernism: Where is Post-Modernism Going?.



Abb. 32: Beispiele supermoderner Architektur (v. o. l. n. u. r.): City of Culture, Santiago de Compostela (Archello), Casa da Música, Porto (Philippe Ruault), Simmons Hall (MIT), Cambridge (Wikipedia/Mido), McCormick Tribune Campus Center (IIT), Chicago (Ned Cramer)

Einige Projekte und Ausführungen von **Rem Koolhaas (\*1944)** können dem Supermodernismus zugeordnet werden, wie z. B. das McCormick Tribune Campus Center am Illinois Institute of Technology (IIT) in Chicago von 2003. Das IIT ist auch als Mies Campus bekannt, da sowohl der Campus-Plan, als auch viele der dortigen Bauten von Mies van der Rohe und einigen seiner Schüler geplant wurden. Der Neubau ist ein Treffpunkt mit Cafés, Läden, Ausstellungs- und Konferenzräumen und dient auch als Lärmschutz. Koolhaas setzt sich hier kritisch mit der bestehenden Campus-Architektur auseinander in Bezug auf deren große Ausdehnung und die Erschließungssituationen und „[bringt] mit seinem Pop-Superzeichen die Revitalisierung des Campus schon von weitem zum Ausdruck“<sup>373</sup>. Auch andere seiner supermodernen Projekte, wie die Botschaft der Niederlande in Berlin oder die Casa da Música in Porto basieren auf Themen wie (inneren) Erschließungssystemen, Heterogenität der Nutzung und großformatigen Gebäudekörpern, die informelle und dichte Raumkonzepte erzeugen.

Ein weiteres Beispiel ist Simmons Hall am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge (2003) von **Steven Holl (\*1947)**. Das Studentenwohnheim ist eine Megastruktur, die an einen Schwamm erinnert und Bezüge zu Le Corbusiers Idee der Wohnmaschine zeigt. Der strenge Gebäudekörper wird von Durchbrüchen und bunten Fensterlaibungen gemildert

<sup>373</sup> Bideau 2003.

und ist im Inneren höhlenartig mit vielen Treppen, Rampen und Lufträumen gestaltet, sodass die orthogonalen Geschossebenen ineinanderfließen und organische Zwischenräume bilden.

Auch der Terminal 3 des Flughafens Peking-Hauptstadt (2008) von **Norman Foster (\*1935)** und die City of Culture in Santiago de Compostela (1999-heute) von **Peter Eisenman (\*1932)** sind Beispiele für zeitgenössische Megaprojekte. Der Terminal 3 war mit 1,3 Millionen Quadratmetern bis 2013 das größte Gebäude der Welt. Das aerodynamische Dach mit drachenähnlicher Form wird kombiniert mit traditionellen chinesischen Rot- und Gelbtönen. Er kann als riesige Kathedrale aus Glas und Stahl und viel natürlichem Licht beschrieben werden, die einladend, aber auch dramatisch sein soll.<sup>374</sup> Von beeindruckenden Dimensionen ist auch die City of Culture of Galicia mit mehr als 700.000 Quadratmetern, auf denen ein Museum, eine Bibliothek, ein Zentrum für neue Technologien, eine Konzerthalle und weitere große Gebäude entstehen. Die riesige, künstliche Landschaft mit eingefrästen Straßeneinschnitten, Schnittmenge aus mehreren geometrischen Systemen mit Fragmentierung, Falten, Spalten und Zwischenräumen, soll als „Super-Kultur-Supermarkt“ dienen, wird in ihrer monumentalen Geste aber auch als zu formalistisch und inhaltsfremd kritisiert.<sup>375</sup>

### Parametrismus

Verschiedene, zeitgenössische Strömungen aus den Bereichen der fraktalen, algorithmischen, digitalen, smarten und interaktiven Architektur können unter dem Oberbegriff des Parametrismus zusammengefasst werden. Allen Teilbereichen gemein ist, dass sie, auf der Grundlage von Datenstrukturen und Diagrammen, umgesetzt mit CAD- und 3D-Modelling-Programmen komplexe Architekturentwürfe ermöglichen (vgl. Abb. 33).

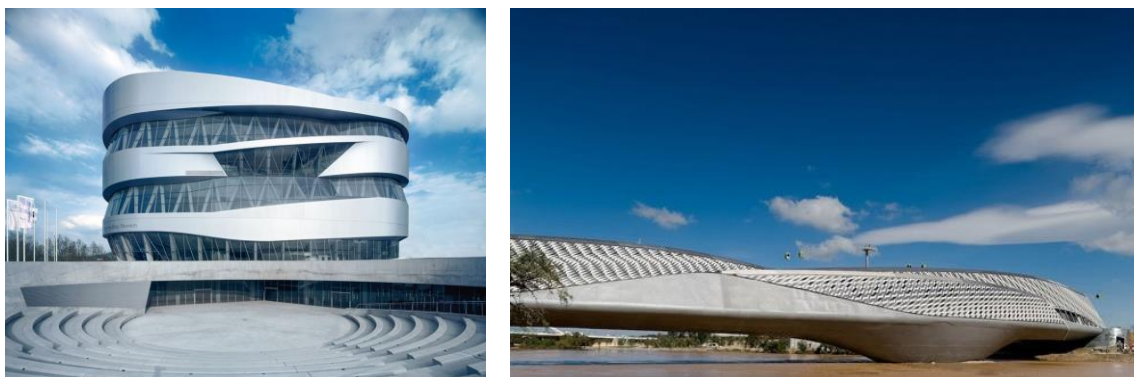


Abb. 33: Parametrische Architektur entstanden auf der Grundlage von CAD- und 3D-Modelling-Programmen: Mercedes-Benz Museum, Stuttgart (links: Sobek/Christian Richters), Zaragoza Bridge (rechts: Architonic/Fernando Guerra)

Vorgänger sind verschiedene Theorien, die bereits Anfang der 1990er Jahre entwickelt werden. Darunter sind zunächst die Folding- und Cybernetic-Theorien von Eisenman, Lynn, Hadid, Gehry, Moss u.a. zu nennen, die an computerbasierter, fließender, sich faltender und auf äußere Einflüsse reagierender Architektur forschen. Zu erwähnen sind ferner die Blob-

<sup>374</sup> Vgl. Projektbeschreibung, unter: [www.fosterandpartners.com/projects/beijing-capital-international-airport](http://www.fosterandpartners.com/projects/beijing-capital-international-airport) [12.08.2021].

<sup>375</sup> Vgl. Curtis 2010.

Architektur Lynns, der, sobald in der CAD-Software die Verwendung von Splines als Kurven und Flächen möglich wird, diese Innovation bei Entwürfen einsetzt, die Strömungen der um 1995 aufkommenden Fraktalen Architektur von Macovecz, Lynn, Fuksas u. a. und die biomorphen Theorien Calatravas, Miralles und Alsops. Jencks fasst verschiedene dieser Strömungen auch unter dem Oberbegriff des „Neuen Komplexitätsparadigmas“ zusammen. Ein wichtiger Theoretiker des Parametrismus ist **Patrik Schumacher (\*1961)**, der basierend auf der Formgestaltung der Natur 2009 den Begriff des Parametrismus prägt.<sup>376</sup> Er unterteilt diesen in sechs Prinzipien, von denen drei Tabus und drei Dogmen sind.<sup>377</sup> Natürliche Konstruktionsprinzipien sind dabei Anfang oder Ziel der Gestaltung und werden mithilfe von Software in komplexe Gebäudestrukturen und -formen übersetzt.

Präsente Akteur/innen im Bereich der parametrischen Architekturtheorien sind **Caroline Bos (\*1959)** und **Ben van Berkel (\*1957)** vom United Network Studio (UNStudio). Die algorithmische Anordnung serieller Elemente erlaubt sehr komplexe Räume, die dennoch Ruhe ausstrahlen, frei und kontinuierlich fließen und durch eine komplexe räumliche Organisation eine perfekte Funktionalität herstellen.<sup>378</sup> Computertechnische Möglichkeiten sind dabei die zwingende Voraussetzung, um die komplexen Raumdiagramme umzusetzen. Verschiedene Projekte wie das Karbouw-Gebäude in Amersfoort (1992), die Erasmus-Brücke in Rotterdam (1996) oder das Möbius-Haus in Het Gooi (1998) verdeutlichen diese Umsetzung von einfachen geometrischen Elementen und spezifischen Raumprogrammen auf der Grundlage von (Funktions-)Diagrammen in komplexe Architektur. Insbesondere das Mercedes-Museum in Stuttgart von 2006 zeigt anschaulich, dass die Idee der parametrischen Architektur auf der Grundlage von einfachen Konzepten, wie hier z. B. einer Erschließung in Form einer doppelten, dreidimensionalen Helix um einen großen Luftraum, entwickelt aus den Kleeblatt-Formen der Autobahnkreuzungen, mithilfe von digitalen Entwurfsmethoden zahlreiche funktionale, konstruktive, politische, soziale, emotionale und städtebauliche Aspekte berücksichtigen kann.<sup>379</sup>

Auch **Zaha Hadid (1950-2016)** ist eine bekannte Vertreterin, die auf einer organisch-kontextuellen Grundlage ein parametrisch-algorithmisches Architekturverständnis repräsentiert. Die Formensprache vieler ihrer Projekte resultiert aus Erschließungssystemen und Nutzungsprogrammen, aus denen fließende Raum- und Körpervolumen generiert werden. So ist z. B. beim Lois & Richard Rosenthal Center for Contemporary Art in Cincinnati (2003) das Konzept des „urban carpet“ Vorlage, um Erschließungsflächen aus dem öffentlichen Bereich fließend in die vertikale Rückwand des Gebäudes übergehen zu lassen und einander durchdringende Volumen aus Beton, Glas und Stahl entsprechend den inneren Raumvolumen zu schaffen. Und auch beim Phaeno in Wolfsburg (2005) erschafft sie einen schwebenden Baukörper, der unter ihm gelegenen Stadtraum auf neuartige Weise gestaltet und zahlreiche durchgängige Räume wie eine „gebaute Landschaft“<sup>380</sup> in vielschichtigen, räumlichen Beziehungen ermöglicht.

---

<sup>376</sup> Vgl. Schumacher 2009, S. 106-113.

<sup>377</sup> Vgl. Schumacher 2013.

<sup>378</sup> Vgl. Heilmeyer 2021.

<sup>379</sup> Vgl. ebd.

<sup>380</sup> Hotze 2021.



### 3.2.11 Folgerungen

Die Übersicht über die Theorien ästhetischer Architekturgestaltung seit der Antike zeigt, dass diese immer stark geprägt waren vom jeweiligen gesellschaftlich-wirtschaftlichen und politisch-kulturellen Kontext. Die Frage, nach welchen Prinzipien Teile eines Gebäudes zu einem Ganzen zusammenzufügen sind, war immer eng verknüpft mit der Frage, welche Ordnung die Teile der Welt zusammenhält.<sup>381</sup>

In allen Epochen besteht auch eine enge Verbindung von Kunst- und Architekturtheorie. Aspekte der Architekturgestaltung sind häufig eingebunden in allgemeinere Theorien der Kunst,<sup>382</sup> z. B. auf Basis gemeinsamer Fragestellungen wie der Proportionslehre oder der philosophisch-ästhetischen Ausführungen zur Dialektik zwischen Naturschönem und Kunstschönem, in deren Rahmen auch die Schönheit in der Architektur diskutiert wird.

Darüber hinaus haben Architekt/innen und Architekturtheoretiker/innen immer auch versucht, objektive Kriterien von den Gesetzmäßigkeiten der ästhetischen Wahrnehmung und insbesondere des Sehens abzuleiten. Insbesondere seit der Begründung der Wissenschaft von der Ästhetik durch Alexander Gottlieb Baumgarten wirken die Erkenntnisse zu sinnlicher Wahrnehmung und Empfindung von Musik, Literatur, Kunst und Architektur stark auf die Architekturtheorie zurück. Seitdem die Lehre des Schönen nach Gesetzmäßigkeiten sucht zu dem, was Gebäude geschmackvoll, harmonisch und ansprechend macht, zeigt sich allerdings auch, dass der Diskurs sich vor allem um die „Vollkommenheit der äußeren Form, im Sinne von stimmigen Proportionen und geometrischen Gesetzmäßigkeiten“<sup>383</sup> bewegt.

Die Übersicht über die Theorien ästhetischer Architekturgestaltung zeigt, dass es seit der Antike fortlaufende Auseinandersetzungen gegeben hat über grundlegende Prinzipien, die schönen Objekten oder Gebäuden zugrunde liegen. Bei den diskutierten Ansätzen handelt es sich bis zum 18. Jahrhundert zumeist um Proportionstheorien, die beschreiben, nach welchen harmonischen Zahlenverhältnissen die einzelnen Teile eines Objektes zueinander in Beziehung stehen. Sowohl in der Antike als auch im Mittelalter sind diese Anschauungen davon geprägt, dass bestimmte Zahlenharmonien den Kosmos als göttliche Weltordnung widerspiegeln. Mit der Neubelebung der antiken Ästhetik in der Renaissance bis zu den (wissenschaftlichen) Entwicklungen des 17. Jahrhunderts werden diese Schönheitsregeln immer normativer bei dem Versuch, Schönheit vor allem mit Geometrie zu begründen. Der Beginn der Wissenschaft von der Ästhetik als der Lehre von der Sinneswahrnehmung der Menschen im 18. Jahrhundert führt dann zu völlig neuen Ansätzen in der Definition von Schönheit auch in der Architektur. Diese werden nun viel stärker von der Empfindung beim Betrachten abhängig gemacht und von der Wahrnehmungskraft des Menschen her verstanden. Auf das eingeschränkte, formale Verständnis von architektonischer Gestaltung folgt die Erkenntnis, dass die sinnliche Wahrnehmung von Form und Raum nicht losgelöst werden kann von emotionalen und intuitiven Faktoren.<sup>384</sup> Das „ästhetische“ Jahrhundert führt letztlich zum Ende des Vitruvianismus und

---

<sup>381</sup> Vgl. Neumeyer et al. 2002, S. 9.

<sup>382</sup> Vgl. Krufft 1986, S. 12.

<sup>383</sup> Haas-Arndt 2000, S. 10.

<sup>384</sup> Ebd., S. 37.

zum Beginn der anthropozentrisch-subjektivistischen Theorien. In den darauffolgenden Epochen erfolgt das Aufkommen neuer Definitionen von Schönheit und neuer Stilrichtungen immer schneller. Mit den technologischen Einflüssen des im Zeichen wissenschaftlicher Rationalität stehenden 19. Jahrhunderts, mit der neuen Funktionalität und Internationalität der Moderne und der Zäsur durch Zweiten Weltkrieg und Wiederaufbau werden neue Ansätze und Theorien zunehmend schneller dogmatisch und rufen entsprechende Gegenrichtungen hervor. Die Wende zum dritten Jahrtausend schließlich prägen die Entwicklungen der elektronischen Massenmedien und der kommerziellen Werbung sowie die Nutzung der Architekturgeschichte selbst als einen symbolischen Fundus für postmoderne Definitionen von Schönheit in der Architektur, die vor allem bildhaft, spielerisch, selbstkritisch und ironisch sein sollen. Der Wandel und die Weiterentwicklungen von Kommunikations- und Medienarten, aber auch von Bild-, Entwurfs- und Fertigungstechnologien haben seitdem noch deutlich an Einfluss auf die Architektur und die Theorien zu Kriterien für Schönheit gewonnen. Dabei werden diese Kriterien immer subjektiver und eher spezifiziert als definiert, sodass heute ein höchstes Maß an Differenzierung in der Architekturtheorie erreicht ist.<sup>385</sup>

Bei allen Entwicklungen in den ästhetischen Theorien seit der Antike können Kriterien für Schönheit hinsichtlich der Tiefe ihrer Wertung und ihrer Geltungsdauer in verschiedene Ebenen differenziert werden. Dabei haben ästhetische Grundwerte größeres Gewicht und sind langlebiger als Stile und Moden. Dies kann auch in Form von Wellen beschrieben werden, die sich über einen gewissen Zeitraum aufbauen, eine (kurze) Hochphase haben und dann wieder abflachen (vgl. Abb. 34). Bestimmte Elemente einer Mode können eine gewisse Zeit lang breit akzeptiert sein, dann folgt aber bereits die nächste. Diese relative Kurzlebigkeit charakterisiert auch das Phänomen des Zeitgeistes. Ästhetische Grundwerte dagegen verändern sich nur sehr langsam, beziehungsweise verlagern vielmehr ihren Schwerpunkt, und selbst tiefgreifende gesellschaftliche Wandel verändern diese fundamentalen Werte nur schwach oder haben gar keinen Einfluss.<sup>386</sup>

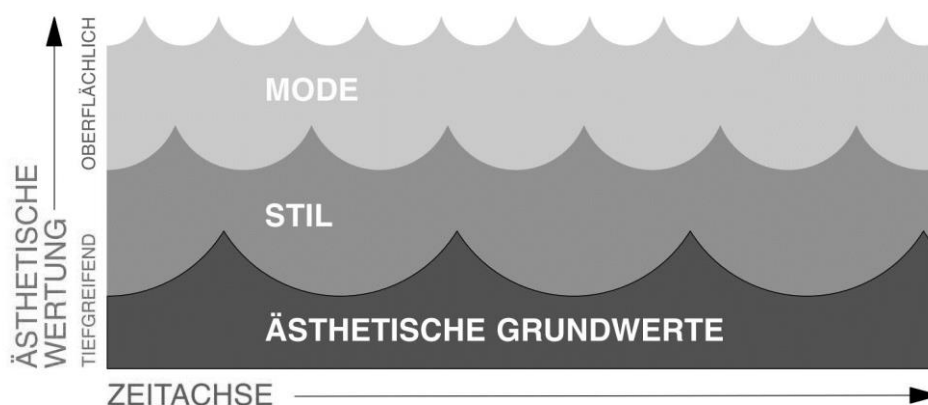


Abb. 34: Die drei Ebenen der ästhetischen Werte nach Peter F. Smith (Grütter 2015, S. 252)

<sup>385</sup> Vgl. Erben 2017, S. 124.

<sup>386</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 253.

Heutige Architektur ist komplex und die Kategorien haben sich seit Vitruv stetig weiterentwickelt. Die Erkenntnisse aus der Architekturtheorie zeigen, dass heute relevante Gestaltqualität Wirkungsqualität ist.<sup>387</sup> Menschen suchen Ordnung und Struktur in Sinneseindrücken, Harmonie und Orientierung. Die Einheit zwischen Inhalt und Konstruktion in vielschichtigen, wechselseitigen Entsprechungen führt zu erfahrbarer Schönheit. Dafür können einige Kriterien festgestellt werden, die immer wieder genannt werden. So lassen sich aus den beschriebenen ästhetischen Theorien allgemeingültige Gestaltungskriterien wie proportionale Gliederung, Maßstäblichkeit, Farbigkeit, Materialität, Kontextualität und Zeichenhaftigkeit ableiten, die über alle Zeiten hindurch ästhetische Qualität belegen.

### 3.3 Allgemeingültige Gestaltungskriterien

Die Theorien ästhetischer Architekturgestaltung zeigen, wie Kriterien für Schönheit immer wieder und teils heftig diskutiert wurden, lange mit einem starken Fokus auf die Säulenordnungen und Proportionsregeln. Aber auch andere Aspekte guter und gelungener Gestaltung haben eine lange Tradition und zunehmend an Bedeutung gewonnen.

In diesem Unterkapitel sollen nun die allgemeingültigen Kriterien aufgezeigt werden, die sich bei der Darstellung der Theorien ästhetischer Architekturgestaltung als für die ästhetische Wirkungsqualität von Architekturfassaden relevant herausgestellt haben. Die Berücksichtigung dieser Kriterien führt dazu, dass Fassaden Menschen angenehm und stimmig erscheinen. Dargestellt werden sollen sie hier anhand ihrer historischen Entwicklung, wichtiger Einzelaspekte und ihrer Wirkungsweise und Relevanz.

Dabei können die genannten Kriterien hier nur aus methodischen Gründen für sich gesondert betrachtet werden, denn der gelungene Entwurf basiert gerade auf ihrem ausbalancierten Wechselspiel.

#### 3.3.1 Proportionale Gliederung

Die proportionale Gliederung eines Gebäudes bzw. einzelner seiner Teile beschreibt das In-Beziehung-Setzen von Teilen zueinander und zum Ganzen auf der Basis geometrischer Regeln, sodass das Ganze für Betrachter/innen harmonisch erscheint. Dies schließt auch die Proportionalität des Gesamtgebäudevolumens, also seine Formschönheit bzw. Formschlüssigkeit, mit ein.

##### Historische Entwicklung des Kriteriums

Die maßliche Abstimmung von Bauteilen ist wohl das älteste aller Kriterien und lange Zeit drehte sich der gesamte gestalterische Diskurs fast ausschließlich um die „richtigen“ Proportionen und deren korrekte Anwendung, wobei sich die konkrete Bedeutung des Begriffs stark gewandelt hat (vgl. Abs. 3.2.). Bei Platon und Aristoteles entsprachen die Gesetze schöner Proportionen den Gesetzen des Kosmos. Bestimmte Zahlenverhältnisse galten als schön. Bei Vitruv erschienen die Zahlenwerte der Proportionsverhältnisse dann sowohl als absolute, vom menschlichen Körper abgeleitete Größen als auch als durch Beobachtung und Nachahmung

---

<sup>387</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 15.

gewonnene quasi-empirische Größen. Die Bezüge zum menschlichen Körper spielten auch im Mittelalter weiterhin eine wichtige Rolle; hinzu kam eine stark religiöse Zahlensymbolik. In der Renaissance führten immer mehr Abhandlungen über Proportionssysteme und die ihnen zugrunde liegenden kosmischen Prinzipien zu starren Proportionsregeln und schließlich zu deren Ende. Im 17. Jahrhundert brachten die bei dem Versuch, empirisch zu normen, gewonnenen Erkenntnisse sowohl eine klassizistische Normung hervor als auch deren Gegenteil – eine Öffnung der Regeln. Gegen Ende des 17. Jahrhunderts brach die bisherige Weltordnung dann endgültig zusammen und mit ihr auch die starren ästhetischen Regelsysteme. Darauf folgten Entwicklungen, in deren Rahmen z. B. von Laugier und Lodoli auch konstruktive Aspekte direkt in die Logik von Proportionen und Säulenordnung miteinbezogen wurden, ebenso wie ein Jahrhundert später bei Viollet-le-Duc, der sie dann ganz abhängig von der Statik sah. Mit den Forschungen im 19. und 20. Jahrhundert zur Rolle der Wahrnehmung gewann die subjektive Rolle des Betrachters weiter an Gewicht und auch wirtschaftlich fokussierte, rationalisierte und systematische, teilweise modulare Entwurfsprinzipien nahmen Einfluss auf die maßliche Ordnung von Grundrissen und Fassaden. Seit der Moderne werden proportionale Ordnungssysteme deutlich weiter und intuitiver aufgefasst, als allgemeines harmonisches Zusammenspiel, in das z. B. auch Wechselwirkungen zu Farbe, Material und Lichtführung miteinbezogen werden. Bezüge zu den Maßen menschlicher Körper bleiben aber ebenfalls relevant.

### Mittel und Theorien

Allgemein können arithmetische und geometrische Proportionstheorien unterschieden werden. Arithmetische Theorien wie der Modulor oder die Säulenordnungen beruhen auf einer Grundeinheit und einfachen Zahlenverhältnissen, wohingegen geometrische Theorien mithilfe von geometrischen Operationen ermittelt werden wie z. B. dem Goldenen Schnitt.<sup>388</sup>

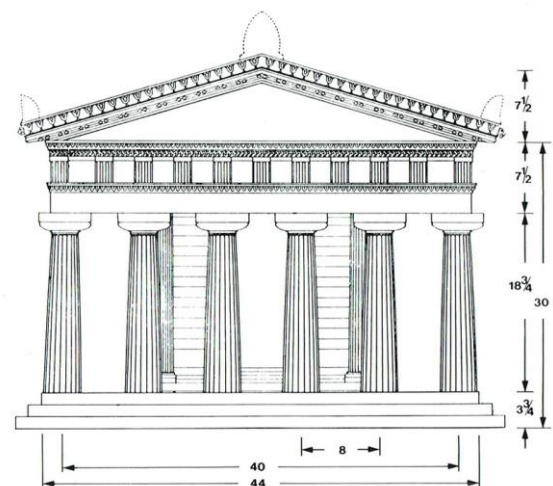


Abb. 35: Arithmetische Proportionen am Athenatempel in Paestum 510 v. Chr., ausgehend von der Grundeinheit eines dorisch-phaidonischen Fußes (32,8 cm) (links: TU Dresden; rechts: Naredi-Rainer 1989, S. 153)

<sup>388</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 150.

Die klassischen **Säulenordnungen** als vertikale Bauelemente mit Basis und Kapitell sind das wichtigste Gliederungssystem seit der Antike und bis ins 20. Jahrhundert hinein. Seit Vitruv drei Hauptkategorien von Säulen (dorisch, ionisch und korinthisch) und zwei davon abgeleitete Nebenkategorien unterschied, wurden sie zu verbindlichen Vorgaben für die Gliederung einer Fassade (vgl. Abs. 3.2.1). Grundlegend war dabei der Modus, mit dem alle proportionalen Vorgaben zu Säulendurchmesser, -abständen, Basis, Kapitell und Gebälk gegeben waren (vgl. Abb. 35).

Der **Goldene Schnitt** dagegen wird mithilfe von geometrischen Operationen ermittelt, z. B. an einer Strecke (AB), indem rechtwinklig zu dieser eine Senkrechte mit halber Länge angetragen ( $AB/2=BE$ ) und so ein Dreieck als Grundform konstruiert wird. Die Strecke BE wird nun auf die Hypotenuse des Dreiecks (AE) übertragen und teilt diese in die Strecken AF und FE. Überträgt man die Strecke AF nun wieder auf die Ausgangsstrecke, so ist diese am Punkt C in einen Majorteil und Minorteil geteilt. Diese beiden Teile stehen zueinander in demselben Verhältnis wie der Majorteil zur Gesamtstrecke.<sup>389</sup>

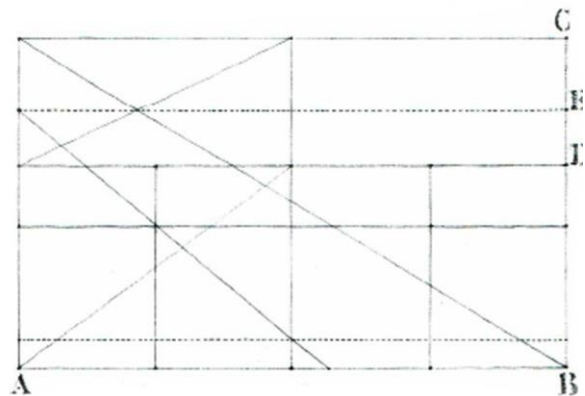
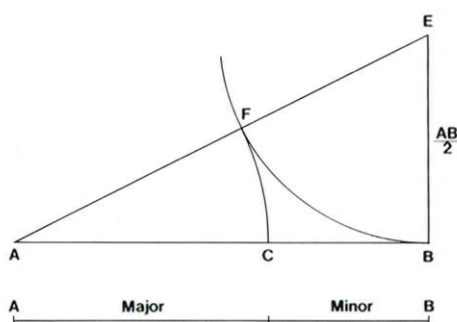
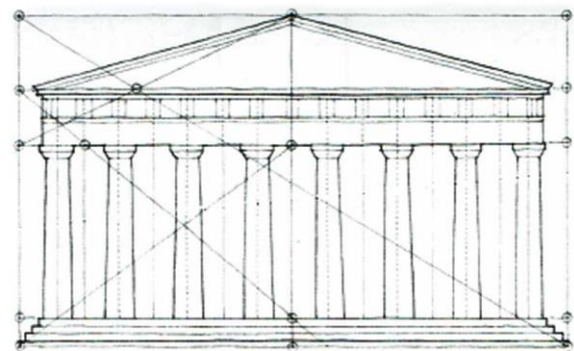
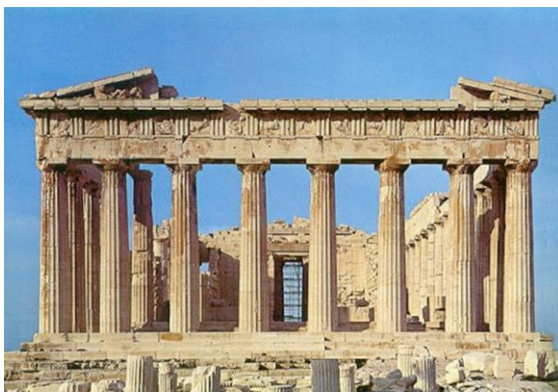


Abb. 36: Proportionsverhältnisse nach dem Goldenen Schnitt: geometrisch konstruiert und an Gebäuden, wie z. B. dem Parthenon in Athen 447-432 v. Chr. nachweisbar (links oben: IME/Roy George; links unten: Naredi-Rainer, S. 153; rechts: Ching 1991, S. 284)

Verschiedene Zahlenreihen und geometrische Formen, wie z. B. das Goldene Rechteck, können mithilfe des Goldenen Schnitts konstruiert werden, der sich auch in zahlreichen natürlichen Strukturen wiederfindet. Geometrische Ordnungsverhältnisse, die dem Goldenen Schnitt entsprechen, wurden an zahlreichen Gebäuden, wie Tempeln, Renaissance-Gebäuden oder

<sup>389</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 44.

auch bei Werken Le Corbusiers nachgewiesen und werden in der Architektur bis heute angewendet (vgl. Abb. 36).<sup>390</sup>

Eine weitere Proportionsregel ist die **Fibonacci-Folge**. Sie beschreibt eine Reihe von Zahlen, in der jeweils die nächstfolgende sich aus der Summe der beiden vorangehenden Zahlen ergibt (vgl. Abb. 37). Der Quotient nähert sich mit fortschreitender Folge dem Goldenen Schnitt an, wobei diese Annäherung alternierend ist, also jeweils etwas größer und kleiner. Im Jahre 1202 beschrieb Leonardo Fibonacci mit dieser Zahlenfolge das Wachstum einer Kaninchenpopulation.<sup>391</sup> Die Zahlenfolge war aber auch in der Antike sowohl in Griechenland als auch in Indien schon bekannt. Weitere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Fibonacci-Folge in der Natur zahlreiche Wachstumsvorgänge bei Pflanzen beschreibt und eine Art Wachstumsmuster abbildet.

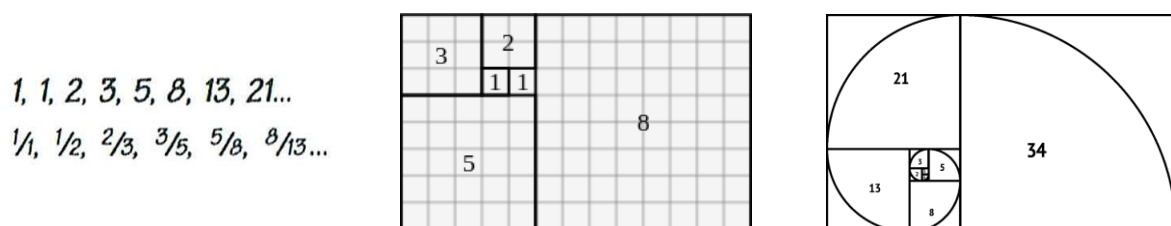


Abb. 37: Die Fibonacci-Folge: harmonische Proportionsverhältnisse sowohl bei Flächenbezügen als auch bei Raumabfolgen (Ching 1996, S. 110)

Der **Modulor** basiert auf den mathematischen Prinzipien von Goldenem Schnitt und Fibonacci-Folge sowie auf den Maßen des menschlichen Körpers. Le Corbusier entwickelte ihn ab 1942 als Ordnungssystem für die Gliederung von Räumen und Fassaden. Grundannahme sind die drei Maße 113, 70 und 43. Mit 113 cm nahm er die Position des Bauchnabels eines durchschnittlichen Mannes, vom Boden gemessen an; durch Addierung von 70 cm kam er auf dessen durchschnittliche Körpergröße, also 183 cm. Zu diesem Betrag addierte er wiederum 43 cm für die nach oben gestreckte Hand und kam auf insgesamt 226 cm. Davon ausgehend bildete er zwei Zahlenreihen (die rote und die blaue Reihe) abgestuft in kleineren Einheiten aber immer mit Bezug zu den menschlichen Maßen, um das System anwendbar zu machen für die Baupraxis. Ein Beispiel für die Anwendung des Modulors ist das Wohngebäude Unité d'Habitation in Marseille (1946-52). Der Modulor sollte der Architektur eine menschliche und gleichzeitig objektive Ordnung verleihen (vgl. Abs. 3.2.7 und Abb. 38).<sup>392</sup>

<sup>390</sup> Vgl. Ching 1991, S. 282.

<sup>391</sup> Vgl. Naredi-Rainer 1989, S. 186.

<sup>392</sup> Vgl. ebd., S. 103.

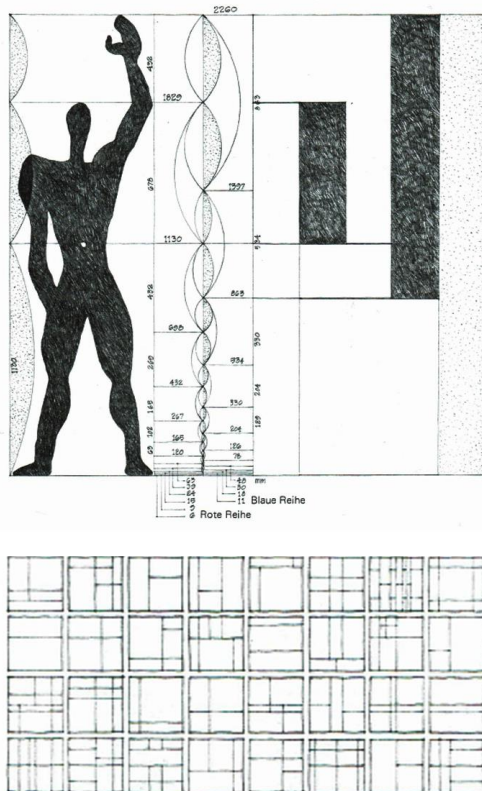


Abb. 38: Die Fassade der Unité d'Habitation in Marseille zeigt vielfältige Gliederungsmöglichkeiten auf der Grundlage des Modulors (links: Ching 1991, S. 299, 300; rechts: Wikiarquitectura/Maria de la Paz)

Eine weitere Maßeinheit für architektonische Module ist der **Ken**. Er stammt aus der zweiten Hälfte des japanischen Mittelalters (ca. 1400 bis 1600) und ist ein absolutes Maß, also eine rein modulare Ordnung mit einem relativ kleinen Modul im Verhältnis 1 zu 2 (ca. 90 x 180 cm), das eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten bietet. Er regelt den Abstand zwischen Stützen. Eine Tatami-Matte ist einen Ken breit und zwei Ken lang. Raumgrößen werden entsprechend der Anzahl an Tatami-Matten angegeben. Ursprünglich gehen die Maße der Tatami-Matte auf menschliche Maße zurück, da auf ihr jeweils zwei Personen sitzen oder eine Person schlafen konnte. Im Laufe der Zeit entwickelte sich das Prinzip aber immer mehr zu einem konstruktiven System, das sich an den Erfordernissen der Holzkonstruktion orientierte. Auch die Deckenhöhen richten sich in Abhängigkeit von der Raumgröße nach dem Tatami-Maß. Die Villa Katsura, im 17. Jahrhundert bei Kyoto erbaut, ist ein bekanntes Beispiel für ein Gebäude in Holzskelettbauweise, das auf einem Tatami-Raster erbaut wurde und mit ihrer klaren Ordnung für Einfachheit und Harmonie steht (vgl. Abb. 39).<sup>393</sup>

<sup>393</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 97.

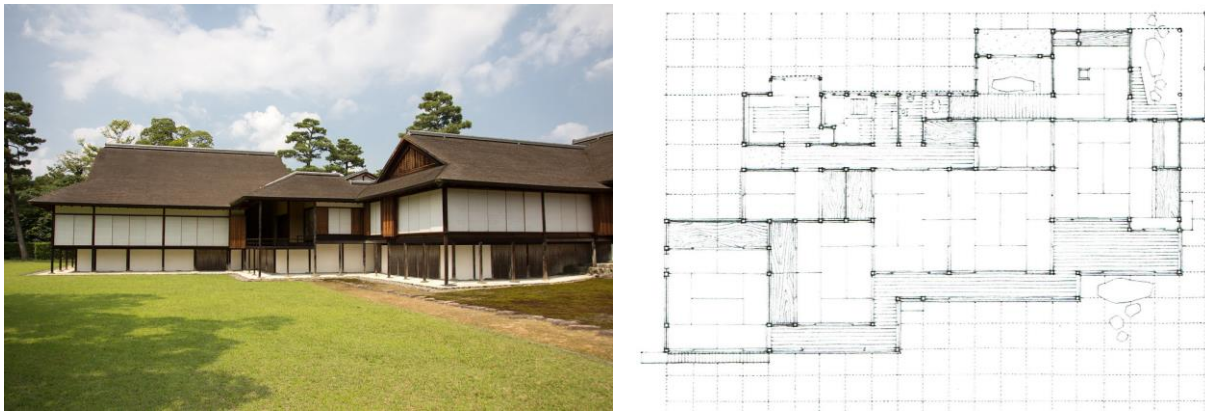


Abb. 39: Die Villa Katsura: Beispiel für ein gemäß der Modulordnung des Ken strukturiertes Gebäude (links: Wikipedia; rechts: Ching 1991, S. 304)

Eine weitere Möglichkeit, Grundrisse oder Fassaden in bestimmten geometrischen Verhältnissen zu gestalten, ist die Verwendung von **Ordnungslinien oder Maßreglern**. Sie zeigen die Ähnlichkeit proportionaler Verhältnisse von Elementen bspw. dadurch, dass ihre Diagonalen jeweils parallel oder lotrecht zueinander verlaufen.<sup>394</sup> Ein anschauliches Beispiel einer Grundrissentwicklung anhand geometrischer Ordnungslinien ist der Entwurf des Studio Ozenfant von Le Corbusier (vgl. Abb. 40).

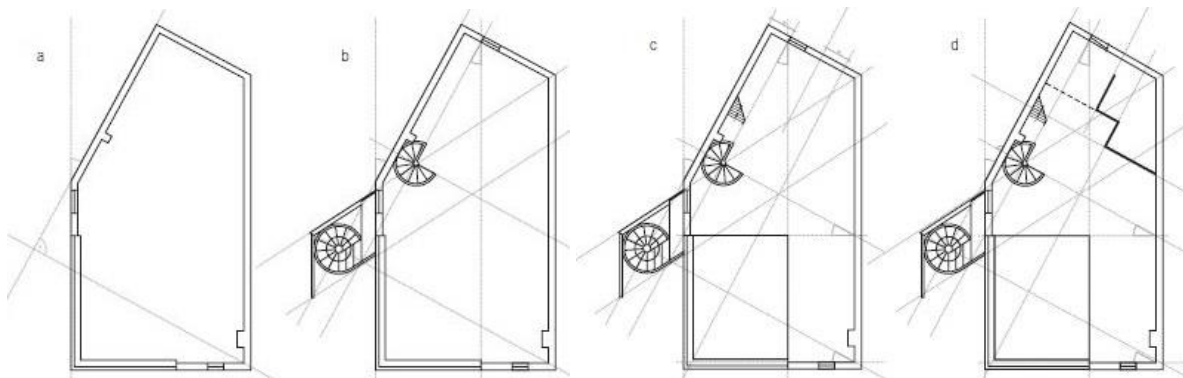


Abb. 40: Entwicklung des Grundrisses anhand geometrischer Ordnungslinien: Ozenfant Studio (Jor-makka/Schürer/Kuhlmann 2016, S. 31)

Der gesamte Grundriss wird von zwei Rastern im 30° Winkel zueinander organisiert, die sich aus der Geometrie des Grundstücks ergeben. Die Positionen zahlreicher Elemente, wie Treppen, Fenster oder leichte Raumtrennwände sind genau entlang von Linien und Schnittpunkten der beiden Raster festgelegt. Le Corbusier selbst bezeichnete die Ordnungslinien als „Maßregler“, die Ordnung und harmonische Beziehungen fördern und schöpferisch inspirieren, gleichwohl aber kein Rezept darstellen.<sup>395</sup>

Unabhängig von allen mathematischen Proportionierungstheorien, Entwurfshilfen und Gliederungsprinzipien unterliegt die harmonische Proportionalität von Gebäuden immer auch dem individuellen Empfinden der Betrachtenden. Nicht jedes wohlgeformte Gebäude unterliegt

<sup>394</sup> Vgl. Ching 1991, S. 286.

<sup>395</sup> Le Corbusier (1982/1922) *Ausblick auf die Architektur*, S. 62, 67, zitiert in: Ching 1991, S. 286.



zwangsweise mathematischen Regeln und nicht jedes angewandte Proportionssystem ist als solches unmittelbar ablesbar.

### Wirkungsweise und Relevanz

In der Praxis findet Gliederungsarbeit auf verschiedenen Ebenen am Gebäude statt und Proportionsprinzipien können an vielen Stellen angewendet werden, um Elemente in Beziehung zueinander zu setzen und die Wirkung eines Gebäudes zu beeinflussen. Die Verwendung proportionaler Systeme hilft, Gebäuden eine optisch harmonische und geordnete Erscheinung zu verleihen. Sie erleichtern es dem Betrachter, ein Gebäude zu verstehen. „Die optische, von solchen Systemen geschaffene Ordnung kann der Betrachter aus einer Reihe sich wiederholender Erfahrungen spüren und erkennen, auch wenn die Beziehungen nicht gleich erkennbar sind. Nach einiger Zeit erkennt er das Ganze im Detail und im Detail das Ganze.“<sup>396</sup> Werden verschiedene geometrische Operationen kombiniert oder auf verschiedenen Maßstabsebenen angewendet, so „verleiht [dies] dem Entwurf eine besondere Spannung, ohne ihn beliebig oder unverständlich erscheinen zu lassen“.<sup>397</sup> Bei modularen Grundrissen kann aber auch schnell ein streng additives Erscheinungsbild entstehen. Komplexere Ordnungssysteme werden auch beschrieben als eine Art Text oder Symbol, „dessen Entzifferung Interesse wecken kann.“<sup>398</sup> Eine besondere Qualität entsteht in der Symbiose aus ästhetischen und konstruktiven Überlegungen, z. B. wenn Elemente entsprechend ihren konstruktiv sinnvollen Proportionen verwendet werden und einem Raum Dimension und Maßstab verleihen<sup>399</sup> oder die Arbeit mit Modulen „eine Kombination von vorgefertigten Elementen und standardisierten Komponenten erlaubt“.<sup>400</sup>

Auf der Körpervolumen-Ebene gibt es übergeordnete Herangehensweisen an die Gliederung eines Bauwerks, die sich auf die Proportionen des Gesamtvolumens beziehen können oder einzelne Gebäudeteile (vgl. Abb. 41). Ermel beschreibt in diesem Zusammenhang Gliederungsprinzipien wie Teilung (Division), Hinzufügen (Addition) und Wegnehmen (Subtraktion).<sup>401</sup> Auch Ching charakterisiert Gebäudekörper anhand der formalen Entwicklung, die sie genommen haben, ausgehend von einfachen platonischen Körpern, „durch Manipulation ihrer Abmessungen [dimensionale Entwicklung], durch addieren [additive Entwicklung] oder subtrahieren [subtraktive Entwicklung] anderer Elemente“ [...].<sup>402</sup> Auf Flächen-Ebene können Proportionsregeln helfen, einzelne Flächen zu gliedern, z. B. durch Öffnungen. Eine wichtige Rolle spielt hier auch die Auflösung von Flächen in polygonale Flächen anstelle von orthogonalen durch neue digitale Konstruktionsprogramme und neue Fertigungstechniken (CAD/DAM).<sup>403</sup>

---

<sup>396</sup> Ching 1991, S. 279.

<sup>397</sup> Jormakka/Schürer/Kuhlmann 2016, S. 18.

<sup>398</sup> Vgl. ebd., S. 18: Beispielsweise kann die Triangulation als Organisationsprinzip an der Kirche in Riola von Alvar Aalto als Symbol für die Drei-Einigkeit gelesen werden.

<sup>399</sup> Vgl. Ching 1991, S. 276.

<sup>400</sup> Jormakka/Schürer/Kuhlmann 2016, S. 32.

<sup>401</sup> Vgl. Ermel 1999, S. 88-91.

<sup>402</sup> Ching 1991, S. 48.

<sup>403</sup> Vgl. Herzog et al. 2016, S. 14.

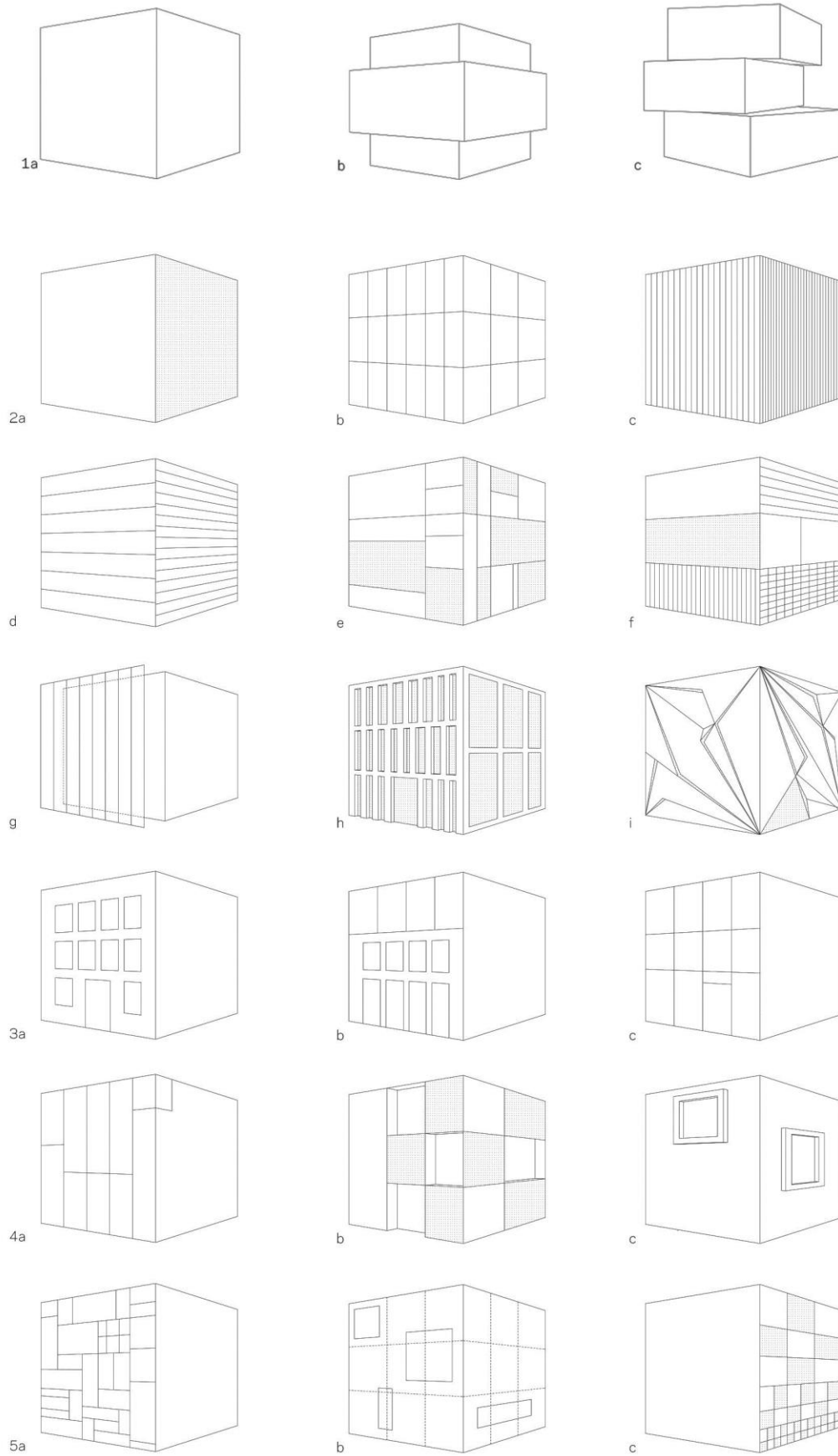


Abb. 41: Möglichkeiten proportionaler Gliederung, verdeutlicht anhand eines Kubus auf den Ebenen (1) Baukörper, (2) Flächen, (3, 4) Öffnungen, (5) Raster (Herrmann et al. 2015, S. 24-25)

Auf Bauteil-Ebene können Gliederungsprinzipien auf Elemente wie Balkone, Vordächer etc. angewandt werden, um den Gesamteindruck eines Gebäudes zu harmonisieren. Neben ästhetischen Fragestellungen haben viele weitere Faktoren aus dem Bereich der Nutzung, der Konstruktion, der Fertigung u. a. Einfluss auf die Gliederung eines Gebäudes bzw. seiner Fassade. Dies spiegelt sich wider in der Berücksichtigung von Bauteilmaßen, Nutzungsrastern, zulässigen Spannweiten, Fügungsprinzipien, modularen oder Rastersystemen der Tragwerksplanung und verfügbaren Bauteilmaßen. Heute beziehen sich Konzepte der angenehm gegliederten Fassade weniger auf die Anwendung starrer Proportionsregeln als vielmehr auf ein Herantasten an Dimensionen, Kompositionen verschiedener Elemente und Beziehungen dieser untereinander.<sup>404</sup> Dabei ist zu berücksichtigen, dass die vielen unterschiedlichen Bauteile, aus denen Bauwerke sich zusammensetzen, von unterschiedlichen Herstellern produziert und zeitlich versetzt eingebaut werden. Mögliche geometrische Regeln fungieren demnach als eine „Art von Grammatik“, die „den bautechnischen Gesamtzusammenhang der (gebäudebezogenen) Subsysteme Tragwerk, Außenwand, innerer Ausbau sowie Ver- und Entsorgung organisiert“.<sup>405</sup> Die Gliederung eines Gebäudes nach unterschiedlichen gestalterischen Grundprinzipien hängt unmittelbar mit verschiedenen Wirkungsweisen zusammen. Ermel zeigt beispielsweise die Ausdrucksmöglichkeiten eines Gebäudekörpers auf und geht auch auf die Frage ein, wie sich diese auf das soziale und emotionale Umfeld des Menschen auswirken.<sup>406</sup> Er betont die besondere Stellung von Schwerpunkt und Symmetrie bei der Proportionierung von Gebäuden und legt dar, wie Teilelemente sich zu Schwerpunkten verdichten und wie die Übereinstimmung der Lage dieser Schwerpunkte (im oberen bzw. unteren Bereich des Gebäudes) mit der Proportionierung des Gebäudes (aufrecht bzw. lagernd gerichtet) einen Eindruck von Homogenität erzeugt. Steht die Lage des Schwerpunktes dagegen in einem Spannungsverhältnis zur Proportionierung des Gebäudes, kann der Eindruck eines dynamischen bis spannungsvollen Verhältnisses entstehen. Eine symmetrische Proportionierung betont den ruhenden Charakter eines Hauses, ein ungleiches In-Bezug-Setzen stellt eine wahrnehmbare Spannung her.<sup>407</sup>

Einen wichtigen Einfluss auf die harmonische Erscheinung der proportionalen Gliederung eines Gebäudes hat auch die visuelle Wahrnehmung. Wie eingangs dieses Kapitels ausgeführt, ist das menschliche Empfinden von Architektur maßgeblich geprägt von den physiologischen und psychologischen Voraussetzungen der menschlichen Wahrnehmung. Persönliche Aspekte, den Betrachter betreffend, wie z. B. sein psychischer Zustand, sein Charakter, sein soziales Umfeld oder sein kultureller Hintergrund können sich auf die Wahrnehmung von Proportionen auswirken.<sup>408</sup> Bestimmte Proportionen wie z. B. der Goldene Schnitt wirken auf Menschen angenehm, weil nach dem Gesetz der guten Gestalt unvollständige Gestalten ständig verbessert werden. Zwischen der vollständigen Gestalt eines Quadrats und einem eindeutig gerichteten Balken scheint ein „goldenes“ Rechteck, genau in der Mitte liegend, eine gute Ge-

---

<sup>404</sup> Bielefeld/El Khouli 2011, S. 48-49.

<sup>405</sup> Vgl. Herzog et al. 2016, S. 47.

<sup>406</sup> Vgl. Ermel 1999, S. 5.

<sup>407</sup> Vgl. ebd., S. 84-87.

<sup>408</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 259.

stalt zu haben.<sup>409</sup> Dass angenehme Proportionen unabhängig von Stilen existieren, zeigt bspw. auch Colin Rows Untersuchungen zu den Proportionen an der Villa in Malcontenta von Andrea Palladio mit denen an der Villa in Garches von Le Corbusier, deren Grundrisse sehr ähnliche Maßverhältnisse aufweisen, obwohl sie aus völlig unterschiedlichen Epochen stammen.

Zusätzlich sind harmonische Proportionen oft auch auf harmonische Klangsequenzen gestützt.<sup>410</sup> Individuelle physiologische und psychologische Voraussetzungen haben Einfluss auf die Wahrnehmung, auch wenn es Konstanten bei harmonischen Verhältnissen gibt zwischen unterschiedlichen Menschen und Zeiten. Wichtig ist auch, dass der spezifische Eindruck von proportionaler Gliederung auch durch die Verkürzung der Perspektive beeinflusst wird. Deshalb ist der Eindruck von den physikalischen Dimensionen in der Architektur auch nur bedingt objektiv, ebenso wie die Möglichkeiten, ihn präzise zu beeinflussen.<sup>411</sup> Aspekte wie der konkrete Abstand, individuelle Lichtsituationen oder die Ausbildung des Gebäudekörpers im Verhältnis zum Boden entscheiden über eventuell verzerrte Proportionen. Auch Normungen wie das DIN-Format oder Ziegelformate beeinflussen die Sehgewohnheiten. Und nicht zuletzt wirken auch die Farbe (vgl. Abs. 3.3.3) sowie Materialität und Textur (vgl. Abs. 3.3.4) eines Gebäudes auf die Anmutung seiner Geometrie.

### 3.3.2 Maßstäblichkeit

Im Gegensatz zu Proportionstheorien, die eine mathematisch-geometrische Beziehung zwischen Teilen beschreiben, ist der Maßstab ein reiner Größenvergleich, entweder einzelner Elemente untereinander, bezogen auf eine Norm oder im Vergleich zum menschlichen Körper. Der Größenvergleich kann anhand einer konkreten Messgröße stattfinden oder ein relativer Vergleich sein. Dabei gibt es in der Architektur verschiedene Maßstabebenen, auf denen Größenvergleiche in der Gestaltung relevant sein können, vom städtebaulich-landschaftlichen Kontext, über die Gebäude-Ebene bis hin zur Ebene einzelner Bauteile.

#### Historische Entwicklung des Kriteriums

Da Gebäude in erster Linie dem Menschen dienen sollen, waren menschliche Maße schon immer ihre Grundlage. Dies galt für Maßeinheiten wie Zoll, Fuß, Elle und Speiche, die sich direkt auf die Maße menschlicher Glieder bezogen, ebenso wie für den menschlichen Maßstab in den Proportionstheorien (vgl. Abs. 3.3.1).<sup>412</sup> Bis zur Renaissance war, wie Flusser formuliert, Maßstäblichkeit in der Architektur einfach einzuordnen: „was maßlos groß war, musste angebetet oder vergöttert werden, was maßlos klein war, konnte vernachlässigt werden“<sup>413</sup>. Dahin gehend war Monumentalität immer eng mit Maßstabslosigkeit verknüpft. Im Barock dienten optische Täuschungen, die Räume bis in Unendliche verlängerten, dazu, das Überirdische darzustellen.<sup>414</sup> Obwohl das 18. Jahrhundert den Beginn der Wissenschaft von der Ästhetik

---

<sup>409</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 229.

<sup>410</sup> Vgl. ebd., S. 230.

<sup>411</sup> Vgl. Ching 1991, S. 278.

<sup>412</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 37.

<sup>413</sup> Vilém Flusser (1990): Nachgeschichten, S. 40, zitiert in: Abel/Rudolf 2018, S. 108.

<sup>414</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 234.

und von der subjektiven Wahrnehmungskraft des Menschen markiert, rückte gleichzeitig durch Rationalisierungs- und Wirtschaftlichkeitserwägungen der Bezug zu den menschlichen Maßen, z. B. durch die Einführung des metrischen Systems (das sich auf den Erdumfang bezieht), in den Hintergrund.<sup>415</sup> Die schnell fortschreitenden Möglichkeiten der Industrialisierung führten dann mit dem Kristallpalast in London 1851 zu einem vorläufigen Höhepunkt der Baukunst, der alle damaligen Maßstäbe und Sehgewohnheiten bewusst sprengte, um technischen Fortschritt und die Überlegenheit des britischen Weltreiches zu demonstrieren.<sup>416</sup> In der Moderne erreichten die Möglichkeiten der Technik schließlich eine städtebauliche Ebene, auf der der Verlust der Maßstäblichkeit besonders deutlich zum Tragen kam, obwohl z. B. mit dem Modulor bewusst auch menschliche Maße wieder in die Gebäude zurückgebracht werden sollten. Besonders deutlich ist diese Tendenz aber in der Nachkriegszeit, die eine zurückhaltende Maßstäblichkeit z. B. an Regierungsgebäuden ganz bewusst einsetzte, um Bescheidenheit und Demokratie zu symbolisieren. Und auch auf der Ebene des Städtebaus, auf deren Maßstabslosigkeit sich die Kritik an der Moderne hauptsächlich konzentrierte, zielten die Entwicklungen der Nachkriegszeit und der Postmoderne auf Orientierung an menschlichen Maßen und auf ein „*gegensätzliches Nebeneinander verschiedener Maßstäbe*“<sup>417</sup> ab.

### Mittel und Theorien

Der Maßstab als **allgemeiner Größenvergleich** betrifft den Vergleich einzelner Elemente mit anderen Objekten und Formen. Bauteile, die gegenüber anderen Elementen (z. B. Fenster untereinander) deutlich größer gestaltet sind, erhalten eine höhere Bedeutung für den Betrachter, der ‚dahinter‘ eventuell etwas Wichtigeres vermutet.<sup>418</sup> Sie treten optisch in den Vordergrund. Elemente, deren Größe aus der Erfahrung bekannt ist, geben dem Betrachtenden auch ganz allgemein einen Eindruck von der Größe und Maßstäblichkeit einer Fläche oder eines Gebäudes (vgl. Abb. 42).

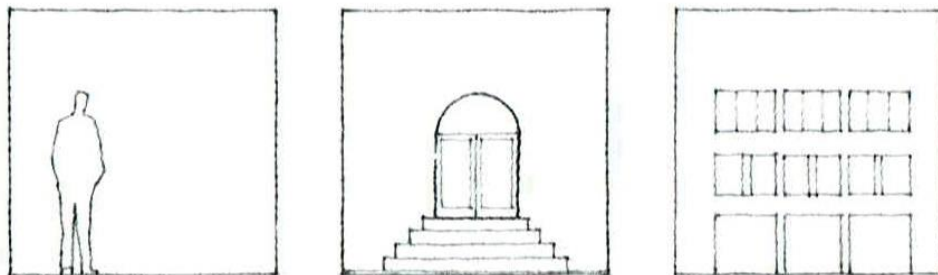


Abb. 42: Die Maßstäblichkeit der Fläche erschließt sich aus dem Vergleich mit Objekten bekannter Größe (Ching 1991, S. 86)

Der **menschliche Maßstab** als Parameter für den Vergleich zwischen den Größen einzelner Elemente eines Gebäudes bezieht sich auf die Abmessungen des menschlichen Körpers, bzw.

<sup>415</sup> Vgl. Bielefeld 2013, S. 48.

<sup>416</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 234.

<sup>417</sup> Robert Venturi (1978): *Komplexität und Widerspruch in der Architektur*, S. 100, zitiert in: Grütter 2015, S. 233.

<sup>418</sup> Vgl. Ching 1991, S. 308.

seine körperlichen Voraussetzungen und Bedürfnisse.<sup>419</sup> Zahlreiche Beobachtungen aus der Vergangenheit zeigen, wie einerseits „Baukörper vermenschlicht“, also entsprechend menschlichen Körperteilen gegliedert oder auch nach menschlichen Körperteilen benannt (wie z. B. Skelett, Haut, Augen) wurden und andererseits „menschliche Körper geometrisiert“ wurden auf der Suche nach Proportionsregeln für die Anwendung in der Architekturgestaltung.<sup>420</sup> Hieraus ergeben sich auch zahlreiche Schnittstellen zu dem Kriterium der Proportionalität wie z. B. der bereits erwähnte Modulor von Le Corbusier (vgl. Abs. 3.3.1.). Angewandt führt dies dazu, dass Dimensionen an Fassaden wie z. B. Brüstungshöhen oder Sichtfenster direkten Bezug auf ihre Nutzung nehmen.<sup>421</sup> Im Gegensatz zum allgemeinen Maßstab führt eine Affinität zum menschlichen Maßstab bzw. seine Berücksichtigung bei der Gliederung eines Gebäudes bzw. seiner Fassade dazu, dass Menschen sich darin wiedererkennen. Wird eine Fassade in ihren Dimensionen überzeichnet, kann dies hingegen dazu führen, dass Menschen sich klein und unbedeutend fühlen. Die Einsicht in diese Zusammenhänge wurde und wird durchaus gezielt eingesetzt. Wesentlich ist allerdings in der Gegenwartsarchitektur, dass überhaupt menschliche Maße berücksichtigt werden. Körpermaße und Platzbedarf sind in Deutschland in der Musterbauordnung (MBO), den Landesbauordnungen (LBO) und DIN-Normen wie der DIN 18040 berücksichtigt.<sup>422</sup> Maße des menschlichen Körpers fließen also auf vielfältige Weise, durch Nachahmung, idealisierte Verweise, die Sinne ansprechende Anspielungen oder konkrete Einladung zu Handlungen, in die Architekturgestaltung mit ein.<sup>423</sup>

Auch ein vorgegebenes **Raster- oder Modulmaß** kann als Grundmaß eine spezifische Maßstäblichkeit vorgeben, indem es alle Abmessungen von Bauteilen und Elementen einer architektonischen Komposition reguliert.<sup>424</sup> Die Modulordnung im Bauwesen (DIN 18000) kann die Grundlage dafür sein, Koordinationssysteme als Hilfsmittel für die Planung anzulegen, um objektspezifische, übergreifende, geometrische Festlegungen zu treffen.<sup>425</sup> Außerdem ermöglicht die Wiederholung des Modulmaßes am Gebäude eine wirtschaftliche Abwicklung bei Vorfertigung und Baustellenlogistik.<sup>426</sup>

**Normbauteile bzw. Maße nach (DIN-) Normen**, wie z. B. bei Maßziegeln, sowie Baunormzahlen und Baurichtmaße sind in Deutschland in der DIN 4172 (Maßordnung im Hochbau) festgeschrieben und können ebenfalls als maßstabsgebende Elemente fungieren.<sup>427</sup> Aber auch Fenster oder Türen, spezifische Material- bzw. Konstruktionsarten sowie die Dimensionierung einzelner Bauteil-Elemente ermöglichen Rückschlüsse auf die Maßstäblichkeit eines Bauwerks (vgl. Abb. 43). Insbesondere die Fugenteilung, z. B. von Ziegeln, Dachdeckungsmaterialien, Fassadenplatten oder bei Pfosten-Riegel-Fassaden hat großen Einfluss auf die wahrgenommene Maßstäblichkeit einer Fassade.

---

<sup>419</sup> Vgl. Ching 1996, S. 110.

<sup>420</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 70-71.

<sup>421</sup> Vgl. Bielefeld/El Khouli 2011, S. 48.

<sup>422</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 39-40.

<sup>423</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 74.

<sup>424</sup> Vgl. Ching 1996, S. 110.

<sup>425</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 46.

<sup>426</sup> Vgl. Herrmann et al. 2015, S. 35.

<sup>427</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 45.

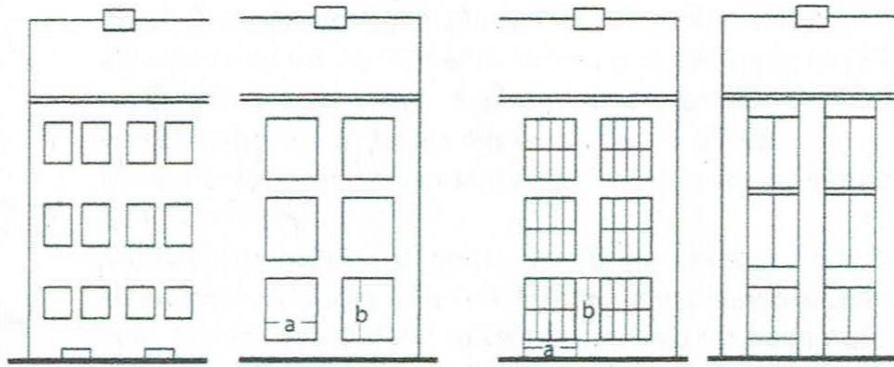


Abb. 43: Unterschiedlich große Fassadenelemente, wie z. B. Fenster, die eine unterschiedliche Maßstäblichkeit an der Fassade erzeugen (Neufert/Kister 2012, S. 47)

### Wirkungsweise und Relevanz

Maßstäblichkeit ist nicht nur wichtig im Zusammenhang mit der Wirkung eines ganzen Gebäudes in seinem Umfeld, sondern auch zur Beurteilung einzelner seiner Räume oder einzelner Elemente seiner Fassade. Sie ist grundlegend für Orientierung, für das Gefühl von Sicherheit und das soziale Funktionieren von Räumen. Der Mensch schätzt den Maßstab eines Baukörpers im Vergleich zu anderen Baukörpern oder anhand von Gestaltungselementen wie Fenstern oder Türen. Und auch die Größe einer Form im Verhältnis zu ihm selbst hat einen entscheidenden Einfluss auf ihre Wirkung, die von Schutz und Geborgenheit bis hin zu Überwältigung reichen kann.<sup>428</sup> Die Höhenausdehnung hat dabei für den Menschen immer ein höheres Gewicht als die anderen Dimensionen, insbesondere für Qualitäten wie Schutz und Intimität.<sup>429</sup> Dies hängt auch davon ab, ob z. B. die Höhe einer Decke im Ruhebild erkannt werden kann oder ob das Auge sie ertasten muss (vgl. Abs. 3.1.1). Zudem ist das Empfinden von Maßstäblichkeit immer auch geprägt von den physiologischen und psychologischen Voraussetzungen der menschlichen Wahrnehmung und wird auch durch kulturelle Faktoren beeinflusst.<sup>430</sup> Bestimmte Raster, Klein- oder Großteiligkeiten an Gebäuden, wie z. B. bei Dach- eindeckungsmaterialien, sind bekannt aus der jeweiligen kulturellen Vorprägung und machen Gebäude für den Menschen maßstäblich. Auch die Frage des Betrachtungsstandpunktes ist entscheidend, denn manche Probleme sind nicht auf allen Maßstabsebenen relevant, sondern abhängig von ihrer Sichtbarkeit bzw. Lesbarkeit aus verschiedenen Entfernungen. Trotzdem können Detaillösungen bis in einen großen Maßstab hinein Auswirkungen haben. Auch das Vorhandensein verschiedener Maßstäbe an einem Gebäude (also von Elementen, die verschiedenen Wahrnehmungsebenen zuzuordnen sind, bis hin zu Details und Dekorationen, die nur aus der Nähe erkennbar sind) ermöglicht die richtige, d. h. die intendierte Wahrnehmung aus verschiedenen Entfernungen.<sup>431</sup>

Ein Beispiel für ein betont zurückhaltendes Gebäude in Bezug auf seine Maßstäblichkeit ist der Bonner Kanzlerbungalow von Sep Ruf. Eingeschossig, mit angenehmen Proportionen und

<sup>428</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 232.

<sup>429</sup> Vgl. Ching 1991, S. 311.

<sup>430</sup> Vgl. ebd., S. 278.

<sup>431</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 233.

Ziegeln und Glas als dominierenden Materialien weist er eine „zurückhaltende Maßstäblichkeit“ auf (vgl. Abb. 44). Denn „nach der NS-Zeit sollte die Kanzlerresidenz betont bescheiden, transparent und demokratisch wirken“<sup>432</sup>.



Abb. 44: Der Kanzlerbungalow in Bonn als Beispiel zurückhaltender Maßstäblichkeit (picture-alliance)

Im Vergleich dazu hätte die „große Volkshalle“ der nationalsozialistischen Planungen für die „Welthauptstadt Germania“ jeden Maßstab gesprengt, eine „architektonische Machtdemonstration bis zum Größenwahn“<sup>433</sup> (vgl. Abb. 45). Doch auch Beispiele wie die Pyramiden von Gizeh sprengen jeden menschlichen Maßstab. Zudem macht auch ihre abstrakte Form ihre Größe schwer abschätzbar und die nach oben zusammenlaufenden Linien verstärken diese Wirkung.<sup>434</sup>

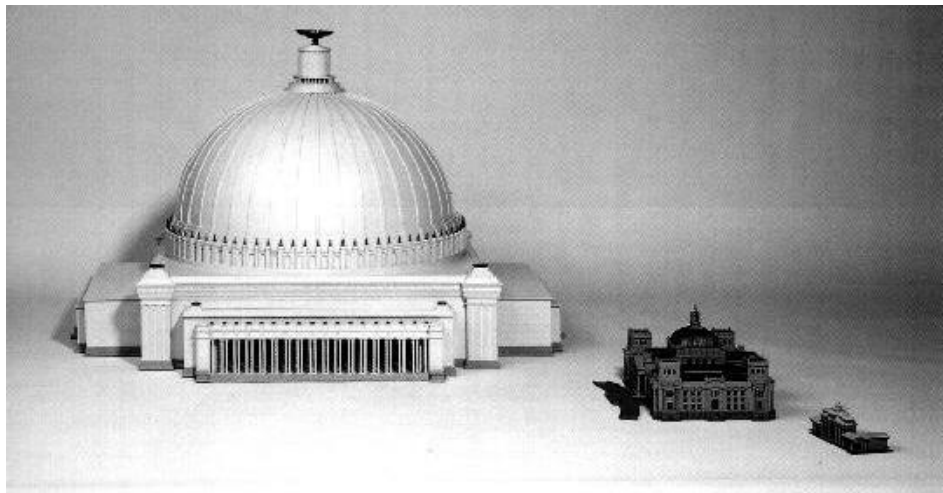


Abb. 45: Völlige Maßstabslosigkeit der „großen Volkshalle“ der Germania-Planungen im Vergleich zum Reichstagsgebäude (Unbekannt)

<sup>432</sup> Sauter et al. 2011, S. 34.

<sup>433</sup> Ebd., S. 39.

<sup>434</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 233.



Maßstäblichkeit und Maßstabslosigkeit können also auf verschiedenen Ebenen gezielt eingesetzt werden. Die absolute Größe eines Gebäudes im Vergleich zu seiner Umgebung ist hierfür entscheidend ebenso wie die seiner einzelnen Elemente. Auch durch Gliederung, Farbe oder Material kann die Maßstäblichkeit eines Gebäudes inszeniert werden. Bei gleichem Volumen kann es durch unterschiedliche Wahl in Bezug auf Proportionierung, Farbe, Material oder Ornamentik völlig unterschiedlich erscheinen bis hin zur Maßstabslosigkeit.

### 3.3.3 Farbigkeit

Die Farbgestaltung eines Gebäudes ist ein wichtiges Kriterium für seine gestalterische Qualität. Dabei geht es sowohl um Farbe als Gestaltungsmittel und darum, wie mit ihr die äußere Erscheinung beeinflusst werden kann, als auch um die harmonische Kombination von Farben.

#### Historische Entwicklung des Kriteriums

Farbe war in der Geschichte der Architektur immer eng geknüpft an Materialien, denn viele Jahrtausende lang hing sie direkt ab von deren Verfügbarkeit und der Farbigkeit, die sie natürlicherweise hatten oder durch Verwitterung erhielten. Später kam dann die Möglichkeit auf, zu verputzen und anzustreichen und Farbe bewusst einzusetzen, um Gebäude hervorzuheben gegenüber ihrer Umgebung oder auch, im Gegenteil, um sie zu verbergen. Doch die Frage nach bewusster Farbgestaltung, technischen Möglichkeiten der Farbgestaltung und theoretische Überlegungen zu Farbharmonien durchzieht die Architekturtheorie nicht erst seit dem Polychromie-Streit (vgl. Abs. 3.2.6). Heute geht man davon aus, dass in der Antike insbesondere kleinere Flächen zumindest teilbemalt waren.<sup>435</sup> Durch vorhandene Materialien, Anstriche, Mosaik und Putze drückten die Menschen an ihren Gebäuden ihre gesellschaftliche Stellung aus. Im Mittelalter führte die neue Bedeutung von Licht, das Gott selbst verkörperte, dazu, dass z. B. auch strahlende Farben als schön galten, weil sie den Lichtcharakter besonders zur Geltung brachten. Die Schönheit der Farbe galt, im Gegensatz zur Proportions-Schönheit, als einfach, unmittelbar und weniger kompliziert zu erschließen.<sup>436</sup> Auch gotische Kathedralen waren teilweise bemalt; dabei wurden die Gesetze der Farben der Natur genau beobachtet und auf Gebäude übertragen.<sup>437</sup> Als erste Überlieferungen zur theoretischen Farbenlehre gelten Leonardo da Vincis Aufzeichnungen um 1500.<sup>438</sup> Aus dem Farbablauf des Regenbogens leitete er erste Harmonieregeln ab. Trotz der in der Renaissance häufigen Verwendung von Natursteinen und Putzen, die damals zu einer eher zurückhaltenden Farbigkeit von Gebäuden führte, kann auch von einer Vorliebe zum „Bunt-Unbunt“-Kontrast gesprochen werden, z. B. zwischen Flächen oder Gefachen und Umrandungen im Farbbereich von Gelb-, Braun- und Rottönen. Im Barock spielte die Farbgestaltung in der Architektur insbesondere in Bezug auf die Illusion von unendlichem Raum eine wichtige Rolle. Helle, dekorative Wandelemente wurden vor meist gelbe, hellblaue oder rote Putzflächen gesetzt, oder dunkle Schmuckelemente wie Fenstereinfassungen vor weiße Putzflächen, damit sie deutlich plastisch her-

---

<sup>435</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 330.

<sup>436</sup> Vgl. Haas-Arndt 2000, S. 13-14.

<sup>437</sup> Vgl. ebd., S. 14.

<sup>438</sup> Vgl. Küppers 2000, S. 145.

vorträten. Da man im 18. Jahrhundert von einer eher „farblosen“ Antike ausging, wiesen Gebäude des Klassizismus dementsprechend ein weitgehend dezentes Erscheinungsbild auf, waren materialsichtig in Naturstein, steinfarbig gestrichen oder in kühlen, hellen und gebrochenen Tönen gehalten.<sup>439</sup> Um 1800 lieferte Goethe entscheidende weitere Erkenntnisse, indem er so gut wie alles Wissen zu Farbharmonien aus dem Farbkreis ableitete, während Runge zu derselben Zeit bereits im dreidimensionalen Raum experimentierte. Auf Goethe geht wohl auch die Idee zurück, harmonische Gegenfarben anhand einer Kompassnadel im Kreis auszuweisen.<sup>440</sup> Adams führte dann die Ansätze Goethes und Runges 1862 zusammen und erstellte ein vereinfachtes Ordnungssystem, in dem auch Verweißlichungs- und Verschwärzlichungskreise berücksichtigt sind. Mit Munsell und Ostwald rückten die ästhetischen Begriffe Farbton, Sättigung und Helligkeit in den Mittelpunkt, indem sie in die Definition harmonischer Farbkombinationen miteinbezogen wurden. Auf der Basis des von Munsell 1898 entwickelten Systems zur Spezifizierung von Farben anhand von drei Attributen, definierte Arnheim dann die bis heute gültigen drei Komponenten der Farbwahrnehmung: Farbton, Helligkeit, Sättigung.<sup>441</sup> In der Moderne dagegen sollte die Architektur in erster Linie von allem Unnützen befreit sein, und dazu wurde auch Farbe gerechnet.<sup>442</sup> Vielmehr sollte „das konkrete Material als [...] malerisches Element verwendet“ werden.<sup>443</sup> Bruno Taut allerdings rief schon 1919 zum Einsatz von Farbe als eines wichtigen Gestaltungsmittels beim Bauen auf, zum Zweck der optischen Korrektur, der Gliederung oder um die Weiträumigkeit von Siedlungen zu beleben.<sup>444</sup> In der Nachkriegszeit wurden dann vorwiegend helle und pastellige Farben verwendet, mit denen die Gestaltungsziele von Transparenz und Leichtigkeit unterstrichen werden sollten und die bis zur Spätmoderne immer dunkler wurden und sich in Richtung orange, braun gelb und grün verschoben. Anfangs eher vereinzelt auftretende Farbakzente entwickeln sich bis zur Postmoderne zu kräftigen und grellen Farben ohne Tabus. Türkis, pink und andere Comicfarben unterstrichen den Popart-Charakter und die eklektische Zeichenmischung des postmodernen Klassizismus, während zugleich regionalistische Ansätze auf traditionelle Baustoffe zurückgriffen. In der zeitgenössischen Architektur ist Farbe ein wesentliches Ausdrucksmittel annähernd aller Strömungen. Einen vorläufigen Höhepunkt der Entwicklung farbiger Fassaden beschreiben gegenwärtig Medienfassaden wie z. B. am New Yorker Times Square, die ihre Farben und Bildinformationen ständig wechseln und Fassaden auf völlig neue, intensive und flexible Art verändern. Während Faszination und Attraktionswert dabei steigen und völlig neue kulturelle Bezüge geschaffen werden, treten die Bedeutung der Fassade selbst und des Gebäudeinhalts in den Hintergrund.<sup>445</sup> Grundsätzlich ist ein Farbkonzept in der aktuellen Architekturgestaltung aber, und zwar unabhängig davon, ob Farbe in Form ornamentaler Muster

---

<sup>439</sup> Vgl. Baunetz Wissen 2021.

<sup>440</sup> Vgl. Küppers 2000, S. 232.

<sup>441</sup> Vgl. Arnheim 1978, S. 343, in: Grütter 2015, S. 326.

<sup>442</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 331.

<sup>443</sup> Naum Gabo/Antoine Pevsner (1920): Grundprinzipien des Konstruktivismus, S. 53, in: Ulrich Conrads (1981) Programme und Manifeste zur Architektur des 20. Jahrhunderts, zitiert in: Grütter 2015, S. 331.

<sup>444</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 272.

<sup>445</sup> Vgl. Herzog et al. 2016, S. 13.

verwendet wird, sinnliche Erfahrbarkeit ermöglichen soll oder skulpturale Formen unterstreicht, ein fester Bestandteil der Gestaltung.

### Mittel und Theorien

Theorien harmonischer Farbgestaltung betrachten Farbe als Gestaltungsmittel und die Grundsätze, nach denen man einem Gebäude Farbe verleihen kann, unter Berücksichtigung seiner Form, seiner Materialien und seines Kontextes aber auch Aspekte von Farbkombinationen am gesamten Gebäude. Dabei hat jedes Konzept des abgestimmten Farbeinsatzes an Gebäuden verschiedene optische, sensuell-haptische und assoziative Ebenen.<sup>446</sup>

Insbesondere dem **visuellen Farbkonzept** kommt eine große Bedeutung zu. Es beruht im Wesentlichen auf den Beziehungen von Farbtönen untereinander auf den drei nach Arnheim definierten Ebenen der optischen Farbwahrnehmung: Farbton (Kalt-Warm-Kontrast), Helligkeit (Hell-Dunkel-Kontrast) und Sättigung (Bunt-Unbunt-Kontrast). Es gibt verschiedene Ansätze, Beziehungen zwischen Farbtönen zu beschreiben bzw. zu objektivieren, z. B. indem diese in Ordnungssysteme eingebettet werden wie Farbkreise, -würfel, -rhombeder, -kugeln, -sterne oder andere geometrische Systeme, um dann ihre Beziehungen innerhalb des jeweiligen Ordnungssystems als Kontrast beschreiben zu können. Bestimmte Farbkombinationen erscheinen dabei ausgewogener und harmonischer als andere oder auch als „Farbarrangement, das als integriertes Ganzes wirkt“<sup>447</sup>. Im Ordnungssystem des Farbkreises entstehen Farbharmonien z. B. bei zwei gegenüberliegenden Farben als harmonischem Zweiklang; gleichseitige oder gleichschenklige Dreiecke bilden einen harmonischen Dreiklang und Quadrate oder Rechtecke einen harmonischen Vierklang (vgl. Abb. 46).

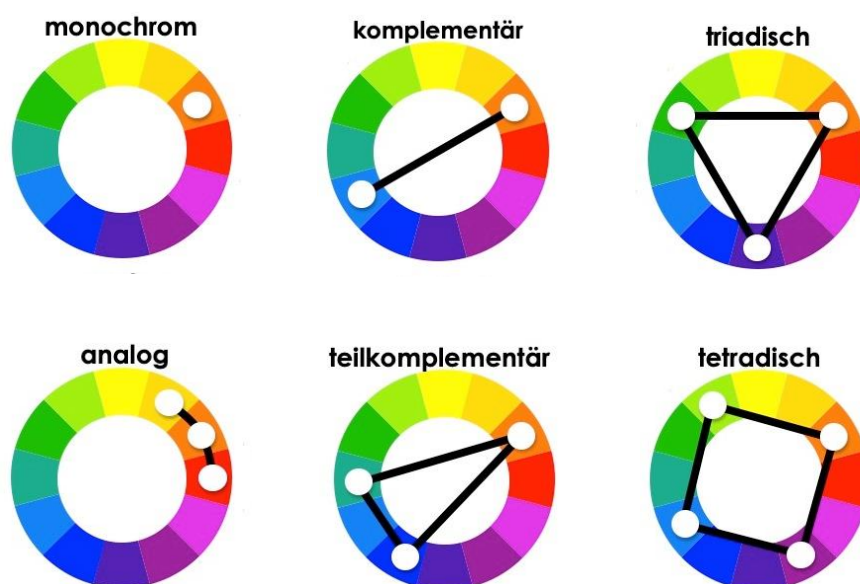


Abb. 46: Die sechs wichtigsten Harmonien analoger und komplementärer Farbklänge (Wikipedia)

Monochrome und analoge Zusammenstellungen wirken einfach, gleichmäßig und unauffällig und können auch Elemente sonst unterschiedlicher Charakteristika optisch zusammenbinden.

<sup>446</sup> Vgl. Buether 2014, S. 43-49.

<sup>447</sup> Ching 1996, S. 68.

Farbe kann so auch neutral eingesetzt werden in Bezug auf ihre Umgebung. Harmonische Zwei- oder Vielklänge entstehen in (teil-)komplementären, triadischen oder tetradischen Zusammenstellungen. Auf diese Weise kommen deutliche Kontraste zustande, die insbesondere bei tetradischen Kombinationen sehr kraftvoll und auffällig erscheinen können. Die Farbschemata der Triade wirken dagegen oftmals etwas abgeschwächer und weicher.

Das **sensuell-haptische Farbkonzept** bezieht sich vorrangig darauf, mit Farben körperliche Gefühle hervorrufen. Das Wissen um die Wirkung von Farben auf die Nahsinne von Menschen ermöglicht, Empathie zu erzeugen und persönliche Nachvollziehbarkeit. In der Erwartung körperlicher Erfahrungen wie Fühlen, Riechen oder Schmecken, werden Farben als rau oder glatt, frisch oder muffig, scharf oder süß etc. wahrgenommen (vgl. Abb. 47). Dies kann gezielt eingesetzt werden, um Orientierung zu bieten aber auch um eine emotionale Bindung an einen Ort zu erzeugen. Die sensuell-haptische Wirkung von Farben sollte aber immer überprüft werden.<sup>448</sup>

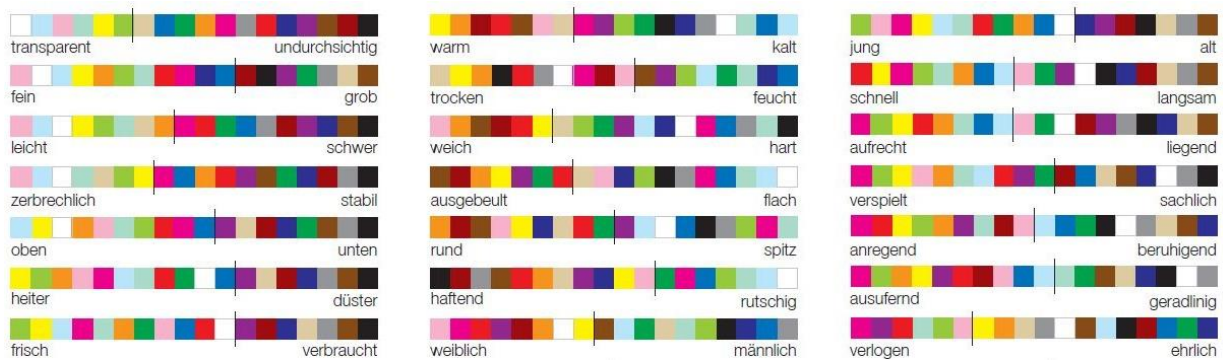


Abb. 47: Sensuell-haptische Assoziationen, übertragen in ein Farbsystem für Farbhelligkeit (links), Farbtemperatur (mittig) und -sättigung (rechts) (Buether 2014, S. 46)

Das **assoziative Farbkonzept** zielt auf anekdotisch-ikonische Inhalte, die der Einsatz von Farbe transportieren kann.<sup>449</sup> Farbe kann bewusst als Zitat oder Metapher eingesetzt werden für Inhalte aus Natur oder Kultur (vgl. Abb. 48). Dafür können Farbszenarien verwendet werden, die an bestimmte Landschaften wie Urwälder oder Meere erinnern, oder aber auch an bekannte Kunstwerke oder andere kulturelle oder technische Errungenschaften. Diese werden mehr oder weniger abstrakt in Farbkonzepte übersetzt. Natürlichere Welten zu zitieren führt eher zu „ausgeprägten Helligkeitsmodulationen, einer herabgesetzten Sättigung und eingeschränkteren Farbtonbereichen“, künstlichere Welten zu zitieren führt eher zu „hochgesättigten, leuchtenden Farben aus unterschiedlichen Farbtonbereichen, ohne Helligkeitsmodulationen und Sättigungsunterschiede.“<sup>450</sup> Je bekannter die Erinnerungen sind, die dabei angesprochen werden sollen, umso besser funktioniert der assoziative Einsatz von Farben an Gebäuden.

<sup>448</sup> Buether 2014, S. 47.

<sup>449</sup> Ebd.

<sup>450</sup> Ebd.



Abb. 48: Santa Caterina in Barcelona (2005): farblich-anekdotisch Verstärkung des Ortes durch Übersetzung von Fotos des Marktes in eine 67-farbige Pixelstruktur (Buether 2014, S. 48.)

### Wirkungsweise und Relevanz

Grundlagen der Farbwahrnehmung sind, wie in Abschnitt 3.1 bereits ausgeführt, die Beschaffenheit der Netzhaut, ihre Adaptionfähigkeit und das Grundprinzip der Farbkonstanz. Das heißt, die Farbwahrnehmung ist u. a. stark abhängig von der jeweiligen Belichtung und dem Ort, an dem sie verwendet wird. Dass Farbe auch andere Sinne des Menschen anspricht und damit Assoziationen auslösen kann, die anderen Sinnen zugeordnet sind, liegt an den vielen Verbindungen im Bereich der Verarbeitung von Reizen im Gehirn. Außerdem haben Farben ein wahrnehmungsmäßiges Gewicht, das sowohl von Farbton und Helligkeit als auch von der Sättigung beeinflusst wird. Sie lassen Bauteile schwer oder leicht wirken (vgl. Abb. 49).<sup>451</sup>

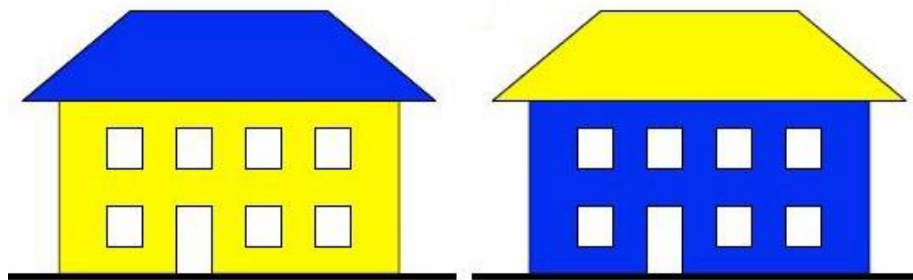


Abb. 49: Das Farbgewicht und seine Auswirkung auf das empfundene Gewicht von Bauteilen (hier dem jeweiligen Dach der Gebäude) (Grütter 2015, S. 328)

Auch die Farbtemperatur, also die Einteilung von Farben in kalte und warme Farben, beruht darauf, dass Farben direkt auf das Nervensystem des Menschen wirken und auf diese Weise die Wahrnehmung beeinflussen. So wirken kühlere Farben motivierend und aktivierend, wohingegen wärmere eher beruhigen und entspannen.<sup>452</sup> Diese Eigenschaften können auch als

<sup>451</sup> Vgl. Ching 1991, S. 34.

<sup>452</sup> Vgl. Buether 2014, S. 52-53.

Impulsivkräfte beschrieben werden, die den menschlichen Gemütszustand beeinflussen können, indem sie anregend und leistungssteigernd oder beruhigend und gesundheitsfördernd wirken (vgl. Abb. 50).<sup>453</sup>

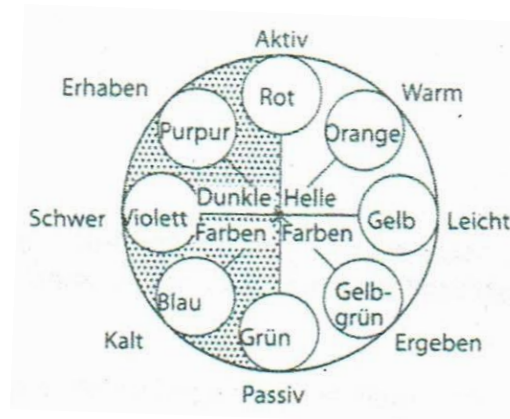


Abb. 50: Impulsivkräfte von Farben und deren Einwirkungen auf das Nervensystem des Menschen (Neufert/Kister 2012, S. 49)

Blau und Grün wirken eventuell auch deshalb entspannend, weil diese Farben Entfernung vortäuschen und die Augenmuskeln beim Blick in die Entfernung entspannt sind.<sup>454</sup> Sie wirken auf jeden anders; es gibt aber auch erforschte übereinstimmende Farbempfindungen. Zudem haben Farben auch eine physiologische Wirkung. So lassen sie im Bereich der Raumwirkung, an einzelnen Wänden eingesetzt, Räume enger, weiter, niedriger, höher und damit bedrückend oder befreiend wirken.<sup>455</sup> Farbigeit kann wissenschaftlich klar definiert werden; dennoch ist die psychologische Wirkung auf Betrachter immer unterschiedlich, abhängig von dessen Persönlichkeit, kultureller Prägung und Stimmung. Für Farbpräferenzen konnten auch altersbedingte Differenzen nachgewiesen werden.<sup>456</sup> Je nachdem, ob Farben von unten, oben oder von der Seite auf den Menschen einwirken, haben sie eine unterschiedliche Wirkung.<sup>457</sup> Außerdem hat noch der Betrachtungsabstand Einfluss auf die Wahrnehmung des Farbkonzepts und ebenso die Flächengröße.

Die Farbigeit von Gebäuden hat große Relevanz für ihre Erscheinung. Farben können Elemente im Hinblick auf die Wirkung ihrer Größe, Form oder Gliederung völlig verändern. Sie können helfen, zu abstrahieren, Formen zu betonen, Räume zu bilden und Stimmungen zu erzeugen.<sup>458</sup> Mit Farbe zu gestalten bedeutet häufig auf eine einfache Art und Weise zu markieren, zu akzentuieren und Signale zu setzen für eine leichtere Orientierung im Raum. Außerdem können Farben Materialien höher- oder minderwertig erscheinen lassen oder sie gänzlich vortäuschen. Dabei ist der Einsatz von Farben nicht nur besonders wirtschaftlich und mit einem vergleichsweise geringen Materialaufwand verbunden, sondern auch besonders ef-

<sup>453</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 49.

<sup>454</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 23.

<sup>455</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 49.

<sup>456</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 167.

<sup>457</sup> Vgl. Neufert/Kister 2012, S. 49.

<sup>458</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 169.

ektiv, um Architektur in einen bestehenden Kontext einzubinden und dabei sensibel auf die Umgebung, bestehende Räume und kulturelle Gegebenheiten zu reagieren. So schafft Farbe eine besondere Verbindung zwischen Architektur, Umgebung und Nutzer/innen.

### 3.3.4 Materialität

Ein Gebäude fasziniert nicht nur durch seine Materialien selbst, sondern auch durch die Art ihrer Verwendung und Bearbeitung.<sup>459</sup> Dabei muss mit einem Material nicht zwingend streng gemäß seiner physischen und technischen Charakteristik konstruiert werden; die Materialität betrifft vielmehr die gewünschte Materialwirkung eines Baustoffes.<sup>460</sup> Als Kriterium für gestalterische Qualität ist hier gemeint, die stofflichen und ästhetischen Qualitäten eines Baustoffes, also dessen Charakter und seine Ausdrucksfähigkeit auf das architektonische Konzept abzustimmen und eine Materialverwendung zu erreichen, die das Entwurfskonzept unterstützt.

#### Historische Entwicklung des Kriteriums

Die Geschichte der Materialästhetik in der Architektur ist gekennzeichnet von vielen Debatten mit unterschiedlichen Schwerpunkten.<sup>461</sup> Historisch war die Erscheinung von Gebäuden vor allem von den Möglichkeiten der jeweils verfügbaren Baumaterialien bestimmt. Nach antiken Vorstellungen bildete die Materie einen Gegensatz zum Geist und wurde erst von der Form belebt, was sich z. B. auch bei Vitruv in der berühmten Ableitung der Tempelform aus dem Holzbau - und nicht aus den Materialeigenschaften des Steins - zeigt.<sup>462</sup> Erst als im 19. Jahrhundert die Berücksichtigung der Bedingungen von Material und Konstruktion zum Kunstprinzip erhoben wurde, galt die Theorie Vitruvs endgültig als überholt. Im Mittelalter führte die Auflösung der tragenden Wand im Zusammenhang mit der Entwicklung von neuen Glastechnologien erstmals zu lichtdurchdrungenen Innenräumen in den Sakralbauten der Gotik. Der Versuch, Gottes Himmel auf Erden nachzuempfinden, ‚entmaterialisierte‘ regelrecht Wände und Decke der nie gekannte Höhen erreichenden Kirchenräume durch die skelettartige Tragkonstruktion und viel seitlich einfallendes Licht.<sup>463</sup> Auch gebranntes Tonmaterial erlangte große Bedeutung. Bis zur beginnenden Industrialisierung blieb Glas allerdings kostbar. Mit der zunehmenden Bedeutung von Profanbauten in der Renaissance wurden deren Fassaden unter großem Aufwand von den tragenden Mauern abgesetzt und z. B. mit Natursteinplatten verziert. Zur Verstärkung von Steingebäuden wurde hierzu bereits seit dem 17. Jahrhundert Eisen eingesetzt. Im Barock bestanden keine Bedenken gegenüber Materialimitationen, insbesondere bei Gold und Marmor. Ab der Mitte des 18. Jahrhunderts begannen dann erste Versuche zur Armierung von Beton. Die Industrialisierung ab etwa 1760 führte dann letztlich zu einer umfassenden Revolutionierung der Materialien und ihrer Bearbeitung vom Handwerklichen zum

---

<sup>459</sup> Vgl. Schittich et al. 2012, S. 60.

<sup>460</sup> Vgl. ebd., S. 16.

<sup>461</sup> Einen umfassenden Überblick über die Debatten rund um die Materialästhetik geben Rübel et al. (2005) in Materialästhetik.

<sup>462</sup> Vgl. Germann 1987, S. 16.

<sup>463</sup> Vgl. Norberg-Schulz (1975) Meaning in western architecture, S. 185, zitiert in: Grütter 2015, S. 81-82.

Maschinellen.<sup>464</sup> So entstanden nicht nur viele neue Baumaterialien, sondern völlig neue Raumauffassungen und Ausdrucksformen. Mit Stahl und Beton wurden große Spannweiten oder auch Konstruktionen wie das Flachdach oder Schalenkonstruktionen möglich. Die Entwicklung von Eisenbauteilen führte zu filigranen Industriebauten und allgemein zu solchen Bauten, die keinerlei Bezug zu ihren Vorläufern hatten, wie z. B. der Kristallpalast. Insbesondere durch Ingenieurbauwerke wie Brücken fanden hierbei zunehmend eine Abwendung vom Verkleiden und Dekorieren und eine Hinwendung zum Offenlegen der Konstruktion statt und Material und Konstruktion wurden zu wesentlichen Ausgangspunkten architektonischen Entwerfens.<sup>465</sup> Auf Semper gehen, beruhend auf seiner Theorie von der Wand als Ursprung des architektonischen Raumes und dem Verweis auf denselben Ursprung von Bekleidung und Raumschaffen, erste Ansätze zur Trennung von Hülle und Konstruktion zurück. Auch Philosophen wie Schopenhauer und Hegel beschäftigten sich mit dem Sichtbarmachen von statisch-technischen Eigenschaften von Materialien in Verbindung mit einer Ablehnung des Ornaments als zentralen Aspekt traditioneller Bauästhetik. Materialgerechtigkeit wurde sowohl im Sinne einer kunsthandwerklichen Arbeitsweise als auch als „ehrliche“ Maschinenarbeit oder Ornamentlosigkeit gefordert.<sup>466</sup> Im 20. Jahrhundert erweiterten dann neue Methoden und Materialien die formalen Möglichkeiten deutlich, während die Forderungen nach materialgerechtem Bauen in der Moderne noch lauter wurden. Doch in den Vordergrund traten auch weitere Aspekte wie das Zusammenspiel von Materialien, weitgespannte Konstruktionen und ein offenes Raumverständnis. In der Nachkriegszeit führten dann Materialien wie z. B. leichte Kunststoffe, die formgebend oder selbsttragend verwendet wurden, zu neuen Formen wie Wohnzellen oder Kapseln. Heute stehen fast überall auf der Welt alle möglichen Materialien zur Verfügung, wodurch sich nicht nur die Materialien, sondern auch die entstehenden Bauformen immer mehr angleichen.

### Mittel und Theorien

Ein Material, ob als Rohstoff oder Werkstoff, kann in Bezug auf seine Festigkeitszustände, Eigenschaften und Erscheinungsformen beschrieben werden.<sup>467</sup> Dabei wird seine Festigkeit durch die Aufbauart bestimmt. Zu fragen ist also, ob ein Material weich, biegsam oder starr ist. Eigenschaften werden vor allem durch die natürlichen Abschlussflächen einer Struktur vorgegeben, also dadurch, dass ein Material z. B. lichtreflektierend oder schallabsorbierend wirkt. Die Erscheinungsform eines Materials wiederum wird von seiner Oberfläche beeinflusst, die bestimmt, ob ein Material rau oder glatt, matt, satiniert, glänzend oder spiegelnd vorliegt.<sup>468</sup> Die Materialgerechtigkeit ist ein zentraler Faktor in der ästhetischen Architekturgestaltung, insbesondere im Sinne der Angemessenheit der Materialwirkung. Verschiedene Theorien setzen dabei unterschiedliche Schwerpunkte bzgl. der Frage was harmonische, angemessene Materialität erzeugt. Denn materialgerecht zu gestalten kann auf verschiedenen Ebenen des bewussten Einsatzes der Eigenschaften von Material stattfinden. Dabei können einzelne Ebenen

---

<sup>464</sup> Vgl. Rübél et al. 2005, S. 9.

<sup>465</sup> Vgl. Bielefeld/El Khouli 2011, S. 62.

<sup>466</sup> Vgl. Rübél et al. 2005, S. 10.

<sup>467</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 181.

<sup>468</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 188.



thematisiert werden oder mehrere gleichzeitig. Ästhetische Aspekte der Materialität eines Gebäudes betreffen beispielsweise die Form, die Massivität oder das Zusammenspiel von Textur und Farbe.<sup>469</sup> Hier soll die Thematisierung ästhetischer Eigenschaften von Materialien anhand der Mittel und Theorien von physisch-technischen, visuellen, sensuell-haptischen und assoziativen Materialkonzepten dargestellt werden.

Ein wichtiger Aspekt des bewussten Einsatzes von Material, basierend auf dem jeweiligen Entwurfskonzept, ist der **Einsatz gemäß seiner physisch-technischen Eigenschaften**. Dabei kann der gesamte Entwurf auf der Verwendung eines bestimmten Materials basieren, z. B. wenn Formen eines Gebäudes aus den Möglichkeiten der jeweils verwendeten Baumaterialien oder Konstruktionsarten heraus entwickelt werden (Abb. 51).



Abb. 51: Verschiedene Konstruktionen entwickelt aus der individuellen Logik und den spezifischen Eigenschaften des verwendeten Materials (Bielefeld/EI Khouli 2011, S. 64)

Dies steht im engen Zusammenhang mit den spezifisch sinnvollen Dimensionen von Materialien, abhängig von ihren Eigenschaften wie Druck-/Zugfestigkeit, Steifigkeit, Härte und Dauerhaftigkeit, die jeweils eine lineare, flächige oder volumetrische Verwendung als Bauteil sinnvoll macht.<sup>470</sup> Entwurf und Konstruktion werden dann aus den technischen Eigenschaften des Materials heraus entwickelt. Dies führt nicht nur zu einer statischen Optimierung, sondern auch zu einer Verbesserung der spezifischen Materialverbrauchs. Die hierdurch generierten strukturierenden Qualitäten haben aber auch einen ästhetischen Charakter.<sup>471</sup> Eine wichtige Aufgabe ist es hierbei auch, Details wie z. B. Verbindungs- oder Anschlussdetails aus der Materiallogik heraus zu gestalten. Bzgl. des Anspruchs, der Natur eines Materials gerecht zu werden schrieb Louis I. Kahn: „Wenn Sie einen Backstein fragen, was er will, so wird er Ihnen sagen: ich liebe Bögen. [...] Wenn Sie Backstein verwenden, so brauchen Sie ihn nicht, weil Sie gerade nichts anderes haben oder weil es billiger ist. Nein, Sie müssen ihn so verwenden, dass er seine absolute Pracht entfalten kann, dies ist die einzige Verwendungsart, die er verdient.“<sup>472</sup> Die Konstruktion oder Form eines Gebäudes und das verwendete Material können in einem konstruktiven System zueinanderstehen; aber auch ein Material bis an seine Grenzen

<sup>469</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 190-191.

<sup>470</sup> Vgl. Ching 1991, S. 274.

<sup>471</sup> Vgl. Bielefeld/EI Khouli 2011, S. 63.

<sup>472</sup> Kahn (1973): I love Beginnings, Vortrag an der Aspen Design Conference, in: Kahn (1975) Tokyo, S. 281, zitiert in: Grütter 2015, S. 164.

zu führen oder bewusste Kontraste zu gestalten, kann anregend und faszinierend sein.<sup>473</sup> Alle Materialien bieten innerhalb ihrer Belastbarkeit, Bearbeitungs- und Verwendungsmöglichkeiten einen großen Spielraum.<sup>474</sup> Eng verknüpft hiermit ist auch der Ansatz, vorwiegend regional verfügbare Materialien zu verwenden (vgl. allgemeingültiges Kriterium „Kontextualität“ Abs. 3.3.5) und energieeffizient zu bauen mit Materialien, die für ein bestimmtes regionales Klima sinnvoll sind.<sup>475</sup> Regional vorhandene Materialien oder auch das Fehlen bestimmter Baustoffe führen zu regional typischen Bauformen.

Eine wichtige Rolle spielt auch die harmonische Kombination von Materialien, **gemäß ihrer visuellen Eigenschaften**. Die Kombination unterschiedlicher Bauteile bietet oft die Herausforderung der Kombination unterschiedlicher Materialien. Bestimmte Materialkombinationen erscheinen ausgewogener als andere. Analog zu den Regeln harmonischer Farbkombinationen bieten Materialkombinationen die Möglichkeit monochromer Gestaltung, wodurch ein Gebäude als Einheit wirken kann, oder die Option gezielter Erzeugung von Kontrasten, z. B. durch die Kombination von spiegelnden und stumpfen Materialien, glatten und rauen, natürlichen und technischen etc., so dass Elemente als einzelne zur Geltung kommen<sup>476</sup> Im Bereich der visuellen Eigenschaften können Materialien allein oder in Kombination ihre ganz eigenen schmückenden Eigenschaften entfalten. Mit Material und seiner Oberfläche kann regelrecht dekoriert werden. Adolf Loos beispielsweise sah im edlen Material nicht nur einen Ersatz für das Ornament, er sah es als diesem weit überlegen an.<sup>477</sup> Auch der Barcelona-Pavillon Mies van der Rohes bezieht seine Qualität aus der Ästhetik des Materials. Zeitgenössische Beispiele der Zelebrierung des Materials können z. B. bei Zumthor, Herzog & de Meuron und Tadao Ando gefunden werden.

Auf der **sensuell-haptischen Ebene** eines bewussten Materialeinsatzes können die sinnlichen Eigenschaften von Material differenziert einbezogen werden. Die Wirkung von Materialien spricht nicht nur den menschlichen Sehsinn an: Ähnlich wie Farben können diese zart oder rau, weich oder hart, kühl oder warm erscheinen.

Viele Baustoffe haben einen bestimmten semantischen Charakter, d. h. sie versinnbildlichen bestimmte Eigenschaften. Ein wichtiger Punkt ist also auch, Material **entsprechend gängigen Assoziationen** so auszuwählen, dass es eine Entwurfsaussage unterstützt. Viele Materialien sind mit symbolischen Inhalten assoziiert, die aber in unterschiedlichen Kulturen erheblich divergieren können. So können sie besondere Vergänglichkeit oder, im Gegenteil, Dauerhaftigkeit evozieren. Glasfassaden eignen sich z. B. für Gebäude mit repräsentativem Anspruch, sind ein zeitgemäßer Baustoff, leicht, transparent und technisch.<sup>478</sup> Glas kann gestalterisch entmaterialisieren, leicht machen und schweben lassen, während irdene Materialien eher sub-

---

<sup>473</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 193.

<sup>474</sup> Einen umfassenden Überblick über materialspezifische Konstruktionen im Bereich der Fassade gibt der Fassadenatlas: Herzog et al. (2016): Fassadenatlas, Teil B Materialspezifische Konstruktionen, S. 62-235.

<sup>475</sup> Vgl. Bielefeld/El Khouli 2011, S. 63.

<sup>476</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 165.

<sup>477</sup> Vgl. Loos (1982/1931) Trotzdem, S. 134, zitiert in: Grütter 2015, S. 165.

<sup>478</sup> Vgl. Hestermann/Rongen 2015, S. 329.

traktive Baukörperformulierungen stützen. Die Nationalsozialisten wählten beispielsweise bewusst „ewige“ Materialien wie Granit.<sup>479</sup> Mit Baumaterialien können also spezifische geistige Aussagen getroffen werden.

### Wirkungsweise und Relevanz

Materialität ist immer mehr als die sichtbare Materialität, sie ist ähnlich wie Farbwahrnehmung stark beeinflusst von Emotionen. Mit demselben Begriff „fühlen“ beschreiben Menschen, „was sie fühlen“, im Sinne des direkten Anfassens, und „wie sie sich fühlen“ im Sinne der emotionalen Gestimmtheit. Auch die haptischen Eigenschaften von Materialien wecken emotionale Assoziationen. Selbst wenn sie nicht in Reichweite liegen, können Menschen ihre Haptik nachempfinden in einer Art „Fühlen durch die Augen“.<sup>480</sup> Außerdem werden Materialeigenschaften auch über den Hör- und selbst über den Geschmacksinn erfasst, z. B. über die Art des Widerstands in einem Raum oder indem Materialien Geschmacksassoziationen hervorrufen.<sup>481</sup> Je mehr Sinne angesprochen werden, desto eher entwickelt sich eine schlüssige Gesamterfahrung.<sup>482</sup> Aus der Perspektive der Architekturpsychologie kann aber auch aufgezeigt werden, wie Erfahrungen und Wissen die Wahrnehmung von Baumaterialien und Gebäuden beeinflussen.<sup>483</sup> Die subjektive Bewertung von Sichtbeton zeigt z. B., dass Expert/innen diesen deutlich positiver einschätzen als Laien (vgl. Abb. 52).

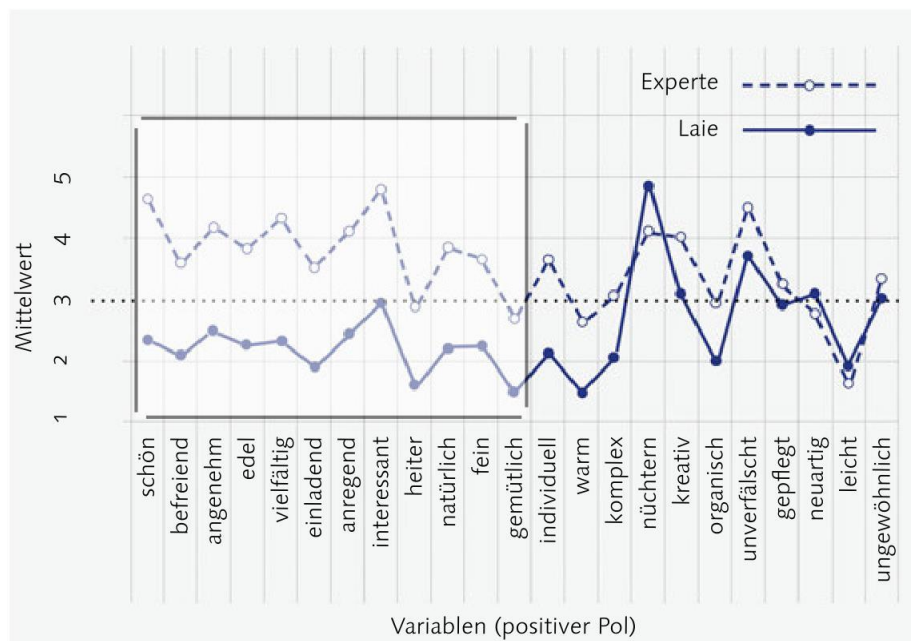


Abb. 52: Unterschiedliche Beurteilung von Sichtbeton durch Laien und Expert/innen (Abel/Rudolf 2018, S. 156)

Wie gezeigt, wirken die Eigenschaften von Materialien auf verschiedenen Ebenen. Dies hat großen Einfluss auf die Erscheinung von Gebäuden. Die spezifischen ästhetischen und stoff-

<sup>479</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 39.

<sup>480</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 36.

<sup>481</sup> Vgl. ebd., S. 38.

<sup>482</sup> Vgl. Hegger et al. 2014, S. 16.

<sup>483</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 153-175.

lichen Qualitäten von Materialien können, wenn sie angemessen eingesetzt werden, eine Entwurfsaussage unterstützen oder erst ermöglichen. Materialien, ihre Oberflächen oder Musterrungen bestimmen das optische Gewicht einer Gebäudeform und die Erscheinung ihrer Flächen. So kann Glas entmaterialisieren, irdene Materialien unterstützen subtraktive Formen, Transparentes kann die Hülle abgelöst wirken lassen etc.<sup>484</sup> Die gleiche Form kann in unterschiedlichem Material völlig anders wirken. Oberflächenmusterungen oder auch Schattwürfe beeinflussen die Kontinuität einer Fläche oder die Erscheinung einer ganzen Form.<sup>485</sup> Regionale Baumaterialien fördern regionale Identität.<sup>486</sup> Auch die ästhetische Alterung von Materialien wird häufig hoch bewertet.<sup>487</sup> Die Gebäudehülle ist exponiert gegenüber Bewitterung und die Alterung ihrer Materialien verändert ihr Erscheinungsbild. Von guter Qualität kann dann die Rede sein, wenn Alterung auf akzeptable Weise stattfindet (Patinierung). Dies trifft häufiger auf natürliche Materialien zu, die darüber hinaus langsamer altern und, verbreiteter Empfindung nach, „in Würde“.<sup>488</sup> „Die Qualitäten der Außenoberflächen [haben eine] Bildwirkung [...] hinsichtlich grafischer Merkmale, Strukturen, Farbgebungen, Gravuren und Reliefs, Mischungen von Informationen aus Schrift, Bild und Materialwirkung.“<sup>489</sup> Dabei tun sich sowohl Architekten als auch Bauherren bzgl. der Akzeptanz neuer Materialien im Gegensatz zu anderen Industrien oft schwer.<sup>490</sup>

### 3.3.5 Kontextualität

Die Kontextualität eines Gebäudes als Kriterium für gute und stimmige Architektur beschreibt dessen Bezug zur Umgebung bzw. seine Integration in die Umgebung. Diese Bezugnahme kann auch als „Dialog mit dem Standort“<sup>491</sup> oder als „Verantwortung gegenüber dem Standort“<sup>492</sup> bezeichnet werden.

#### Historische Entwicklung des Kriteriums

Im Laufe der Geschichte der Architekturtheorie war der Ortsbezug nicht immer und überall gleich wichtig. Schon immer stand ein Gebäude in Verbindung mit dem Ort, an dem es errichtet wurde, doch gab es in früheren Zeiten kaum Möglichkeiten, die Gegebenheiten des Ortes wie z. B. den Baugrund zu verändern. Anpassungen an den Ort bestanden in der Regel darin, die Anordnung der Räume auf die Himmelsrichtungen abzustimmen, die Nähe zu Wasserquellen und Verkehrswegen zu suchen, Durchlüftung zu ermöglichen und dabei starken Winden auszuweichen. Auf diese Dinge weist schon Vitruv hin. Alberti war dann, indem er den Begriff „Regio“ zum ersten seiner 6 Grundbegriffe der Architektur macht, der erste, der einen genaueren Blick auf die Aufgabe lenkte, Architektur mit einem konkreten Ort zu verknüpfen. Anhand

---

<sup>484</sup> Vgl. Bielefeld/El Khouli 2011, S. 67.

<sup>485</sup> Vgl. Ching 1991, S. 89.

<sup>486</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 74.

<sup>487</sup> Vgl. Herzog et al. 2016, S. 13-14.

<sup>488</sup> Abel/Rudolf 2018, S. 74.

<sup>489</sup> Herzog et al. 2016, S. 11.

<sup>490</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 75.

<sup>491</sup> Buchert/Kienbaum 2013, S. 41.

<sup>492</sup> Agkathidis 2015, S. 12.

der theoretischen Schriften des 17. und 18. Jahrhunderts zeigt sich, dass Reflexionen zum Ortsbezug in Europa eine deutlich untergeordnete Rolle spielten und vielmehr Idealvorstellungen einer universell verständlichen, herrschaftlichen Architektur vollkommener Regelmäßigkeit und Symmetrie diskutiert wurden, deren Umsetzung jedoch letztlich abhängig war von den nötigen räumlichen und finanziellen Ressourcen.<sup>493</sup> Im 19. Jahrhundert führten die englische Gartenbewegung und die Hinwendung zu Gotik und Romantik zu einem wahrnehmungsbezogenen und empfindsamen Ortsverständnis, das durch die Erkenntnisse der Gestaltpsychologie in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts auch theoretische Grundlagen für eine „Einführung in den Ort“ erhielt. Gerade der fehlende Bezug zum Ort war ein gewichtiger, gegen die Architektur und den Städtebau der Moderne immer wieder erhobener Einwand. Eine intensive Reflexion hierzu begann in den 1960er Jahren, beispielsweise an der amerikanischen Cornell University, an der der Begriff des Kontextualisierens geprägt wurde.<sup>494</sup> Der Kontextualismus der Postmoderne hatte viele Formen, angefangen bei Rossis Verwendung von morphologischen und typologischen Elementen als reinen, geometrischen Formen, ungeachtet der Funktion oder des Maßstabs, über Ungers Silhouetten und morphologische Charakteristiken, vereint in einer neuen Komposition bis hin zu Botta, der einfache, häufig symmetrische Formen mit spezifischen Materialien und Bautechniken kombinierte.<sup>495</sup> Auch die theoretischen Schriften „Collage City“ von Colin Rowe und Fred Koetter oder „Genius loci: Landschaft, Lebensraum, Baukunst“ von Christian Norberg-Schulz nahmen großen Einfluss auf die Diskussionen dieser Zeit. Der Kritische Regionalismus erweiterte dann ab ca. 1980 die Konzepte um die Berücksichtigung spezifischer lokaler und regionaler Eigenheiten, die sinnliche Qualitäten generieren können. Seit dem 21. Jahrhundert ist es vor allem der Begriff „Ensemble“, der eine erneute Relevanz erhalten hat.<sup>496</sup> Insbesondere die aktuellen generativen und parametrischen Strömungen, denen häufig vorgeworfen wird, dass sie die Integration eines Gebäudes verschlechtern<sup>497</sup>, bieten dabei die Chance, spezifische Parameter der Umgebung, der Geschichte oder der klimatischen Gegebenheiten sehr direkt in den Designprozess miteinfließen zu lassen.

### Mittel und Theorien

Die allermeisten Bauwerke müssen heute in einen bestehenden räumlichen, städtischen oder landschaftlichen Kontext eingefügt werden. Dabei können Gestaltende bewusst entscheiden, wie sehr die geplanten Bauten sich in einen existierenden Kontext einordnen bzw. diesen weiterentwickeln sollen.<sup>498</sup> Wichtige Bezüge zum Ort herzustellen, wie über landschaftliche Formationen, Topografien, Bebauungsstrukturen, Materialien oder Farben, bindet ein Gebäude in dessen Umgebung ein. Zudem müssen möglicherweise vorhandene städtebauliche Vorgaben wie z. B. zu Dachform, Orientierung, Abstandsflächen, Materialien und Öffnungen berücksichtigt werden. Die Skala möglicher Reaktionen auf den jeweiligen Kontext reicht von völliger

---

<sup>493</sup> Vgl. Fischer 2014, S. 10.

<sup>494</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 43.

<sup>495</sup> Vgl. Agkathidis 2015, S. 12.

<sup>496</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 69.

<sup>497</sup> Vgl. Agkathidis 2015, S. 8, 151.

<sup>498</sup> Vgl. Herzog et al. 2016, S. 12-13.

Angleichung bis hin zur Konfrontation<sup>499</sup>, vom „Stabilisieren und Verstärken“ bis hin zum „Umwerten und Neuentwickeln“<sup>500</sup>. Alle Haltungen entlang dieser Skala vom Objekt bis zum Ensemble haben dabei das Potenzial, einen Ort zu stärken. Unter Expert/innen werden beide Extreme, sowohl völlige Angleichung als auch totale Konfrontation, häufig abgelehnt.<sup>501</sup> Die Frage, ob sich ein Gebäude eher einfügen oder von seiner Umgebung abheben sollte, hängt auch stark von seiner Funktion ab. Monumente wie Kirchen und andere Institutionen haben sich im Stadtraum traditionell von der Masse der Gebäude abgehoben; später übernahmen auch Banken, Universitäten und Bahnhöfe diese Rolle. Allgemein können aber nur wenige Gebäude objekthaft erscheinen, denn dafür bedarf es immer einer Masse an Gebäuden, die wie ein Gewebe funktionieren.<sup>502</sup> Ob die verschiedenen Ansätze kontextuellen Gestaltens als regionalistisch, kontextualistisch oder neo-vernakulär<sup>503</sup> bezeichnet werden, ist meist abhängig davon, wie stark ortstypische Morphologien gestalterisch interpretiert werden. Dabei lässt sich Kontext sehr umfassend definieren: „Kontext ist [...] nicht nur die städtebauliche Umgebung. Er ist das vielfältige räumliche, zeitliche, gesellschaftliche, ökologische und ökonomische Wirkgefüge, in dem das Gebäude existiert“<sup>504</sup> Haupteinflussgrößen sind aber die Parameter des Bauplatzes.<sup>505</sup>

**Landschaftliche und klimatische Bezüge** aufzunehmen ist eine der Ebenen, auf denen ein Gebäude wirksam mit seiner Umgebung verknüpft werden kann. Hierfür können bestehende landschaftliche Formationen, Materialien, Bautechniken, die Lage eines Grundstückes oder sein Zuschnitt, Formtypologien oder Farben der unmittelbaren Umgebung eingebunden, assoziiert oder interpretiert werden. Die Reaktion auf landschaftliche Formationen kann sich auf die Topografie eines Grundstückes beziehen oder auf weiter entfernte Formationen, an die das Gebäude anzupassen ist, z. B. in Bezug auf seine eigene Masse oder seine eigenen Bodenlevel im Inneren, wodurch es unsichtbar wird, morphologische Analogien zeigt oder sich als eine deutliche Landmarke erweist. Die Möglichkeiten, die Topografie eines Ortes entscheidend zu verändern, sind heute deutlich größer als in früheren Zeiten. Auch Blickbeziehungen sind ein wichtiger Aspekt landschaftlicher Bezüge von Architektur. Werden umgebende Materialien oder Farben aufgegriffen kann dies ebenfalls entweder eine direkte Verwendung mit dem Ziel der völligen Angleichung, eine partielle Anpassung und Ähnlichkeit in der Verwendung sein oder eine bewusste Kontrastierung in Farbe und Material. Gleiches gilt für die Verwendung von Bautechniken oder -formen der Region. Das Eingehen auf klimatische Bedingungen am Bauplatz kann sich z. B. auf die Öffnung oder Schließung des Gebäudes zur Sonne je nach Klima oder auf die Optimierung des A/V-Verhältnisses bzgl. der Besonnung der Flächen beziehen.<sup>506</sup> Einen zeitgenössischen Ansatz zeigen die Projekte von Francis Kéré, der lokale Baustoffe verwendet, ortstypische, insbesondere klimatisch sinnvolle, Bauweisen aufgreift und

---

<sup>499</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 290-310, 320-354.

<sup>500</sup> Buchert/Kienbaum 2013, S. 41.

<sup>501</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 321.

<sup>502</sup> Vgl. Meiss 1994, S. 91.

<sup>503</sup> Zum Beispiel Pierre Frey (2010): Learning from Vernacular: Towards a new vernacular architecture.

<sup>504</sup> Drexler/EI Khouli 2012, S. 32.

<sup>505</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 60-65.

<sup>506</sup> Vgl. Bielefeld/EI Khouli 2011, S. 18-19.

unter Mitwirkung lokaler Arbeitskräfte ökologische Lösungen umsetzt. Dabei formt er traditionelle Elemente gestalterisch um und ergänzt sie um adaptierte Elemente westlicher Architektur und Low-Tech-Technologien (vgl. Abb. 53).<sup>507</sup>

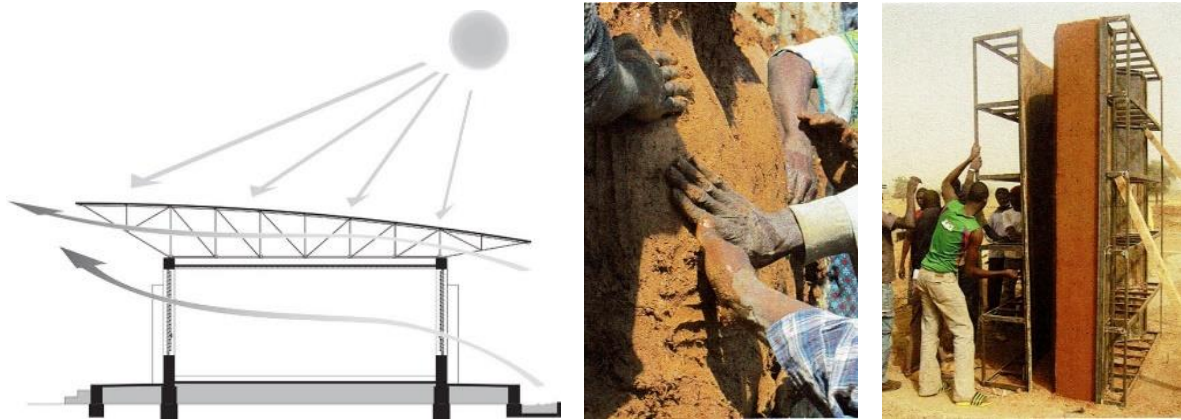


Abb. 53: Projekte von Francis Kéré: die Gestalt von Gebäuden entsteht nach klimatischen Parametern, aus verfügbaren Baustoffen und Fähigkeiten (Lepik 2016, S. 36, 183)

**Städtebauliche und bauliche Bezüge** entstehen durch ein Anknüpfen an spezifische Charakteristiken der gebauten Umgebung wie z. B. Baufluchten, Materialien, Massenverteilungen, die Erschließung von Grundstück und Gebäude, dessen Orientierung, Maßstäblichkeiten oder den Umgang mit Sichtbeziehungen.<sup>508</sup> Insbesondere Dachformen und Dachlandschaften sind sehr prägend in städtebaulichen Zusammenhängen. Auch die Berücksichtigung städtebaulicher Vorgaben ist in diesem Zusammenhang wichtig, unabhängig davon, ob sie lediglich erfüllt werden, konzeptionell eingebunden oder sogar Ausgangspunkt der Entwurfsarbeit sind. Eine starke Angleichung wird erreicht, indem ein neues Gebäude völlig in die Straßenflucht eingliedert wird oder die Materialien und Gliederungsformen der umgebenden Gebäude kopiert. Eine Einfügung entsteht aber auch bereits durch eine teilweise Aufnahme von Charakteristiken der Umgebung in Teilbereichen des Gebäudes oder durch einen interpretierenden Umgang mit ihnen. Hierfür können z. B. einzelne Elemente von Bauten der Umgebung oder deren kulturelle Funktion aufgegriffen werden, diese aber etwa in einer anderen Materialität interpretiert werden. Ein Beispiel hierfür ist das Kulturzentrum Carré d'Arts in Nîmes, das 1993 von Foster und Partner entworfen wurde (vgl. Abb. 54). Formen, die sich deutlich abgrenzen und eine „eigene Kontinuität und Regelmäßigkeit und eine Diskontinuität in Bezug auf den Kontext“<sup>509</sup> verfolgen, wie z. B. eine zylindrische Form unter rechteckigen, erzeugen eine deutliche Isolation und machen Gebäude zu Objekten.

<sup>507</sup> Vgl. Drexler/El Khouli 2012, S. 17; Lepik 2016, S. 20.

<sup>508</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 42.

<sup>509</sup> Meiss 1994, S. 92.



Abb. 54: Das Carré d'Arts in Nîmes: Anknüpfung an historische Gebäude der Umgebung durch Formensprache und Materialität (Buchert/Kienbaum 2013, S. 56-57)

Auch **gesellschaftliche und soziokulturelle Bezüge** verknüpfen ein Gebäude wirksam mit seiner Umgebung, z. B. durch das Eingehen auf die Geschichte eines Ortes, eventuell auf seine gesellschaftliche Funktion oder die Eigenarten einer lokalen Gesellschaft. Dabei können diese Bezüge sowohl geschichtliche Dimensionen haben als auch die persönlichen Erfahrungen eines einzelnen Menschen betreffen.<sup>510</sup> Soziokulturelle Bezüge der Umgebung aufzugreifen kann bedeuten, regionale Bauformen und Typologien zu verwenden, die häufig auch Funktionsweisen regionaler Gesellschaften widerspiegeln, denen so durch ihre Berücksichtigung Raum gegeben wird. Auch das Aufgreifen historischer Bezüge, etwa das Replizieren der Formen von Vorgängerbauten oder von Bauten der Nachbarschaft, bewahrt deren Geschichte und die Geschichte eines Ortes. Dabei kann der Bezug auch zu früheren oder umgebenden Nutzungen aber z. B. auch über das neue Programm erfolgen, denn Bezüge zum Ort müssen nicht rein formal oder rein materiell sein. Weitere Möglichkeiten, Aspekte des gesellschaftlichen Lebens eines Ortes in Architektur zu integrieren, sind die Zulassung gesellschaftlicher Nutzung, wie z. B. die Gewährleistung von Durchwegung, von Integration gemeinschaftlicher Einrichtungen oder einer barrierefreien Zugänglichkeit.

---

<sup>510</sup> Vgl. Bielefeld 2013, S. 31.



### Wirkungsweise und Relevanz

Zwei in ihrer Bauart identische Gebäude wirken an unterschiedlichen Standorten völlig unterschiedlich. Der Einfluss der Umgebung auf die Wahrnehmung eines Gebäudes ist also erheblich und sollte bei der Planung miteinbezogen werden.<sup>511</sup> Insbesondere die Verarbeitung von visuell Wahrgenommenem im Gehirn ist stark geprägt von persönlichen Erfahrungen und soziokulturellen Rahmenbedingungen; daher sprechen Menschen stark an auf Kontextualität, die lokale Eigenarten und Kultur widerspiegelt. Widergespiegelte Wirklichkeit kann so Vertrautheit und Geborgenheit schaffen.<sup>512</sup> Die Wirkung eines Gebäudes an seinem Ort abzuschätzen ist allerdings nicht leicht und erfordert eine intensive Beschäftigung mit dessen Kontext.

Unstrittig ist die erhebliche Relevanz von Kontextualität in der Architektur. Die „Geografie des Ortes als physische Manifestation seiner Geschichte“<sup>513</sup> kann einen großen Umfang einzelner Aspekte bieten, der als großer Pool an Anknüpfungspunkten für ein neues Projekt genutzt werden kann. Dabei bietet kontextuelles Gestalten auch ein hohes Potenzial für Nachhaltigkeit, da z. B. vernakuläre Lösungen oftmals auf optimale Weise den klimatischen Gegebenheiten einer Region entsprechen. Die Gestaltung von Fassaden, Gebäudekörpern und städtebaulichen Ensembles bietet ein großes Potenzial für Ressourceneffizienz durch die Übernahme von regional typischen Parametern wie z. B. A/V-Verhältnis, Dichte der Bauweise, Gebäudetiefen, Orientierung oder Aerodynamik.<sup>514</sup> Kontextualität bietet sich aber auch an, um Gebäude sensibel in ein bestehendes Stadtgewebe zu integrieren, Orte zurückzugewinnen und einen Dialog mit der (Stadt-)Landschaft einzugehen. Zudem spielt sie auch eine große Rolle im Zusammenhang mit der Orientierung von Menschen in ihrer Umgebung und ihrer Identifizierung mit dieser. Auch wenn die Identifikation regionaler Stereotypen schwierig sein kann, da eine eindeutige Abgrenzung oft nicht möglich ist, kann eine kontextuelle Gestaltung regionale Identität fördern. Da sie über Verknüpfungen wirkt, kann das Anschließen, Einbeziehen und Nachahmen von Vorhandenem Architektur wirksam einbinden in einen Ort und dessen Geschichte. Sie hilft zu harmonisieren, „sich einzufühlen“<sup>515</sup> und auch eventuell vorhandene unscheinbare Schönheit zu intensivieren und Heimat zu stiften.

### **3.3.6 Zeichenhaftigkeit**

Die Architektursemiotik ist ein weites Feld. Doch auch wenn die Bedeutung von Zeichen in der Architektur je nach Zeit, Architekt/in und konkreter Bauaufgabe stark variiert, hat es eine hohe Relevanz als Kriterium für gestalterische Qualität. Zeichen können an einem Gebäude sowohl auf syntaktischer Ebene verwendet werden, z. B. in rein ornamentaler Funktion, als auch auf semantischer Ebene, etwa als Formen, Piktogramme, Metaphern oder Symbole, denen sich konkrete Bedeutungen zuschreiben lassen. Grob differenzieren lassen sich dabei zwei Pole zwischen konstruktiv-struktureller Einheit von Inhalt und Form einerseits und Architektur als

---

<sup>511</sup> Vgl. Joedicke (1975): Der Einfluss der Umgebung beim Erleben von Architektur, in: Bauen und Wohnen, 9/1975, S. 372, zitiert in: Grütter 2015, S. 108.

<sup>512</sup> Vgl. Šik 2002, S. 28.

<sup>513</sup> Buchert/Kienbaum 2013, S. 43.

<sup>514</sup> Vgl. ebd., S. 117-119.

<sup>515</sup> Vgl. Valena 2014, S. 149.

Bedeutungsträger und Identitätsstifter unabhängig von ihrem Inhalt andererseits, also einer Loslösung von Hülle und Inhalt, sodass die Hülle mithilfe von Symbolen und Ikonografie ihrer Bedeutung gerecht werden kann.<sup>516</sup> Das Kriterium der Zeichenhaftigkeit weist verschiedene Schnittmengen zu anderen Kriterien auf, die ebenfalls assoziative Wirkungen entfalten, wie der Farbigkeit oder der Materialität, da auch und insbesondere über Farben und Materialien semantische oder syntaktische Zeichen gesetzt werden können.

### Historische Entwicklung des Kriteriums

Bei den alten Ägyptern repräsentierten wichtige Gebäude symbolisch den gesamten Kosmos.<sup>517</sup> Ebenso wie bei den Griechen und Römern der Antike erzählten Schmuckformen von der Bedeutung eines Gebäudes, sie hatten eine ebenso feste Aufgabe darin wie die tragenden Teile und waren Teil der Gesamtkomposition. Auch im Mittelalter waren symbolische Ausschmückungen und die bewusste Lichtästhetik von Kirchen ein wichtiger Teil des Gesamtkonzeptes, diesen den Prunk zu verleihen, der einem Haus Gottes auf Erden würdig war. Bis zur Renaissance galt diese Einheit von Form und Inhalt und Gebäude waren ‚Gesamtkunstwerke‘, in denen auch der Schmuck und die Künstler am Bau eine gleichberechtigte Rolle spielten. Es gab lediglich leichte Schwankungen im Verhältnis zwischen Statisch-Konstruktivem und Dekorativem, also in der Frage, ob Ersteres gegenüber Letzterem dominierte, wie in der Gotik, oder das Gegenteil der Fall war, wie im 13. und 14. Jahrhundert.<sup>518</sup> Erst mit der Renaissance zeigten sich erste Ansätze das Dekorative von der Konstruktion zu lösen, obwohl die Ornamentik in Barock und Rokoko und bis in den Klassizismus hinein dominierten. Auch in der französischen Revolutionsarchitektur wurden Symbole in Form von klassizistischen Elementen noch verwendet, um Auskunft über Inhalt und Funktion des jeweiligen Baus zu geben, was diese Architektur zu einer „architecture parlante“ machte. Ledoux beispielsweise verwendete die Kugel als Symbol für die Natur, Ecktürme als Symbole für die Unerbittlichkeit des Strafvollzugs etc.<sup>519</sup> (vgl. Abs. 3.2.5). Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts regte sich Widerstand gegen die Neo-Stile und den Eklektizismus. Auch Louis Sullivan und Frank Lloyd Wright wendeten sich gegen die (falsche) Verwendung von Ornamentik, setzten sie selbst aber dennoch ein, allerdings eher in einer integrierten, geometrischen bis strukturierenden Art. Am deutlichsten sprach sich Adolf Loos gegen Schmuck in jeder Form aus. 1900 bezeichnete er den Schmuck als vergeudete Arbeitskraft und forderte das Verlassen der niedrigen Kulturstufe des Verzierens und die Evolution der Kultur in das 20. Jahrhundert durch die Entfernung des Ornaments.<sup>520</sup> Diese Entwicklungen bedeuteten das Ende des Gesamtkunstwerks und den Beginn der Moderne, in der die Einheit von Inhalt und Form gelöst und die Rolle der Architektur als Bedeutungsträger und Identitätsstifter unabhängig von Inhalt und Funktion entwickelt wurde.<sup>521</sup> Insbesondere der ästhetische Wert des Materials (vgl. Abs. 3.3.4), auch in seiner symbolischen Wirkung, trat in den Vordergrund. Loos war hier ein früher Vertreter der Ideale

---

<sup>516</sup> Vgl. Bielefeld 2013, S. 34.

<sup>517</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 184.

<sup>518</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 350.

<sup>519</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 71, 141.

<sup>520</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 352.

<sup>521</sup> Vgl. Bielefeld/EI Khouli 2011, S. 34.

der Moderne, indem er für Materialschönheit und für die sichtbare Konstruktion plädierte. Zwei wichtige Faktoren der Moderne, der Überdruß gegenüber Historismus und Neo-Stilen einerseits und die Verfügbarkeit neuer Baumaterialien andererseits (vgl. Abs. 3.2.7), führten zur Ablehnung des Schmuckes und zur Trennung der Kunstgattungen, die zuvor gemeinsam und gleichberechtigt zur Schönheit der Architektur beigetragen hatten. Dies hatte zur Konsequenz, dass der Schmuck in der Moderne zum eigenständigen Element wurde, zur Kunst am Bau, und die Zeichensprache durch strenge Geometrie beschränkt wurde auf bedeutungsarme, formale Aussagen.<sup>522</sup> Gleichzeitig führte auch die futuristische Architekturtheorie über das gesamte 20. Jahrhundert immer wieder zu ästhetischen, technischen Metaphern in der Architektur.<sup>523</sup> In der Postmoderne sollte Architektur „über ihre Funktion hinaus wieder eine bildhafte, symbolische Aussage machen“.<sup>524</sup> Sie verstand sich als Gegenposition zur Kontext- und Bezugslosigkeit der Moderne und nutzte zahlreiche historische Referenzen.<sup>525</sup> Die Gebäudehülle sollte abgelöst werden, um sie als Bedeutungsträger zu stärken und mit Symbolen und Referenzen gezielt Assoziationen und Emotionen auszulösen.<sup>526</sup> Insbesondere Venturi, Izenour und Scott Brown prägten 1972 in „Learning from Las Vegas“ den Begriff des „decorated shed“, also von Gebäuden, die unabhängig von Bautyp und Programm allein durch dekorative Zeichen als Monumente in Erscheinung treten. In zeitgenössischen Theorien erlebt auch die syntaktische Verwendung von Zeichen einen neuen Bedeutungszuwachs (siehe Strömung „Ornament“ in Abs. 3.2.10).

### Mittel und Theorien

Wichtige Ausgangspunkte für die Zeichentheorie im Bereich der Architektur waren Ernst Cassirers „Semiotik des Kulturraums“<sup>527</sup>, die von Charles Morris erarbeiteten Grundlagen<sup>528</sup> und Umberto Ecos „Zeichentheorie des Raums“<sup>529</sup>.<sup>530</sup> Die Zeichentheorien von Saussure, Peirce, Goodman, Flusser und insbesondere Bense (siehe auch Abs. 3.2.8) bauten hierauf auf. Heute unterscheidet die Semiotik zwei Gruppen von Zeichen: syntaktische und semantische. Dabei kann ein Zeichen auch zu beiden Gruppen gehören. Das Beispiel des Kreises verdeutlicht anschaulich, dass dieser sowohl eine syntaktische als auch eine semantische Dimension haben kann (vgl. Abb. 55). Syntaktische Aspekte betreffen z. B. den Kreis in seiner Form, Größe, Farbe und seine Beziehungen zu anderen Zeichen. Die semantische Dimension bezieht sich auf seine Bedeutung. Ein Kreis kann syntaktisch rein dekorativ ohne Inhalt, also gewissermaßen reines Ornament sein. Er kann darüber hinaus aber auch (z. B. als zentraler Raum) Ruhe und Bewegungslosigkeit bedeuten, (als Piktogramm) Treffpunkt, (als Metapher) Ring oder Rad oder (als Symbol) Einheit und Vollkommenheit.<sup>531</sup>

---

<sup>522</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 354.

<sup>523</sup> Vgl. Lampugnani 2004, zitiert in: Sauter et al. 2011, S. 145.

<sup>524</sup> Abel/Rudolf 2018, S. 187.

<sup>525</sup> Vgl. Drexler/El Khouli 2012, S. 30.

<sup>526</sup> Vgl. Bielefeld 2013, S. 34.

<sup>527</sup> Vgl. Ernst Cassirer (1923-29): Philosophie der symbolischen Formen.

<sup>528</sup> Vgl. Charles Morris (1972): Grundlagen der Zeichentheorie.

<sup>529</sup> Vgl. Umberto Eco (1972): Einführung in die Semiotik.

<sup>530</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 51.

<sup>531</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 335.

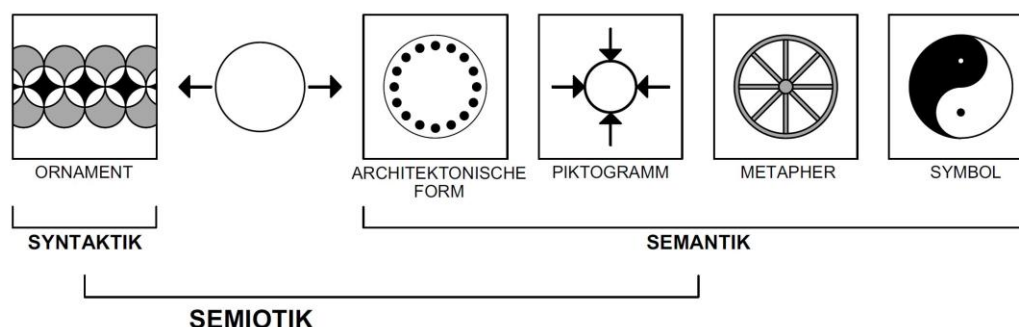


Abb. 55: Die verschiedenen Bedeutungsebenen eines Zeichens am Beispiel der Kreisform (Grütter 2015, S. 336)

Werden Formen als reines **Ornament** verwendet, so haben sie als Zeichen keinen symbolischen Gehalt. Dabei gibt es verschiedene Unterkategorien von Ornamenten, wie die Verzierung, Dekoration, Bild, Stuck etc. Schmuck kann auch eine konstruktive Funktion haben, muss er aber nicht. Einige Positionen sehen Schmuck als überflüssig an. Louis Sullivan begriff das Ornament noch als integralen Bestandteil des Ganzen und wollte damit ein Bauwerk im Detail bereichern und ausdrucksstärker machen, verwendete es aber nie aufgesetzt.<sup>532</sup> Für Adolf Loos dagegen war Ornament „Verbrechen“; insbesondere sah er es, wie erwähnt, als Verschwendung menschlicher Arbeitskraft an.<sup>533</sup> Schmuck und Ornament können durchaus aber auch ein rein psychisches Bedürfnis stillen. Heute fällt die Ablehnung des Ornaments nicht mehr ganz so dogmatisch aus und zahlreiche Architekt/innen gestalten wieder neu mit Ornamenten und den dekorativen Eigenschaften unterschiedlicher Materialien, insbesondere an der Fassade, wie z. B. Herzog und de Meuron, Hild und K oder Nouvel. Teilweise machen diese Vertreter/innen das Ornament bewusst zum Entwurfskonzept (vgl. Abs. 3.2.10).



Abb. 56: Das Bergeron Center for Engineering Excellence in Toronto mit ornamental gegliederter Fassade (links: Flickr/Empty Quarter; rechts: Lassonde)

<sup>532</sup> Vgl. Schittich et al. 2012, S. 12.

<sup>533</sup> Vgl. Adolf Loos (1982/1931): Trotzdem, S. 83, zitiert in: Grütter 2015, S. 354.

Ein anschauliches Beispiel für die syntaktische Verwendung von Zeichen in Form von Ornamenten an Gebäuden ist das 2015 fertiggestellte Bergeron Center for Engineering Excellence von ZAS Architekten in Toronto (vgl. Abb. 56). Die gewellte Fassade aus Glas- und Aluminiumpaneelen ist in zahlreiche Dreiecke aufgelöst, die nach einem komplexen Algorithmus angeordnet sind. Ziel der Architekt/innen war es, dem Gebäude ein kühnes und ikonisches Design zu verleihen und es durch das Fassadenmuster maßstabslos wie eine Wolke zu machen, die sich ständig ändert und Licht und Muster über den gesamten Campus und in das Innere reflektiert.<sup>534</sup> Teilweise lässt sich der neuerliche Bedeutungszuwachs des Ornaments in der Architektur auf ein sich veränderndes soziokulturelles Umfeld und Wahrnehmungsverhalten zurückführen, aber auch darauf, dass der Einfluss der Moderne nachlässt.<sup>535</sup>

Die Zeichenhaftigkeit von Gebäuden hat vor allem aber eine **semantische Ebene**, auf der Zeichen über ihre rein dekorative Verwendung hinaus eine Bedeutung vermitteln können. Dies kann auf verschiedenen Ebenen stattfinden, wie z. B. über die Form eines Gebäudes oder einzelner seiner Elemente oder auch durch Piktogramme, Metaphern oder Symbole.

Die symbolische Bedeutung einer Gebäudeform und die entsprechenden Diskurse hierzu sind umfangreich.<sup>536</sup> Die Formensprache einer Kultur entsteht in einer langen Entwicklung. Formen dienen dann als semantische Zeichen, um geistige Inhalte visuell anzuzeigen. „Ästhetisches Gelingen richtet sich wesentlich danach, ob das Geformte den in der Form niedergeschlagenen Inhalt zu erwecken vermag“.<sup>537</sup> Freie Formen, im Sinne von neuen, dynamischen oder experimentellen Formen, eignen sich besonders gut, um einem Bau eine Zeichenhaftigkeit zu verleihen, die ihm Alleinstellung verleiht, insbesondere wenn es um ein Museum, eine Kirche oder eine andere besondere Nutzung geht.<sup>538</sup> Besondere Formen können besondere Nutzung anzeigen, sagen aber nicht unbedingt aus, um welche Nutzung es geht. Zudem müssen Gesamtformen von Gebäuden auch als Ganzes erfasst werden können. Wenn die Form eines Gebäudes oder einzelne Formen an einem Gebäude syntaktische Zeichen setzen, haben sie als Formen bestimmte Bedeutungen. Ein rundes Gebäude kann für Ruhe oder Bewegungslosigkeit stehen, ein quadratisches für Neutralität oder Makellosigkeit und ein lineares vertikal akzentuieren, während es liegend z. B. auch verknüpfend wirken kann.<sup>539</sup> Zudem gibt es aber auch Gebäudeformen, die geometrisch stark reduziert sind, und lokal spezifische Gebäudetypen oder Gebäudeformen, die auf bestimmte Konstruktionsarten zurückgehen. Die Form eines Gebäudes bedeutet also nicht immer dasselbe für jeden Menschen und es ist kommt darauf an, ihre Bedeutung immer im Zusammenhang mit ihrem Inhalt und ihrer Umgebung zu betrachten.

---

<sup>534</sup> Vgl. Projektbeschreibung, unter: [www.zasa.com/bergeronyork/2018/1/26/bergeron-centre-for-engineering-excellence-at-york-university](http://www.zasa.com/bergeronyork/2018/1/26/bergeron-centre-for-engineering-excellence-at-york-university) [16.11.2021].

<sup>535</sup> Vgl. Schittich et al. 2012, S. 26.

<sup>536</sup> Für einen systematischen Überblick über Gebäudeformen, ihre visuellen Merkmale, architektonischen Gestaltungsmerkmale und Projektbeispiele siehe Ching 1991, S. 33-89.

<sup>537</sup> Theodor W. Adorno (1974): *Ästhetische Theorie*, S. 329, zitiert in Grütter 2015, S. 184.

<sup>538</sup> Vgl. Bielefeld 2013, S. 53.

<sup>539</sup> Vgl. Ching 1991, S. 41, 60-61.

Stärker noch als bei den symbolischen Inhalten von (Gebäude-)Formen sind für das Verständnis der Bedeutung von Piktogrammen Vorkenntnisse nötig. Ein Piktogramm vermittelt seinen Inhalt bildlich und schematisiert. Selbst explizite Zeichen können dennoch verschiedene Bedeutungen haben.<sup>540</sup> Piktogramme sind Zeichenmittel auch für nicht alphabetisierte Menschen oder ganz allgemein außerhalb eines bestimmten intellektuellen Zugangs zu Bedeutungen. Sie können auch Ornamente sein, werden in der Regel als traditionelle Informations- und Kommunikationsmittel verwendet, aber mehr als das.<sup>541</sup> Gifs, Emojis und QR-Codes können ebenfalls als Piktogramme gesehen werden, die Informationen enthalten und in der heutigen Art der Kommunikation eigene Zeichensysteme bilden. Teilweise arbeiten Architekt/innen wie BIG oder OMA stark mit Piktogrammen oder Diagrammen in der Entwurfsarbeit und in der Kommunikation von Projekten. Aber es gibt auch Piktogramme direkt an Gebäuden. Ein Beispiel für die gestalterische Verwendung von Piktogrammen im gesamten Gebäude-Innen- und Außenbereich ist das Projekt Iconophilia von 2x4 am IIT McCormick Tribune Campus Center von OMA (vgl. Abb. 57). Die Gestalter/innen verwenden unzählige an Otl Aichers Piktogramme für Olympia 1972 angelehnte Piktogramme, um dem Gebäude die vertraute Identität eines öffentlichen Gebäudes zu verleihen. Gleichzeitig wird ihre Nüchternheit durch die Verwendung im Überfluss verpixelt und in unterschiedlichsten Maßstäben und verschiedensten Interpretationen aufgebrochen, um spielerisch Verbindungen z. B. zu den studentischen Aktivitäten vor Ort, aber auch zu prägenden Personen der Campusgeschichte wie Mies van der Rohe herzustellen.<sup>542</sup>

Auch Metaphern werden als Zeichen mit symbolischer Bedeutung häufig an Gebäuden verwendet. So thematisiert beispielsweise Ungers 1976 in „City Metaphors“ Metaphern, indem er Stadtgrundrissen Motiv-Bilder gegenüberstellt, die ein gemeinsamer Begriff verbindet.<sup>543</sup> Bei Koolhaas Masterplan Yokohama (1992) wird das Programm zur Metapher,<sup>544</sup> und dem Konzept der BMW-Welt von Coop Himmelb(l)au liegt die Metapher einer Wolke zugrunde.<sup>545</sup>

Auch die Verwendung von Symbolen an Gebäuden spielt in allen Epochen eine wichtige Rolle. Sie sind Bedeutungsträger, die für einen bestimmten Inhalt stehen und deren Bedeutung und Gestalt eine Einheit bilden. Einer der bedeutendsten Beiträge zur Symbolik in der Architektur ist „Lernen von Las Vegas. Zur Ikonographie und Architektursymbolik der Geschäftsstadt“ von Venturi, Scott Brown und Izenour. Insbesondere in der Postmoderne hat die Verwendung von Symbolen an Gebäuden eine Hochzeit erlebt. Aber auch heute können sowohl Formen und Materialien als auch Lichtführungen bestimmte Inhalte symbolisieren und eine spezifische, geistige Aussage machen.

---

<sup>540</sup> Vgl. Grütter 2015, S 337.

<sup>541</sup> Vgl. Massin 2021, S. 225.

<sup>542</sup> Vgl. ebd., S.231; Projektbeschreibung, unter: [2x4.org/work/iit-mccormick-tribune-campus-center/](https://2x4.org/work/iit-mccormick-tribune-campus-center/) [17.11.2021].

<sup>543</sup> Vgl. UAA 2021.

<sup>544</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 50.

<sup>545</sup> Vgl. Sauter et al. 2011, S. 167.

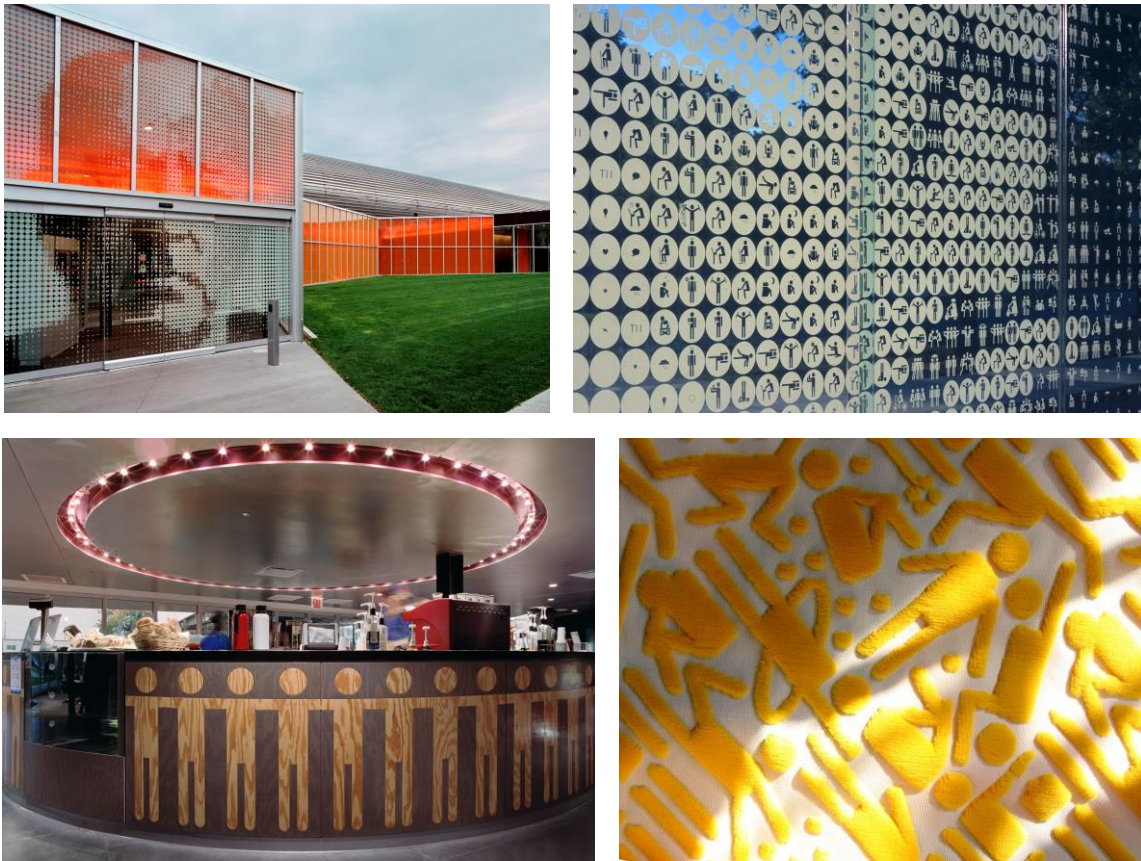


Abb. 57: Das Gestaltungskonzept des IIT McCormick Tribune Campus Center, beruhend auf der symbolischen Bedeutung von Piktogrammen (2x4 Inc.)

### Wirkungsweise und Relevanz

Die allermeisten Materialien haben über ihre technischen Fähigkeiten hinaus auch viele symbolische Bedeutungen, deren Symbolwirkung sie sich nicht entziehen können. Zeichen wirken auf die Wahrnehmenden. Formen haben bestimmte inhärente Eigenschaften, die sich vielen Menschen ohne viel Interpretation erschließen. Metaphern dagegen beruhen auf Assoziationen, für die Vorwissen nötig ist. Daher können sie sehr unterschiedlich wahrgenommen und interpretiert werden. Aber auch das Verstehen von Symbolen verlangt gewisse Vorkenntnisse und ist kulturabhängig.<sup>546</sup> Problematisch an soziokulturellen Bezügen in Form von Symbolen ist, dass diese nicht von jedem gleich decodiert werden. Symbolische Bezugnahmen auf etwas, z. B. aus der Vergangenheit, setzen voraus, dass diese Vergangenheit dem Betrachter bekannt ist.<sup>547</sup> Werden Formen zudem zu schnell verändert, kann dies zu einem Verlust ihres geistigen Inhaltes führen, da Formen sich in einer Kultur nur sehr langsam entwickeln. Aus wahrnehmungsphysiologischen Gründen ist es zudem schwierig, Formen eines Gebäudes als Zeichen wahrzunehmen, das z. B. kein Solitär ist, da es aufgrund der begrenzten Größe des Gesichtsfeldes und des Bereichs scharfen Sehens zumindest erschwert ist, in einem engen Stadtkontext ganze Gebäudeformen zu erfassen. Daher verschiebt sich der Fokus der Wahr-

<sup>546</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 338.

<sup>547</sup> Vgl. Bielefeld/EI Khouli 2011, S. 35.

nehmung eher auf Situationen wie Eingänge, Balkone oder Fenster.<sup>548</sup> Diese Umstände sollten bei der Verwendung von Zeichen berücksichtigt werden.

„Die Anwendung sensueller und metaphorischer Aspekte erhöht den Wert einer Gestaltung, indem sie einen Bezug zum Menschen, zur Gesellschaft und zur Kultur schafft.“<sup>549</sup> Ein wichtiger Aspekt der Informationsübermittlung von Architektur, insbesondere über ihren eigenen Inhalt, ist die Entwicklung angemessener Ausdrucksformen zur Darstellung der Nutzung. Auch hier kommen symbolische Aspekte zum Tragen. Dabei stellt in erster Linie der Nutzungstyp eines Gebäudes Anforderungen an die Gestaltung der Fassade.<sup>550</sup> Die Fassade signalisiert aber auch die Gebäudefunktion bzw. -bedeutung. Dies geschieht über Proportionen, Volumen und Farbe, aber auch über Materialwirkung und bildhafte Informationen.<sup>551</sup> Aspekte der Darstellung der Nutzung beziehen sich vor allem auf das Gestaltungsprinzip der Korrespondenz zwischen Inhalt und Form, also z. B. auf das Sichtbarmachen der Struktur des Tragwerks durch die Gliederung der Fassade. Eines der frühesten Beispiele hierfür ist das Carson Pirie Scott Building von 1906 von Sullivan. So haben spezifische Nutzungen zu spezifischen Formen geführt, die auf diese Nutzungen abgestimmt waren. Aber auch auf Zeichenebene kann die Nutzung verdeutlicht werden durch die Form des Gebäudes, seine Beschriftung oder andere Symbole.

Über den Verweis auf ihre Nutzung hinaus können Oberflächen von Gebäuden wie eine Fassade oder Leinwand auch der Informationsübermittlung anderer Inhalte dienen. Schon immer haben sie z. B. ganz konkret Szenen aus dem menschlichen Leben abgebildet (vgl. Abb. 58). Die Fassade „dient als Bildträger für profane und sakrale gesellschaftliche Strukturen und zur Vermittlung von Werthierarchien und Machtanspruch“.<sup>552</sup> Dabei kann die Übermittlung mehr oder weniger offensichtlich sein und von Inschriften über Bildern oder anderen Applikationen reichen.



Abb. 58: Die Fassade als Bildträger alltäglicher Szenen aus dem Leben der Menschen: Majolikafries am „Ospedale del Ceppo“ in Pistoia, Italien (Herzog et al. 2016, S. 10)

<sup>548</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 77.

<sup>549</sup> Buether 2014, S. 49.

<sup>550</sup> Vgl. Herzog et al. 2016, S. 6.

<sup>551</sup> Vgl. ebd.

<sup>552</sup> Vgl. ebd., S. 9.



Willkürliches kann allerdings das Wesen eines Gebäudes verfremden oder ihm eine neue Bedeutung geben.<sup>553</sup> „Seit Jahren [ist] eine lichttechnische und mikroelektronische Aufrüstung festzustellen, die die Schauseiten der Gebäude zum multimedialen Bild- und Informationsträger erweitert.“<sup>554</sup> Medienfassaden machen Gebäudeoberflächen zu frei bespielbaren Bildschirmen und Projektionsflächen wechselnder Inhalte. Ihre eigentliche physische Gestaltung kann dabei völlig überspielt werden.

Auch das Gestalten einer Corporate Architecture zeichnet sich durch die gezielte Verwendung von Symbolen in der Architektur aus. Der Begriff Corporate Architecture stammt aus dem Zusammenhang der Corporate Identity (CI), also der Identität, die sich ein Unternehmen als festgelegte Außenwirkung zuschreibt, auch in Abgrenzung zu anderen Unternehmen. Die Corporate Architecture kann als Unterkategorie eines Corporate Designs verstanden werden, das die CI in ein visuelles Bild übersetzen soll. Das Corporate Design wird vom Unternehmen einheitlich festgelegt, z. B. in Form von Design-Richtlinien, die Gestaltenden einen Rahmen vorgeben bzgl. spezifischer Farben, Formen, Proportionen, Schriftzüge etc. Das Corporate Design ist durch einen individuellen, exklusiven Charakter geprägt. Optische Highlights sollen Aufmerksamkeit erregen, Wertigkeit vermitteln oder spezielle Werbebotschaften übermitteln. Sichtbarkeit, Auffälligkeit und optische Effekte sind hierfür entscheidend. Im Bereich der Corporate Architecture spielen architektonische Formgebung, aber insbesondere die Fassadengestaltung eine wichtige Rolle. Als einer der ersten Vertreter dieser Verbindung von Design und Architektur gilt Peter Behrens, der bereits in den 1910er Jahren für die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) als „künstlerischer Beirat“ nicht nur die Produkte, sondern das gesamte Erscheinungsbild des Unternehmens prägte (vgl. Abb. 59).

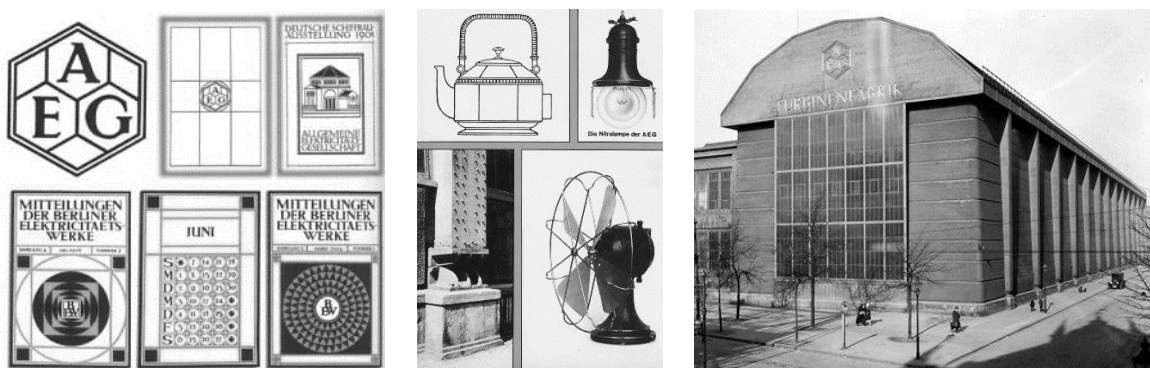


Abb. 59: Peter Behrens' „Corporate Identity“ für die AEG 1907-1914 (v. l. n. r.: GCO; Buddensieg/Rogge 1979, Titelbild; Siemens AG)

Zeitgenössische Beispiele sind die Firmenzentralen, Fabriken, Shops und Erlebniszentren zahlreicher Autobauer oder Luxusartikelhersteller, wie z. B. BMW oder Prada, die mithilfe aussagekräftiger Architektur ihre Unternehmensphilosophie demonstrieren. Zaha Hadid und Wolf Prix von Coop-Himmelb(l)au bauten für BMW in Leipzig und in München, Ben van Berkel für Mercedes in Stuttgart und Allmann Sattler Wappner für Audi. Aber auch immer mehr Mittel-

<sup>553</sup> Vgl. Herzog et al. 2016, S. 12.

<sup>554</sup> Krippner 2016, S. 68.

ständler greifen zu diesem Mittel. Eine spezifische Corporate Architecture kann gezielt als Informationsträger Botschaften übermitteln, den Wiedererkennungswert verbessern und den Markenwert steigern, aber auch die Zugehörigkeit und das Verbundenheitsgefühl von Mitarbeitern stärken.

Gegenwärtig müssen sich gebaute Räume und Gebäude zunehmend gegen virtuelle Zeichen und Symbole behaupten. Die intensiviertere Bewegung von Menschen rund um den Globus verändert vormals ortsgebundene Kulturen und deren spezifische Zeichen. Wenn Zeichen und Informationen, virtuell oder real, immer weniger überschaubar und zugleich immer austauschbarer werden, gewinnt an Bedeutung, was Aufmerksamkeit erregt. Je mehr Zeichen und Botschaften aber um Aufmerksamkeit ringen, desto größer wird das Bedürfnis nach Orientierung.<sup>555</sup>

### 3.4 Zusammenfassung

Die Frage, nach welchen Prinzipien Elemente eines Gebäudes zusammengefügt und gestaltet werden sollten, sodass dieses als schön und gelungen bezeichnet werden kann, führt zu der Erkenntnis, dass Schönheit in der Architektur ein weites und komplexes Feld ist, das viel diskutiert und dennoch sehr subjektiv ist. Eine Komposition kann von keinem Element allein getragen werden und ist nie eine einfache Addition. Vielmehr stehen alle Elemente in wechselseitigem Bezug und spielen ineinander.<sup>556</sup>

Unter Berücksichtigung der Prinzipien der (visuellen) Wahrnehmung, die vorrangig der einfachen Informationsverarbeitung, Komplexitätsreduzierung und Orientierung dienen, zeigt sich, dass gute und stimmige Architektur in dieser Hinsicht vor allem Schutz bieten sollte, Sicherheit, Orientierung und ein angenehmes Gefühl bei ihrer Betrachtung. Insbesondere der Sinn für Ordnung ist im Menschen tief verwurzelt. Aber auch das Verlangen nach Vielfalt und Spannung ist eine anthropologische Konstante, wenn auch im Ganzen der Bedarf an Klarheit, Einfachheit und Regelmäßigkeit für innere Ruhe und Orientierung überwiegen mag.<sup>557</sup> Visuelle Ausgewogenheit führt zu Harmonie in der optischen Wahrnehmung.<sup>558</sup> Diese entsteht dann, wenn Menschen Dinge betrachten, die sich einfügen und weniger auffallen, oder wenn diese ihnen bekannt vorkommen. Gelungene Architektur wird dann häufig als „angemessen“, „stimmig“ oder „nicht störend“ beschrieben. Gute Gestaltung ist also zunächst das, was als angenehm empfunden wird bzw. was fast niemanden stört. Was Menschen darüber hinaus als gute Gestaltung empfinden, ist aber auch stark abhängig von persönlichen und kulturgeprägten Sehgewohnheiten. Insbesondere Fachleute haben in dieser Hinsicht ein geschultes Auge und können sich für weitere Ansätze begeistern. Sehr gute Gestaltung ist, kurz gesagt, das, was vielen gefällt und darüber hinaus einige begeistert.

Anhand der Theorien ästhetischer Architekturgestaltung zeigt sich, dass Architekturqualität immer stark geprägt war vom jeweiligen gesellschaftlich-wirtschaftlichen und politisch-kulturel-

---

<sup>555</sup> Vgl. Abel/Rudolf 2018, S. 32.

<sup>556</sup> Vgl. Buchert/Kienbaum 2013, S. 11.

<sup>557</sup> Vgl. ebd., S. 15.

<sup>558</sup> Vgl. Grütter 2015, S. 224.

len Kontext und eng verknüpft mit allgemeineren Theorien der Kunst. Die fortlaufenden Auseinandersetzungen über grundlegende Prinzipien, die schönen Objekten oder Gebäuden zugrunde liegen, drehten sich dabei bis zum 18. Jahrhundert zumeist um Proportionstheorien. Erst mit den Erkenntnissen der Ästhetik als Wissenschaft werden ästhetische Grundwerte deutlich anthropozentrischer und subjektivistischer und weniger normativ verstanden. Verschiedenste Strömungen haben seitdem mit unterschiedlichen Konzepten und Strategien versucht, gute Gestaltung zu realisieren, und dafür mit wechselnden Schwerpunkten und unterschiedlichen ästhetischen Werten experimentiert. Auch wenn Moden und Stile mit ihren kurzlebigen und eher oberflächlichen ästhetischen Kriterien nach wie vor in schneller Abfolge aufkommen und wieder abflachen, ist das Bewusstsein für die Rolle ästhetischer Grundwerte und Kriterien in Bezug auf die Wirkungsqualität in der Architektur differenzierter und spezifizierter denn je.

Dies kann anhand der wichtigsten allgemeingültigen Gestaltungskriterien aufgezeigt werden. Wiederkehrend dreht sich der Diskurs um proportionale Gliederung, Maßstäblichkeit, Farbigkeit, Materialität, Kontextualität und Zeichenhaftigkeit. Ihre Relevanz lässt sich sowohl mit vielen Prinzipien der menschlichen Wahrnehmung erklären als auch anhand der Diskurse der Geschichte der Architekturtheorie nachzeichnen und durch zahlreiche Mittel und Theorien veranschaulichen. Harmonie ist dabei ein wichtiger Aspekt der Architekturqualität. Sie ist erreicht, wenn einzelne Kriterien aufeinander abgestimmt sind und sich einem gemeinsamen Konzept unterordnen.

## 4 Gestaltung von BIPV

Die Ausführungen des dritten Kapitels haben gezeigt, anhand welcher Kriterien ästhetische Qualität im Rahmen der Architekturtheorie diskutiert werden kann. Nun soll untersucht werden welche Ansätze transferfähig sind für die Gestaltung von BIPV.

Aus den systemtechnischen Besonderheiten solaraktiver Bauteile ergeben sich spezielle Anforderungen für die Integration von PV in die Gebäudehülle. Dabei handelt es sich um technische, ertragsbeeinflussende Faktoren und funktionale Aufgaben der BIPV-Bauteile als Bestandteile der Gebäudehülle. Außerdem werden im Folgenden auch wesentliche, gestaltprägende Eigenschaften von BIPV-Elementen als technischen Bauteilen aufgezeigt.

Da Grundlage und übergeordnetes Ziel dieser Arbeit das Erreichen von Akzeptanz in der Gesellschaft und insbesondere unter Planer/innen ist, sind hier die Ziele der Gestaltung von BIPV im Wesentlichen mit den allgemeingültigen Zielen guter und stimmiger Architektur zu identifizieren. Innerhalb dieses Rahmens spielen aber projektspezifische Ziele, insbesondere was die Stärke der Gestaltprägung eines Bauwerks durch die PV betrifft, eine große Rolle.

Hauptteil dieses Kapitels ist die detaillierte Untersuchung der Transferfähigkeit allgemeingültiger Gestaltungskriterien unter Berücksichtigung BIPV-spezifischer Herausforderungen anhand von Literatur und Projektbeispielen und deren systematischer Darstellung und Analyse.

Dabei werden auch die Einflüsse funktionaler und technischer Anforderungen aufgezeigt, die zu zahlreichen Wechselwirkungen führen und sich sowohl als Synergieeffekte als auch als Hemmnisse darstellen können.

Das Kapitel schließt mit einer Zusammenfassung aller Ergebnisse, sodass im Weiteren die erarbeiteten Kriterien anhand einer „best practice“-Projektstudie untersucht (Kap. 5) und zusammen mit den bisherigen Ergebnissen im Rahmen einer Synthese zu einem Kriterienkatalog zusammengeführt werden können (Kap. 6).

### 4.1 Systemtechnische Grundlagen

Grundlegend für die Erarbeitung von Kriterien für die Gestaltung von BIPV ist das Herausstellen der spezifischen Herausforderungen dieser Technologie. Die besonderen Anforderungen bei der Integration von PV-Elementen in die Gebäudehülle ergeben sich insbesondere daraus, dass diese hauptsächlich der Stromproduktion dienen, also ertragsbeeinflussende Faktoren berücksichtigt werden müssen. Zudem sind PV-Elemente, wenn sie auch konstruktiv tief integriert sind, fester Bestandteil der Gebäudehülle und es gilt, die üblichen funktionalen Aufgaben zu erfüllen, die an Bauteile von Gebäudehüllen gestellt werden. Aufgrund ihrer speziellen Entwicklungsgeschichte ergeben sich außerdem einige gestaltprägende Eigenschaften, die z. T. stark von den Eigenschaften üblicher Baumaterialien abweichen können. Die wichtigsten systemtechnischen Grundlagen (vgl. Abb. 60) werden im Folgenden beschrieben.

| Ertragsbeeinflussende Faktoren bei der Integration von BIPV-Bauteilen  | Funktionale Anforderungen an BIPV-Bauteile als Bestandteile der Gebäudehülle   | Gestaltprägende Eigenschaften der BIPV-Systembauteile   |
|--|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Standort</li> <li>2. Neigung und Orientierung</li> <li>3. Verschattung</li> <li>4. Leistungsfähigkeit der Zelltechnik</li> <li>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</li> <li>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</li> <li>7. Speicherung</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stromproduktion</li> <li>2. Statische Leistungsfähigkeit</li> <li>3. Luftdichtheit</li> <li>4. Witterungsschutz</li> <li>5. Thermischer Schutz</li> <li>6. Schallschutz</li> <li>7. Brandschutz</li> <li>8. Sonnenschutz/Tageslichtregulierung</li> <li>9. Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz</li> <li>10. Elektromagnetische Abschirmung</li> <li>11. Material- und Personensicherheit</li> <li>12. Objektsicherheit/Einbruchschutz</li> <li>13. Beständigkeit</li> <li>14. Wartung</li> <li>15. Ökologische Nachhaltigkeit</li> <li>16. Repräsentation einer CI</li> <li>17. Atmosphärische Effekte</li> <li>18. Ästhetische Qualität</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Farbigkeit</li> <li>2. Zell- und Modulabmessungen</li> <li>3. Lichttransmission/Transparenz</li> <li>4. Oberfläche</li> <li>5. Modulaufbau</li> <li>6. Modulwirkungsgrad</li> <li>7. Sonder- und Anschlussteile</li> <li>8. Befestigungen</li> <li>9. Alterungsverhalten</li> </ol> |

Abb. 60: Übersicht über spezifische Anforderungen bei der Integration von BIPV-Bauteilen in die Gebäudehülle (eigene Darstellung)

#### 4.1.1 Ertragsbeeinflussende Faktoren

Ertragsbeeinflussende Faktoren spielen eine Hauptrolle bei der Integration von BIPV, da sie deren wichtigste Funktion - die Produktion von Strom am Bauwerk - sicherstellen. Besonders zu diesen technischen Grundlagen der BIPV-Systemtechnik gibt es sehr gute Übersichtswerke<sup>559</sup>, aus denen die wichtigsten Fakten und Zusammenhänge im Folgenden dargestellt werden.

<sup>559</sup> Vgl. z. B. Ursula Eicker (2012): Solare Technologien für Gebäude: Grundlagen und Praxisbeispiele, Roland Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik: Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, Claudia Lüling (2009): Energizing architecture: design and photovoltaics, Simon Roberts/Nicolò Guariento (2009): Gebäudeintegrierte Photovoltaik: ein Handbuch, Heiko Schwarzbürger/Sven Ullrich (2021): Sonnenstrom aus der Gebäudehülle: Grundlagen und Praxistipps zur bauwerkintegrierten Photovoltaik (BIPV), Bernhard Weller et al. (2009): Photovoltaik: Technik - Gestaltung - Konstruktion, Thomas Stark/Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hg.) (2008): Architektonische Integration von Photovoltaik-Anlagen.

### 1. Standort

Verschiedene Phänomene und Faktoren haben Einfluss darauf, dass die Strahlungsleistung der Sonne im All auf dem Weg zum PV-Modul gemindert wird. Allgemein setzt sich die Globalstrahlung aus Direktstrahlung, Diffusstrahlung und reflektierter Strahlung zusammen. Dabei ist die Direktstrahlung der Sonne am energiereichsten und erzeugt z. B. einen Schlagschatten. Die Diffusstrahlung entsteht durch von Atmosphären-Teilchen gestreutes Licht. Reflektierte Strahlung entsteht an Objekten der Umgebung, die Strahlung zusätzlich reflektieren. Angegeben wird diese Strahlung in Kilowattstunden, die in einem Jahr auf einen Quadratmeter Fläche treffen (kWh/m<sup>2</sup>a). Der erste Einfluss auf die Strahlungsleistung und das Strahlungsspektrum der Sonne, also der der Erdatmosphäre, wird vom AM (Air Mass)-Faktor beschrieben. Außerhalb der Erdatmosphäre liegt die Strahlungsleistung der Sonne senkrecht auf eine einen Quadratmeter große Fläche bei 1.367 W/m<sup>2</sup>. Dieser Wert wird als sogenannte „Solarkonstante“ bezeichnet. In der Erdatmosphäre absorbieren und reflektieren Luftmoleküle und Aerosole das Sonnenlicht. Dadurch reduziert sich die Strahlungsleistung und auch das Lichtspektrum ändert sich. Der AM-Faktor gibt also an, wie lang der Weg des Sonnenlichts durch die Erdatmosphäre entsprechend dem Sonnenstand ist (vgl. Abb. 61, links und mittig). Außerhalb der Erdatmosphäre liegt der Faktor bei AM 0, bei senkrecht stehender Sonne entspricht der Lichtweg der einfachen Atmosphärendicke AM 1, bei stärkerer Neigung entsprechend AM >1. Zur Vereinfachung der Beschreibung der Leistung von unterschiedlichen Solarzellen wird ein durchschnittlicher AM-Faktor von 1,5 angenommen, der einem Sonnenstand von 41,8° entspricht.<sup>560</sup> Aus 1.367 W/m<sup>2</sup> im All werden so max. 1.000 W/m<sup>2</sup> auf der Erdoberfläche. Hinzu kommt der geografische Standort eines Bauwerks. Max. 2.500 kWh/m<sup>2</sup>a im sogenannten Sonnengürtel der Erde werden so z. B. in Deutschland auf 900 - 1.200 kWh/m<sup>2</sup>a reduziert. Das Flächenmittel liegt bei 1.050 kWh/m<sup>2</sup>a (vgl. Abb. 61, rechts).

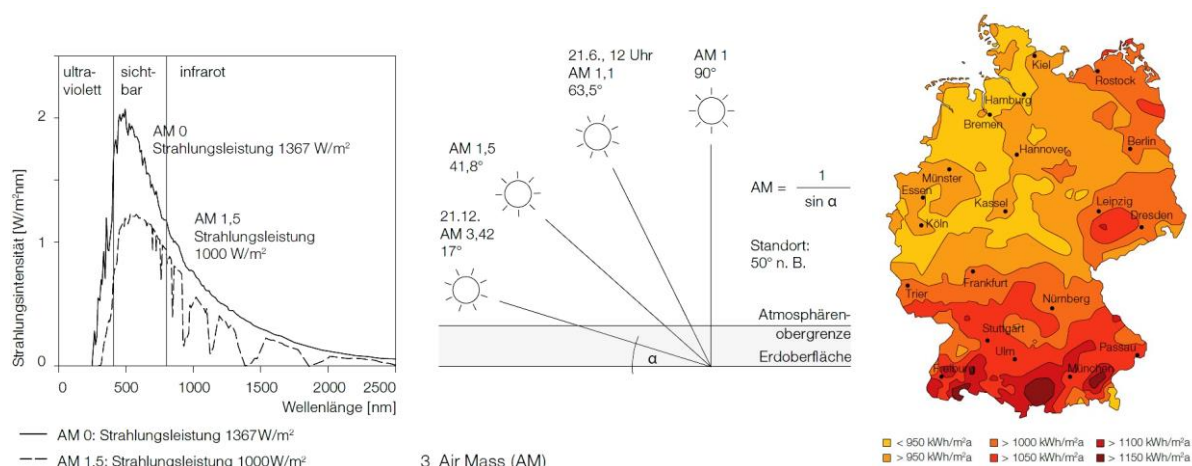


Abb. 61: Einfluss des AM-Faktors auf Strahlungsleistung und -spektrum der Sonne und Globalstrahlungskarte der jährlichen Sonneneinstrahlung auf horizontale Flächen in Deutschland (Weller et al. 2009, S. 12)

<sup>560</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 11.

Weiterhin nimmt auch die Witterung Einfluss. Die Maximaleinstrahlung von  $1.000 \text{ W/m}^2$  auf der Erdoberfläche kann so auf z. T. nur  $50 \text{ W/m}^2$  reduziert werden. In Deutschland kann an einem Sommertag bis zu 25 Mal mehr Sonnenenergie zur Verfügung stehen als an einem Tag mit ungünstiger Witterung. Und auch die konkrete Umgebung einer PV-Anlage nimmt Einfluss, indem ihr Reflexionsvermögen zusätzliche, reflektierte Strahlung bereithalten kann. Dieses Reflexionsvermögen der Umgebung kann mithilfe des Albedo-Werts beschrieben werden. Schnee reflektiert Strahlung z. B. zu ca. 90 %, bebaute Gebiete und Gelände zu ca. 20 % und schwarze Teerpappe nur zu ca. 7 %.<sup>561</sup> Anders als das Windenergieangebot ist die Solarstrahlung aber relativ gut kalkulierbar. Sie weicht von Jahr zu Jahr weniger als 10 % vom Durchschnittswert ab und nur in meteorologischen Extremjahren können es bis zu 20 % sein.<sup>562</sup>

## 2. Neigung und Orientierung

Ein entscheidender Faktor für den Ertrag einer Anlage ist auch ihre Ausrichtung. Im Süden erreicht die Sonne in der nördlichen Hemisphäre an jedem Tag ihren Höchststand. Bei hohem Sonnenstand, also geringem AM-Faktor, bedeutet dies wenig Verlust an direkter Sonnenstrahlung durch die Teilchen der Erdatmosphäre. Dieser Höchststand entspricht im Jahresmittel einer Neigung der empfangenden Fläche von ca.  $30^\circ$ . Aber auch abweichende Neigungen und Ausrichtungen bieten in einem weiten Bereich annähernd gleich hohe Beträge (vgl. Abb. 62), wobei sich die Orientierung auf der vertikalen Achse deutlich stärker auf die Leistung auswirkt als die Orientierung zwischen Südosten und Südwesten. Auch durch eine Nachführung lassen sich Erträge steigern, in Deutschland um etwa 20 - 25 % im Vergleich zur horizontalen Fläche.<sup>563</sup> Dabei bieten Standorte mit insgesamt höherem Strahlungsangebot z. B. in Süd- gegenüber Norddeutschland größeren Spielraum in der Flächennutzung.<sup>564</sup> Ertragsbeeinflussend ist dabei auch, ob die PV-Anlage aus einer einzigen Fläche und eher wenigen Modulen besteht oder ob sie sich über mehrere unterschiedlich ausgerichtete Teilflächen erstreckt. Entscheidend ist außerdem, wann und wie viel Solarstrom erzeugt werden soll. So können auch die Kombination von Ost- und Westausrichtungen oder die Nutzung von Fassaden gegenüber einer reinen  $30^\circ$ -Südausrichtung attraktiv sein im Hinblick auf eine Ertragserhöhung am Morgen und Abend z. B. für Selbstverbraucher, die Stromerzeugung und -verbrauch in eine bessere Übereinstimmung bringen wollen. Der exakte Einstrahlungsgewinn kann projektspezifisch über diverse Simulationsprogramme berechnet werden.<sup>565</sup>

---

<sup>561</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 12.

<sup>562</sup> Vgl. ebd.

<sup>563</sup> Vgl. Becker 2016, S. 26-27.

<sup>564</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 13.

<sup>565</sup> Aktuelle PV-Simulationsprogramme sind z. B. PV-Sol (Valentin), PVscout (Solarschmiede), Greenius (Institut für Solarforschung), RETScreen (Regierung Kanadas) und PVGIS (Europäische Kommission für Wissenschaft und Wissen).

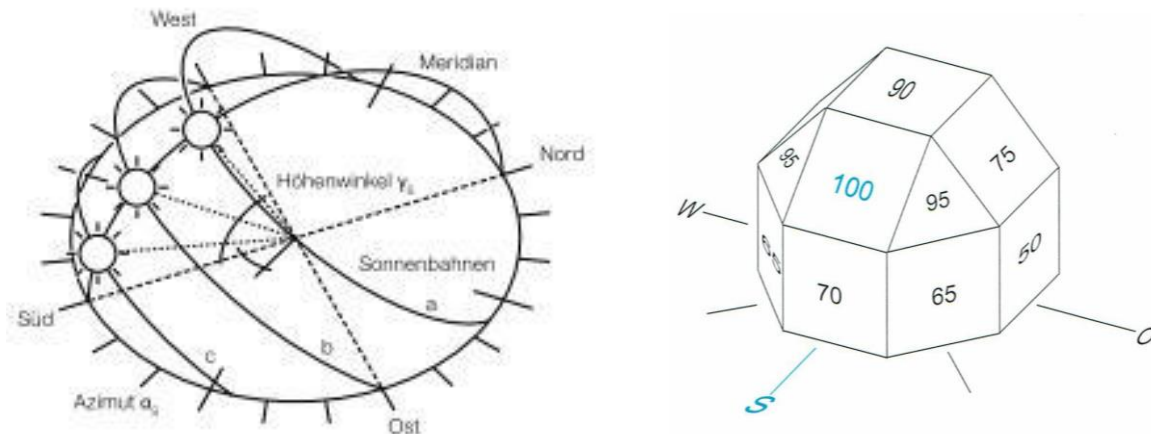


Abb. 62: Jahreszeitlicher Sonnenverlauf bei 50° nördlicher Breite (a: 21. Juni/Sommersonnenwende; b: 21. März/21. September/Tagundnachtgleiche; c: 21. Dezember/Wintersonnenwende) (links: Weller et al. 2009, S. 13) und Einfluss der Ausrichtung auf die jährliche Einstrahlungsmenge für Mitteleuropa (rechts: Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 20)

### 3. Verschattung

Weitere Einflussfaktoren auf den Ertrag einer bauwerkintegrierten PV-Anlage sind Voll- oder Teilverschattungen, die, von außen verursacht, am Gebäude selbst entstehen oder temporär sein können (vgl. Abb. 63). Verschattungen, die von außen auf das Gebäude fallen, können z. B. von Nachbargebäuden, Masten und Leitungen, der Vegetation oder von der Topografie ausgehen. Am Gebäude selbst verursachte Verschattungen können durch die Gebäudegeometrie, Vorsprünge, Schornsteine, Lüftungs- und Blitzschutzanlagen, Befestigungselemente, Modulrahmen, Befestigungsklemmen o. a. entstehen. Aber auch temporäre Verschattungen z. B. durch Schnee, Verschmutzung, Laub o. ä. können den Ertrag erheblich beeinträchtigen. Eine Verschattung reduziert die direkte Strahlung, und dies umso stärker, je näher sie ist. Direktschatten kann die Strahlung um 60 - 80 % vermindern, Halbschatten vermindert sie um ca. 30 - 40 %. Insbesondere kristalline Zellen sind gegenüber Dünnschichtzellen sehr anfällig für einen Leistungsverlust durch Verschattung. Zu unterscheiden sind auch großflächige und eher geringfügige Verschattung. Großflächiger Schattenwurf über einen langen Zeitraum kann eine Solaranlage an einem Standort völlig unrentabel machen, wohingegen geringfügige Verschattungen z. B. mit kleineren Maßnahmen wie Bypass-Dioden oder Dummy-Modulen kompensiert werden können. Ganz allgemein kann auch durch die Verschaltung der Module oder den Einsatz unterschiedlicher Wechselrichterkonzepte auf die Verschattungssituation reagiert werden.<sup>566</sup> Wichtig ist es insbesondere, die tages- und jahreszeitliche Sonnenwanderung zu berücksichtigen, z. B. mithilfe spezifischer Sonnenbahndiagramme oder spezieller Simulationssoftware.<sup>567</sup>

<sup>566</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 37-38.

<sup>567</sup> Von den oben genannten Programmen bieten z. B. PV-Sol und PVscout umfangreiche Verschattungs-Simulationen.



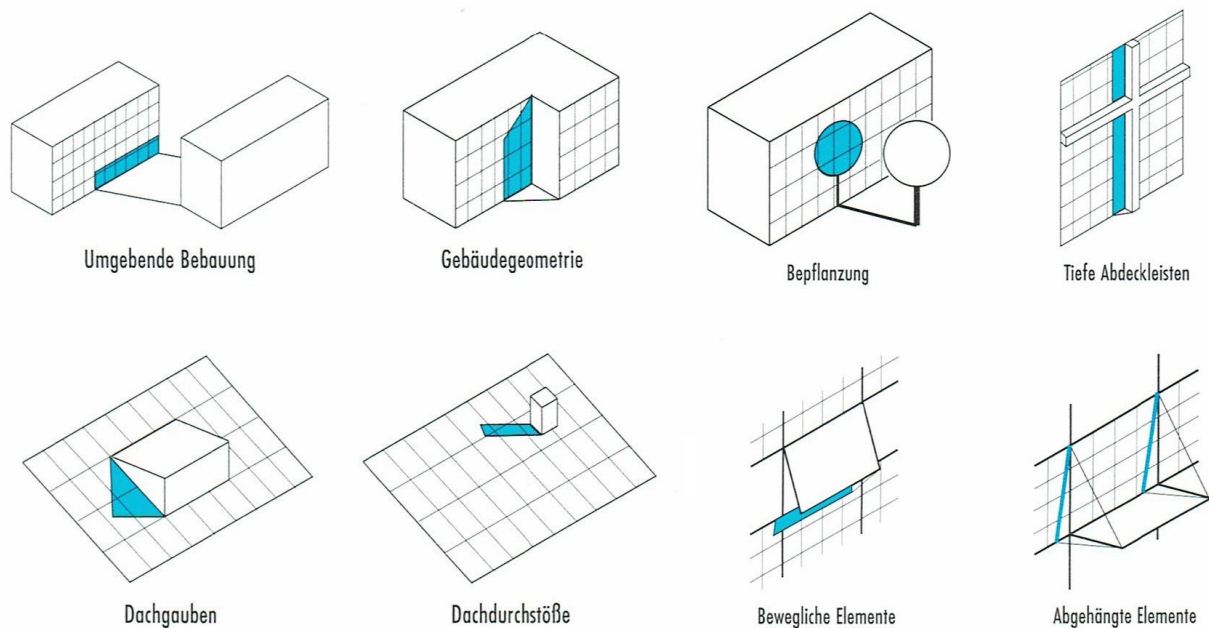


Abb. 63: Versattungssituationen infolge ungünstiger Planung (Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 21)

#### 4. Leistungsfähigkeit der Zelltechnik

Der Wirkungsgrad von Solarmodulen ist abhängig von der eingesetzten Zellart. Diese lassen sich in drei Generationen unterschiedlicher Leistungsbilder und optischer Erscheinungen differenzieren. Die kristallinen Siliziumzellen der ersten Generation werden meist aus Siliziumdioxid (Quarzsand) gewonnen, einem Halbmetall der Kohlenstoffgruppe, und ist besonders empfindlich für langwelliges Licht (vgl. Abb. 64, links). Bis heute dominiert die kristalline Zelltechnologie den Massenmarkt mit über 80 % und weiter steigender Tendenz.<sup>568</sup> Kristalline Zellen erreichen Wirkungsgrade von etwas über 22 %<sup>569</sup>, Hochleistungszellen können im Labor derzeit bis zu 27,6 % erreichen (vgl. Abb. 65)<sup>570</sup>. Monokristalline Zellen haben durch den Herstellungsprozess eine hohe Homogenität und damit einen relativ hohen Wirkungsgrad. Polykristalline hingegen sind homogener und ihr Wirkungsgrad ist niedriger. Die Dünnschichtsolarmodulen der zweiten Generation werden nicht als Zellen, sondern als dünne Halbleiterschicht zwischen Trägermaterialien aufgebracht und mit Nadeln oder Lasern strukturiert und verschaltet (vgl. Abb. 64, mittig). Ihr Wirkungsgrad liegt zwischen 6 und 14 %<sup>571</sup>, bei einzelnen bereits über 19 %<sup>572</sup>. Hochleistungszellen erreichten 2021 max. 47,1 %<sup>573</sup>. Bei den Silizium- und mikrokristallinen Zellen sind besonders amorphe und mikromorphe Zellen empfindlich für kurzwelliges, blaues Licht und daher besonders effizient bei diffuser und schwacher Einstrahlung. Dies gilt auch für cadmiumtelluride Zellen (CdTe). Eine sehr hohe Lichtabsorption bieten Zellen aus Kupfer-Indium-Selen bzw. Schwefel und teilweise solche aus Gallium (CIS/CIGS). Meist

<sup>568</sup> Vgl. Solarserver 2021a.

<sup>569</sup> Vgl. Schwarzburger 2021, S. 21.

<sup>570</sup> Vgl. NREL 2022.

<sup>571</sup> Vgl. Haselhuhn 2016, S. 31.

<sup>572</sup> Vgl. Solarserver 2021b.

<sup>573</sup> Vgl. NREL 2022.

werden allerdings Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid oder Kupfer-Indium-Disulfid verwendet. Selenhaltige CIS-Zellen erreichen höhere Wirkungsgrade als schwefelhaltige.<sup>574</sup> Die organischen Solarzellen der dritten Generation (OPV) versuchen, dem natürlichen Vorbild der Photosynthese näher zu kommen (vgl. Abb. 64, rechts). Hierzu werden Farbstoffe oder Kunststoffe wie Poly- oder Oligomere zumeist in mehreren Schichten auf flexible Trägermaterialien wie Folien aufgebracht und können dann frei zugeschnitten und kontaktiert werden. Organische Solarfolien haben ein sehr gutes Schwachlichtverhalten und ein geringes Gewicht. Zudem sinkt ihre Leistung nicht bei steigenden Temperaturen. Teilweise bestehen aber Schwierigkeiten im Bereich der dauerhaften Versiegelung oder Stabilität, was noch zu niedrigen Wirkungsgraden zwischen 3 und 8 % führt.<sup>575</sup> Einzelne organische Zellen haben aber bereits fast die 15 %-Marke erreicht.<sup>576</sup> Zunehmend genutzt wird außerdem die Möglichkeit, aus unterschiedlichen Zelltypen sogenannte Stapel- oder Hetero-Junction-Zellen herzustellen, die den Wirkungsgrad erhöhen, indem sie verschiedene charakteristische Spektren des Lichts kombiniert absorbieren.

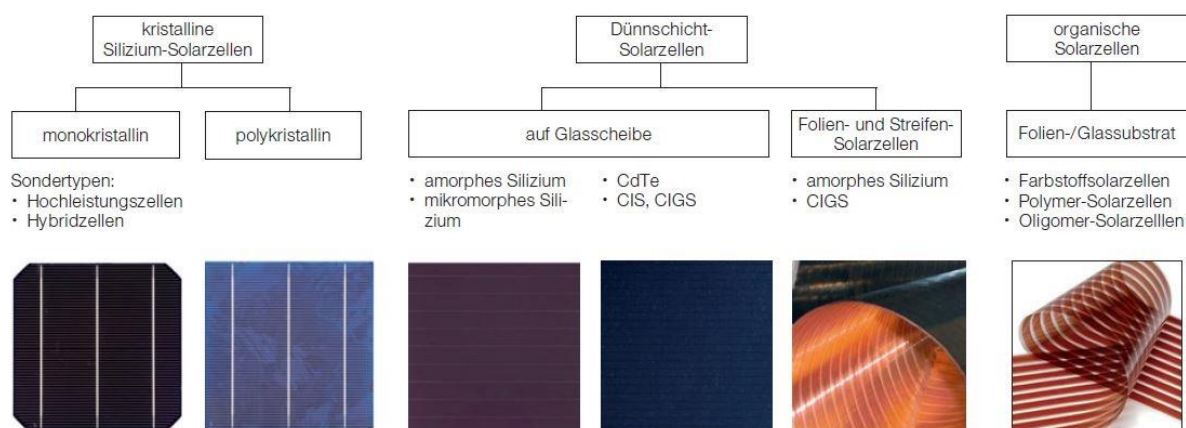


Abb. 64: Typologie und optische Merkmale der Solarzellen-Generationen (Krippner 2016, S. 31)

Individuelle Modulaufbauten haben ebenfalls Einfluss auf die Effizienz. Bei Modulen mit kristallinen Zellen sind diese üblicherweise in Reihe verschaltet, damit sich die niedrigen Spannungen einzelner Zellen addieren. Daraus resultiert ein meist orthogonales Raster der Front- und Rückkontakte. Um den Transmissionsgrad der Abdeckung vorne zu erhöhen, wird üblicherweise eine eisenoxidarme Weißglasscheibe verwendet; die Abdeckung hinten besteht meist aus einem Verbund mehrerer weißer Tedlar- und PET-Folien für eine hohe Reflexionswirkung, niedrige Temperaturen und elektrische Isolation. Sondermodule können nach hinten auch mit einer Glasscheibe abschließen, was entsprechenden Einfluss auf die Effizienz hat. Die Rahmen sind üblicherweise aus Aluminium aus Gründen des Glasschutzes, um den Montageanschluss zu vereinfachen und eine unkomplizierte Erdung und den Potenzialausgleich zu ermöglichen. Sie nehmen in der Regel keinen Einfluss auf die Effizienz.

<sup>574</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 17.

<sup>575</sup> Vgl. Haselhuhn 2016, S. 34.

<sup>576</sup> Vgl. Fraunhofer ISE 2020.

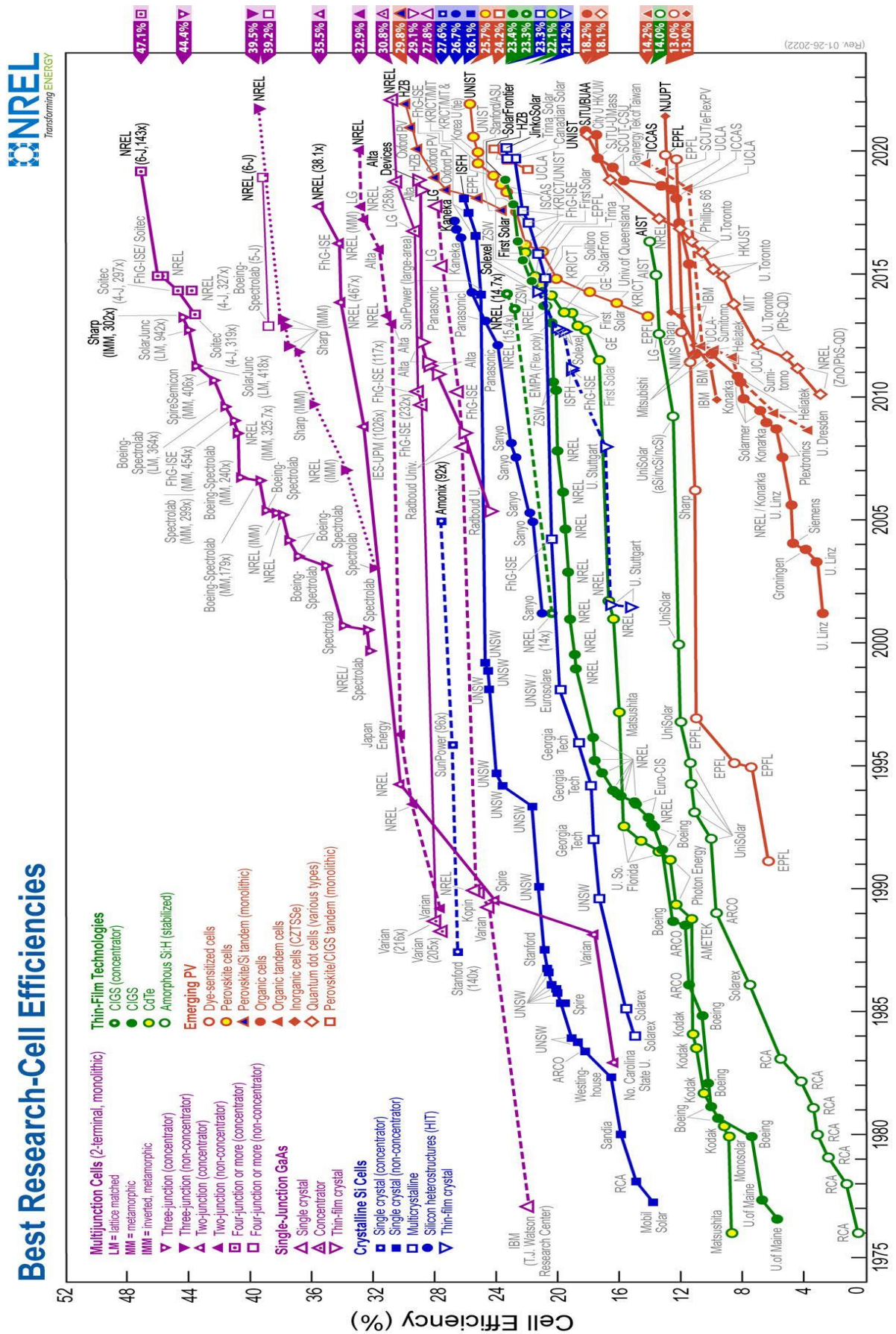


Abb. 65: Übersicht der höchsten bestätigten Wirkungsgrade von Forschungszellen verschiedener Photovoltaik-Technologien von 1976 bis 2022 (NREL 2022)

Bei Dünnschichtmodulen besteht die Abdeckung vorne aus Floatglas, um eine hohe Lichtdurchlässigkeit zu gewährleisten, da die hohen Beschichtungstemperaturen ein vorgespanntes Glas zerstören würden, und meist noch aus einer zweiten Scheibe, die auch TVG oder ESG sein kann. Es gibt aber auch Module ganz ohne Glas. Diese Module haben ein vorgegebenes, standardisiertes Maß, denn ihr Hauptaugenmerk liegt auf kostengünstiger Produktion, maximaler Energieausbeute und rationeller Montage. Sondermodule gehen dementsprechend häufig mit einer verringerten Effizienz einher. Zudem reagieren unterschiedliche Modularten unterschiedlich empfindlich auf (Teil-)Verschattungen. Dünnschichtmodule sind diesbezüglich z. B. weniger empfindlich, da ihre langen und dünnen Zellstreifen nicht so leicht komplett abgedeckt werden. Auch die Effizienz der Module über ihre Lebensdauer ist zu berücksichtigen. Zweistufige Garantieleistungen bieten meist eine Garantie von 10 Jahren über 90 % der ursprünglichen Leistung und von 20 - 25 Jahren über 80 % dieser Leistung. Standardmodule erreichen eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren und gelten als zuverlässig und langlebig, sie werden in unabhängigen Instituten geprüft und erhalten Zertifikate. Die Leistungsfähigkeit einer PV-Anlage hängt also im Wesentlichen von den eingesetzten Zellarten und dem Modulaufbau ab. Wirkungsgrade können erheblich voneinander abweichen, die unterschiedlichen Solarzelltypen reagieren aber auch unterschiedlich stark auf Licht- und Temperatureinflüsse.

#### 5. Temperatureffekte und Hinterlüftung

Einen wichtigen Einfluss auf den Ertrag einer integrierten PV-Anlage haben Temperatureffekte, die auf die Module wirken, z. B. bei nicht optimaler Hinterlüftung, denn mit zunehmender Erwärmung wächst der innere elektrische Widerstand und der Wirkungsgrad nimmt ab. Dabei unterscheidet sich das Temperaturverhalten bei den unterschiedlichen Zelltechnologien. Mithilfe des Temperaturkoeffizienten kann angegeben werden, wie hoch die Leistungsverluste bei einer Temperaturerhöhung sind. Bei kristallinen Modulen liegt er bei ca. 0,4 - 0,5 % Leistungsverlust pro 1°C und bei Dünnschichtmodulen (amorphe, CdTe und CIS) bei ca. 0,2 - 0,4 % pro 1°C Temperaturerhöhung<sup>577</sup> (vgl. Abb. 66, links). Dünnschichtmodule sind in der Regel also deutlich weniger temperaturempfindlich. Mit einer Hinterlüftung der Module können solche Effizienzverluste gemindert werden. Ca. 15 cm Hinterlüftung sind dabei ausreichend, um Verluste ganz zu vermeiden, bei ca. 5 cm, also einer eher schlechten Hinterlüftung, sind ca. 5 % Verluste zu erwarten, fehlt die Hinterlüftung ganz, ca. 10 %<sup>578</sup> (vgl. Abb. 66, rechts). Temperatureffekte der BIPV-Technik können aber auch aktiv genutzt werden. Eine hinterlüftete PV-Doppelfassade kann z. B. Transmissionswärmeverluste des Raumes minimieren oder zur Vorwärmung von Außenluft dienen.<sup>579</sup>

---

<sup>577</sup> Vgl. Eicker 2012, S. 264.

<sup>578</sup> Vgl. Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 20; Haselhuhn 2016, S. 38.

<sup>579</sup> Vgl. Eicker 2012, S. 301.

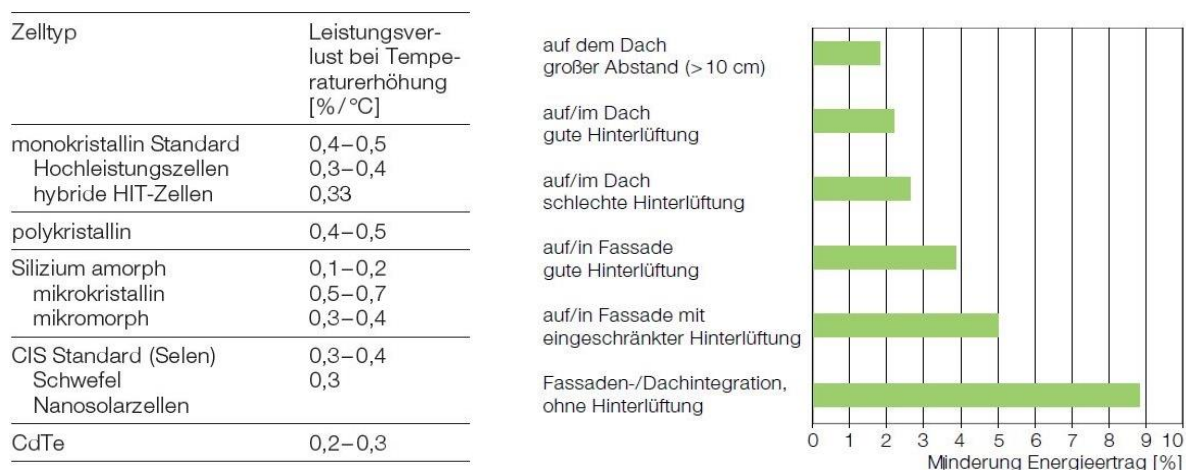


Abb. 66: Einschätzbarkeit der temperaturbedingten Leistungsminderung mithilfe des Temperaturkoeffizienten unterschiedlicher Zelltypen (links: Lenz/Schreiber/Stark 2010, S. 75) und der Minderung in Abhängigkeit vom Grad der Hinterlüftung (rechts: Krippner 2016, S. 38)

### 6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten

Der Ertragseinfluss des Verschaltungskonzeptes ergibt sich daraus, dass PV-Module üblicherweise in Reihe verschaltet werden und die Leistung jedes Modulstrangs somit immer von der Leistung des schwächsten Moduls abhängt. Dies kann etwa dann zu Leistungseinbußen führen, wenn unterschiedlich ausgerichtete Module verschaltet werden. Aber auch andere Systemkomponenten wie das Wechselrichtersystem haben Einfluss auf die Anfälligkeit für Leistungseinbußen. Sie selbst reduzieren den Stromertrag durch die Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom im besten Fall nur um ca. 2 - 4 %<sup>580</sup> und arbeiten bei insgesamt höherer Spannung mit niedrigeren Einbußen. Wechselrichter bieten gleichzeitig die Möglichkeit, durch individuelle Anpassung an den Generator (z. B. durch „Maximum Power Point Tracker“ (MPPT)), Betriebsdatenerfassung und verschiedene Schutzfunktionen viele Ursachen für Leistungseinbußen frühzeitig zu erkennen und zu verhindern. Das Wechselrichterkonzept kann einen zentralen Wechselrichter für eine ganze Anlage vorsehen, je einen String-Wechselrichter pro Modul-String oder eine Serie von Modul-Wechselrichtern. Je mehr Wechselrichter eingesetzt werden, umso geringer wird der Einfluss von unterschiedlicher Ausrichtung oder partieller Verschattung, bis hin zu Konzepten, nach denen jedes Modul einen eigenen Wechselrichter hat und alle Module damit vollständig unabhängig voneinander sind. Je mehr Wechselrichter allerdings eingesetzt werden, desto stärker steigen u. U. Systemkosten, Montage-, Wartungs-, Überwachungs- und Verkabelungsaufwand sowie der Platzbedarf.<sup>581</sup> Ein Forschungsprojekt am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), das sich direkt am ZSW-Gebäude in Stuttgart mit Möglichkeiten zur Verbesserung der Systemeffizienz beschäftigt, hat aktuell z. B. klare Vorteile gezeigt für den Einsatz von modulatorientierter Leistungselektronik im Bereich von Dünnschichtmodul-Fassaden.<sup>582</sup>

<sup>580</sup> Vgl. Haselhuhn 2016, S. 36.

<sup>581</sup> Vgl. Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 22.

<sup>582</sup> Vgl. Geyer 2019, S. 53-59.

### 7. Speicherung

Die meisten BIPV-Anlagen sind an das Stromnetz angeschlossen, doch es gibt auch Inselsysteme, also autarke Systeme, die nicht mit einem Versorgungsnetz verbunden sind und über eine Energiespeicherung verfügen, in den meisten Fällen in Form von Batterien. Speichersysteme sind allerdings allgemein verlustreich. Bei kleineren Anlagen bestehen sie zumeist aus Blei- oder Lithium-Ionen-Batterien. Bei größeren Anlagen können Wasserstoff-, Druckluft- und andere Arten von Speichern zur Anwendung kommen, deren Effizienz von unter 30 % bis über 95 % reichen.<sup>583</sup> Zudem sind Speichersysteme kostenintensiv und wartungsaufwendig und benötigen Aufstellflächen, an die eventuell spezifische Anforderungen gestellt werden können, z. B. in Bezug auf Umgebungstemperatur und Zugangsbeschränkungen. Ist der Anschluss an ein Stromnetz nicht möglich, kann die Notwendigkeit der Speicherung solar erzeugter Energie die Realisierung einer ganzen BIPV-Anlage unrentabel machen. Dennoch gibt es auch Pilotprojekte, bei denen autarke Lösungen aus Interesse an einer ökologischen, stabilen und wirtschaftlichen Stromversorgung realisiert wurden und die sich trotz höherer Investitionskosten langfristig über die Einsparung bei den laufenden Energiekosten rechnen.<sup>584</sup> Unterstützende kleinere Speicher, z. B. auch in Form von Elektrofahrzeugen, können grundsätzlich immer sinnvoll sein, um den Eigenverbrauch deutlich zu erhöhen oder kurzfristige Ausfälle auszugleichen, ohne dabei vollständig autark zu sein.

#### **4.1.2 Funktionale Aufgaben**

Zahlreiche funktionale Anforderungen an PV-Bauteile entstehen dann, wenn diese Bestandteil der Gebäudehülle werden. Je tiefer sie konstruktiv integriert sind, desto komplexer werden die Anforderungen. Genau hierin liegt aber auch das besondere Potenzial der BIPV-Technik, denn PV-Elemente sind in der Lage, zahlreiche Funktionen in der Gebäudehülle zu erfüllen und neben der eigentlichen Stromproduktion weitere Aufgaben anderer Bauteile übernehmen. Diese Substitution von Fassaden- und Dachbekleidungen führt auch zu wirtschaftlichen Vorteilen. Dabei sind die möglichen Anwendungsbereiche vielfältig (vgl. Abb. 67) und können in Dach, Fassade und Anbauteile (Sonnenschutzelemente, Balkonbrüstungen, Gebäudetechnikverkleidungen etc.) unterteilt werden. Bezüglich der Art der konstruktiven Integration lassen sich unterschiedliche Integrationstiefen unterscheiden, bei denen die Solarmodule Schritt für Schritt mehr Aufgaben der Gebäudehülle übernehmen (vgl. Abb. 68).

---

<sup>583</sup> Zur Übersicht über unterschiedliche Speichermedien und ihre typischen Kenndaten vgl. Lenz/Schreiber/Stark 2010, S. 77.

<sup>584</sup> Vgl. Haselhuhn 2016, S. 29. Erwähnt werden z. B. die Energiefabrik in Neuenstadt (2014) von Weller Architekten oder das Mehrfamilienhaus in Brütten (2016) von René Schmid Architekten.

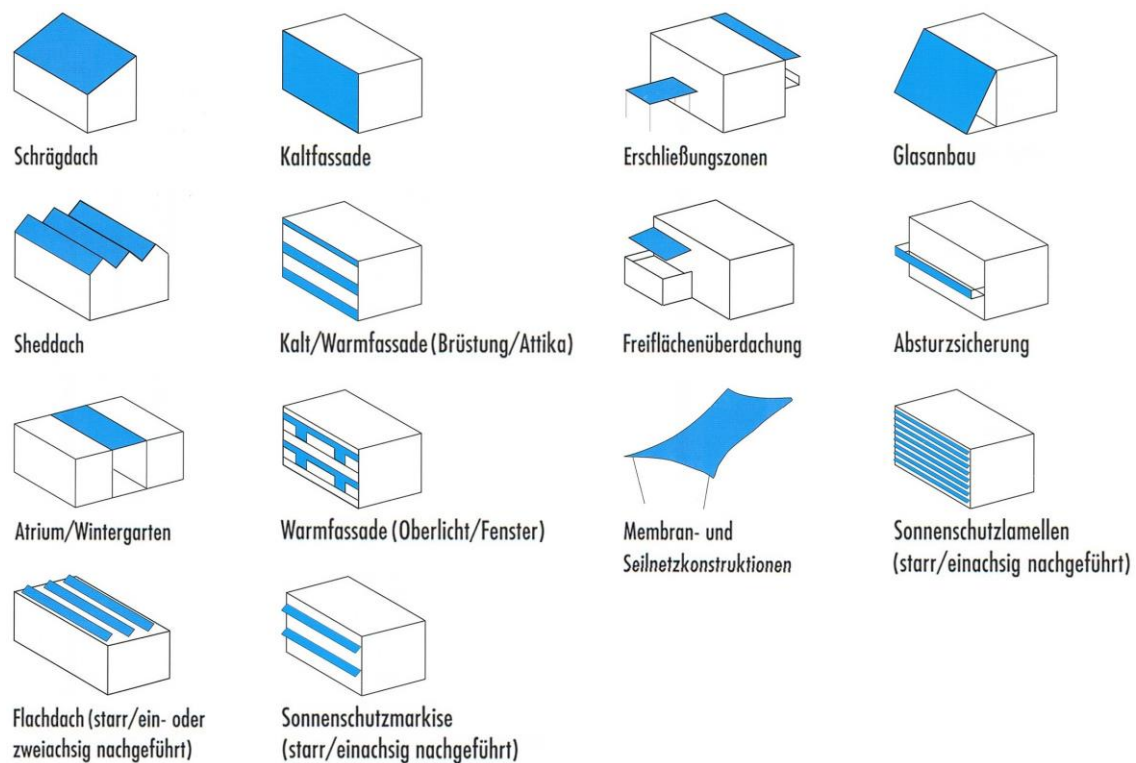


Abb. 67: Für PV-Integration geeignete Flächen der Gebäudehülle (Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 18-19)

Rein addierte Module sind beispielsweise die vielen aufdachmontierten Bauteile, die häufig auch nachträglich installiert werden und nur wenige Aufgaben wie z. B. Witterungsschutz übernehmen. Sind Solarelemente stärker konstruktiv eingebunden und ersetzen teilweise konventionelle Materialien, können sie auch weitere Aufgaben der Gebäudehülle substituieren, die dann ohne die PV-Bauteile nicht mehr funktionieren könnten. Sind die Solarelemente vollständig in die Gebäudehülle integriert, übernehmen sie alle Aufgaben der Gebäudehülle wie Wetter-, Wärme-, Sonnen- und Schallschutz, verschmelzen mit dieser und bilden selbst komplette Fassaden- oder Dachelemente.<sup>585</sup> Die konstruktive Integrationstiefe ist allerdings nicht zu gleichzusetzen mit der Qualität der gestalterischen Einbindung. Es gibt Beispiele additiver (konstruktiver) Integration, die gestalterisch sehr gut integriert sind. Allerdings muss eine hohe Qualität konstruktiver Integration keine Garantie für gestalterische Qualität sein.<sup>586</sup> Dennoch liegt das große Potenzial der BIPV-Technik in einer weitgehenden konstruktiven Integration, wenn diese gleichzeitig mit einer gelungenen gestalterischen Einbindung einhergeht.

<sup>585</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 49.

<sup>586</sup> Vgl. ebd.; Krippner 2016, S. 64-65; Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 25; Stark 2009, S. 23-26.

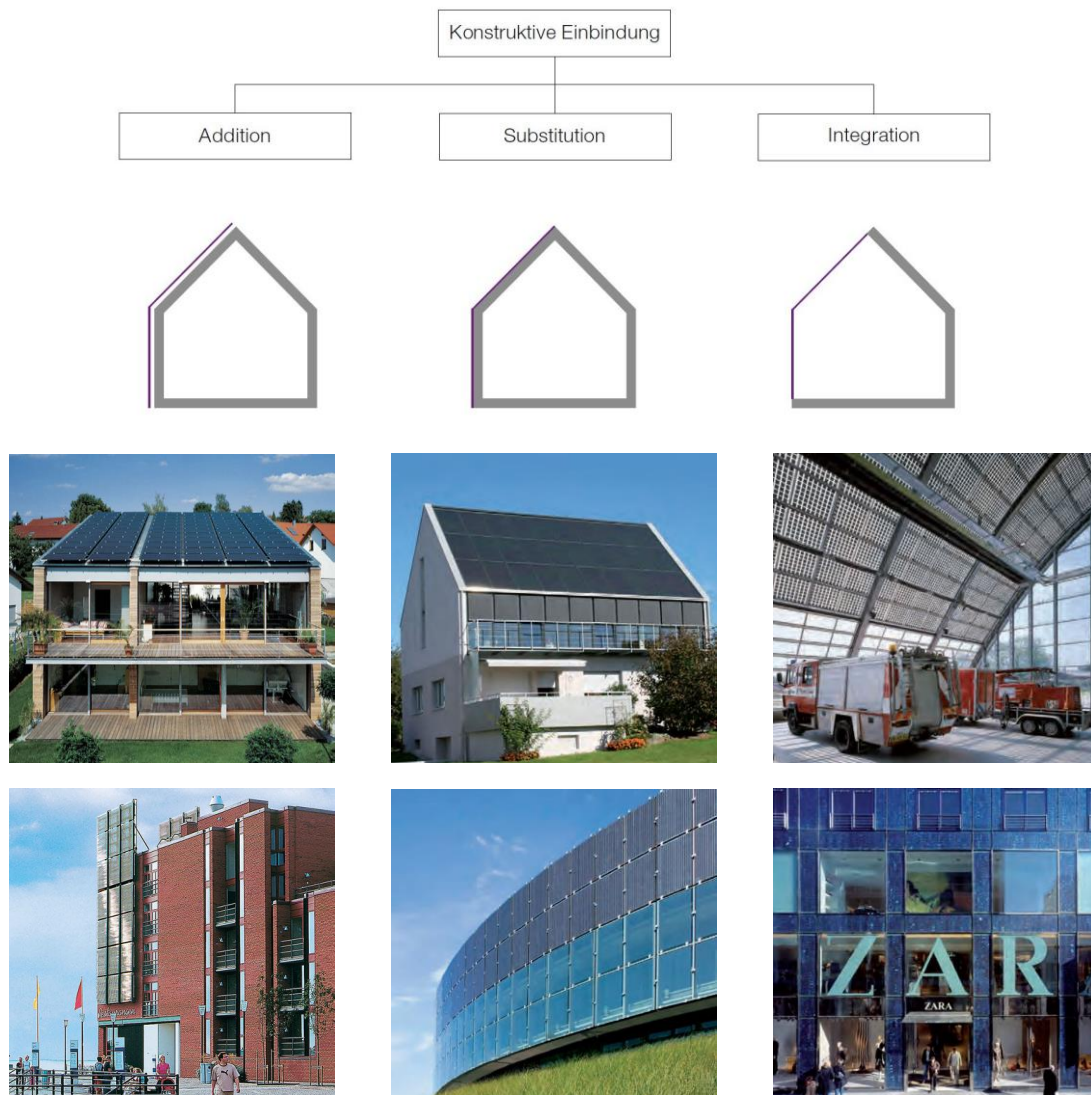


Abb. 68: Unterschiedliche Tiefen der konstruktiven Einbindung von PV in die Gebäudehülle (eigene Zusammenstellung mit Abbildungen aus Weller et al. 2009, S. 37-100)

Im Folgenden soll die Multifunktionalität von BIPV-Bauteilen dargestellt werden anhand der wichtigsten Funktionen, die sie neben der reinen Stromproduktion in der Gebäudehülle zusätzlich übernehmen können. Die zu beschreibenden Anforderungen an solaraktive Bauteile in der Gebäudehülle ergeben sich im Wesentlichen aus dem Nutzungstyp eines Gebäudes und seinen spezifischen konstruktiven und lokal klimatischen Gegebenheiten unter Einhaltung der jeweiligen rechtlichen Bestimmungen.

### 1. Stromproduktion

PV-Module dienen in erster Linie der Stromproduktion. Damit sie diese Funktion optimal erfüllen können, sind die in Abschnitt 4.1.1 genannten Faktoren maßgeblich. Die Fähigkeit, Strom zu erzeugen, unterscheidet BIPV-Bauteile von üblichen Dachdeckungs- und Fassadenmaterialien darin, dass sie ihre eigene Herstellungsenergie zurückgewinnen und darüber hinaus auch einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung eines ganzen Gebäudes leisten können.



## 2. Statische Leistungsfähigkeit

Zu berücksichtigende Lasten, denen PV-Bauteile in der Gebäudehülle standhalten müssen, sind in der Regel Wind-, Schnee- und Nutzlasten sowie Grenz- und Anpralllasten oder Lasten aufgrund von Reinigung und Wartung. Zusätzlich können eventuell auch Erdbeben oder Explosionslasten relevant sein. Berechnet werden der Grenzzustand der Tragfähigkeit, also der der maximalen Belastung, und der Gebrauchsfähigkeit, der maximalen Durchbiegung. Je nachdem, wie ausgesteift das Tragwerk des Gebäudes im Randbereich, z. B. im Anschlussbereich des Fassadensystems, ist, ergeben sich durch die zu berücksichtigenden Bewegungstoleranzen z. B. Anforderungen an die Breite der Bewegungsfugen sowie an die Verbindungen zwischen Fassade und Rohbau.<sup>587</sup> Bei Glas-Bauteilen gilt es zudem, thermische Spannungen zu verhindern, die entstehen, wenn Temperaturunterschiede in verschiedenen Bereichen einer Verglasung bestehen. PV-Module, insbesondere Glasmodule, sind statisch belastbare Bauteile, die selbsttragend sein und statische Aufgaben in der Gebäudehülle gut übernehmen können. Haben sie allerdings selbst ein hohes Gewicht oder werden erst nachträglich installiert, kann es erforderlich sein, dass für ihr Zusatzgewicht eigene lastabtragende Konstruktionen installiert werden müssen.

## 3. Luftdichtheit

Die Luftdurchlässigkeit wird angegeben durch das Luftvolumen, das über einen bestimmten Zeitraum bei einer bestimmten Druckdifferenz eine bestimmte Fläche durchdringt. Je nach konstruktiver Einbindungstiefe solarer Bauteile können diese Luftdichtheit ermöglichen, die einen unkontrollierten Luftaustausch und damit unnötiges Kühlen oder Heizen verhindert und die effiziente Leistung eventueller Belüftungssysteme sichert.

## 4. Witterungsschutz

Einen wichtigen Witterungsschutz bieten Gebäudehüllen durch ihre verschiedenen Verteidigungslinien gegen das Eindringen von Feuchtigkeit. Sämtliche Hohl- und Zwischenräume müssen belüftet und mit einer Drainage versehen sein, um möglicherweise eingedrungenes Wasser abzuleiten. Aber auch Beständigkeit gegen Temperaturwechsel, UV-Beständigkeit, Sturm- und Hagelfestigkeit sind Anforderungen, die von solaraktiven Bauteilen in der Gebäudehülle erfüllt werden müssen, wenn sie diesen Witterungsphänomenen ausgesetzt sind. Je nach Einbauart schützen sie das Gebäudeinnere oder andere Elemente der Fassade vor Witterungseinflüssen (vgl. Abb. 69).

---

<sup>587</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 54.



Abb. 69: Halle Pajol, Paris: Eine vorhandene Stahlkonstruktion, belegt mit PV, dient als Witterungsschutz und Energiedach für ein Quartier aus Holzbauten (Legendre)

### 5. Thermischer Schutz

Thermischen Schutz bieten Fassadenbauteile zunächst durch die Begrenzung des Wärmeverlustes im Winter. Der Wärmeverlust wird angegeben als Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), also die Wärmemenge, die in einem bestimmten Zeitraum und bei einer bestimmten Temperaturdifferenz durch eine bestimmte Fläche dringt. Je niedriger der U-Wert, desto besser der thermische Schutz. Die Wärmeleistung komplexer Fassaden wird computergestützt berechnet. Außerdem sollte der Wärmeeintrag im Sommer kontrolliert werden. Solare Wärmeeinträge können auch erwünscht sein, z. B. bei Wohngebäuden im Winter, sind aber immer dann zu vermeiden, wenn bereits durch Geräte oder Personen hohe interne Wärmeeinträge vorhanden sind, wie z. B. bei Bürogebäuden. Sie werden angegeben mit dem Gesamtenergiedurchlass (Solarfaktor) oder g-Wert, also dem Anteil, der durch die Verglasung in das Gebäude eindringenden Sonnenenergie im Verhältnis zu der auftreffenden Sonnenenergie. Die Gesamtenergie setzt sich dabei zusammen aus der direkten Transmission solarer Strahlung und der indirekten Abgabe der von der Verglasung absorbierten Energie durch Strahlung und Konvektion. BIPV-Bauteile sind sehr gut geeignet sowohl als Einzelbauteile als auch als gesamtes Dach- oder Fassadenelement z. B. durch eine rückseitige Isolierverglasung eine thermische Schutzfunktion in Gebäudehüllen zu übernehmen (vgl. Abb. 70). Dabei muss aber immer berücksichtigt werden, dass eine Erwärmung ihre elektrische Leistungsfähigkeit mindert. Spezielle Sonnenschutzbeschichtungen können helfen, im Sommer Wärmestrahlung zu reflektieren und im Winter Wärmeverluste zu verringern.



Abb. 70: Fassadenintegrierte PV-Module mit Isolierglasaufbau der Turnhalle Burgweinting in Regensburg bieten u. a. Wärmeschutz (links: Stadt Regensburg/DBU, rechts: Baunetz Wissen)

### 6. Schallschutz

Schallschutztechnische Anforderungen an eine Fassade ergeben sich durch die vorhandenen Außenlärmpegel und die zu erreichenden Innenraumpegel. Je nach Nutzung sind unterschiedliche Schalldämmmaße der Gebäudehülle einzuhalten. Die Schallschutzwerte einer Gebäudehülle ergeben sich hauptsächlich aus ihrer Masse und Beschaffenheit. Die wichtigsten Parameter sind Materialtyp und -dicke, Luftdurchgang und die Art der Verbindungsteile und Zwischenräume. Besonders zu beachten sind Fugen zwischen einzelnen Bauteilen, z. B. im Bereich der Wand- und Deckenanschlüsse. Darüber hinaus können Schallschutzelemente auch nicht gebäudegebunden zum Einsatz kommen, z. B. in Form von Lärmschutzwänden oder Technikverkleidungen. Durch einen mehrschichtigen Aufbau können PV-Elemente eine hohe schallschützende Wirkung erzielen. Auch ihre Montageart hat Einfluss auf die Schallschutzeigenschaften einer PV-Anlage. Beim Structural Sealant Glazing (SSG) beispielsweise werden die Module umlaufend mithilfe von Silikon lastabtragend und dichtend mit der Unterkonstruktion verklebt, wodurch ihre Schalldämmwerte deutlich verbessert werden können (vgl. Abb. 71).<sup>588</sup>

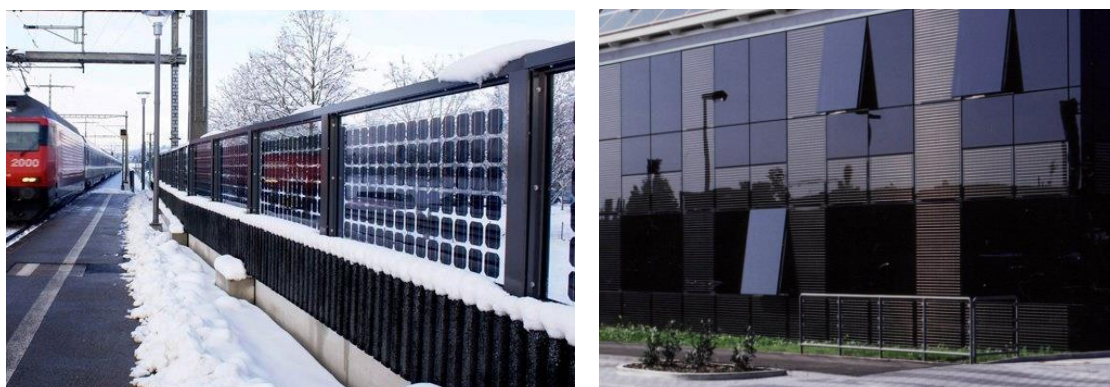


Abb. 71: PV-Anlagen bieten Schallschutz z. B. am Bahnhof Münsingen (CH) (links: TNC Consulting AG) und als Structural-Sealant-Glazing-Fassade am Solarzentrum in Freiburg (rechts: Hölken-Berg-hoff GmbH)

<sup>588</sup> Vgl. Weller et al 2009, S. 53.

### 7. Brandschutz

Brandschutztechnische Anforderungen an die Gebäudehülle ergeben sich insbesondere aus den Zielen der Verhinderung der Entstehung sowie der Verlangsamung der Ausbreitung von Feuer und Rauchgasen, aber auch der Sicherstellung der Zugänglichkeit für die Feuerwehr. Je nach Einordnung in die entsprechende Feuerschutzklasse ergeben sich hieraus spezifische Anforderungen an Bestandteile der Gebäudehülle. Hierzu zählen Vorgaben zu Baustoff- und Feuerwiderstandsklassen, zum Einsatz feuerhemmender Materialien, z. B. zwischen Fassade und Rohdecke, zu Rauchschotts, zu Verglasungen, die im Brandfall eingeschlagen werden können, zur Entrauchung, als Notzugang u. a. Einzuhaltende Brandschutzanforderungen sind in der entsprechenden Bauordnung, in Brandschutzfachregeln und VDE-Anwendungsregel enthalten. Hinsichtlich solaraktiver Bauteile sind z. B. Anforderungen bezüglich Brandverhalten, Feuerwiderstandsfähigkeit, Mindestabstände und Zugangsmöglichkeiten einzuhalten. Wegen der Brandlast der enthaltenen Kunststoffe handelt es sich in der Regel um schwerentflammbare Baustoffe.<sup>589</sup> Die meisten Glas-Module können als normal entflammbar eingestuft werden.<sup>590</sup>

### 8. Sonnenschutz/Tageslichtregulierung

An BIPV-Bauteile als Bestandteil der Gebäudehülle können sich auch im Bereich der Tageslichtregulierung und des Sonnenschutzes Anforderungen ergeben, z. B. der Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung, eine differenzierte Regulierung von Abschattung, Lichtstreuung und/oder -lenkung. Gerade für diese Funktion sind BIPV-Bauteile sehr gut geeignet, da sie optimal zur Sonne ausgerichtet besten Sonnenschutz und gleichzeitig hohe Stromerträge bieten. Solaraktive Sonnenschutz-Elemente können extern oder intern, starr oder beweglich, aus verschiedensten Materialien hergestellt und unterschiedlichster Maßstäblichkeit sein. Dabei regulieren bspw. perforierte Zellen, die Abstände zwischen den Zellen innerhalb einzelner Module oder die Variation der Abstände zwischen den einzelnen Modulen, den Tageslichteinfall und die Abschattung. Sonnenstandgeführte Lamellensysteme ermöglichen neben einem maximalen Energieertrag und der Verhinderung von Eigenverschattung durch Nachführkorrekturen zusätzlich deutlich mehr Tageslichteintrag bei bedecktem Himmel durch das Öffnen der Lamellen (vgl. Abb. 72).<sup>591</sup> Im Bereich der Lichtlenkung lassen sich eindrucksvolle und atmosphärische Lichtspiele gestalten. Die Einsatzmöglichkeiten der BIPV im Bereich der Verschattung reichen von in Scheiben integrierten Lösungen über externe Lamellen oder vorgestellte Konstruktionen in Kombination mit Wartungs- und Reinigungsstegen bis hin zu Sonnensegeln.<sup>592</sup>

---

<sup>589</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 79.

<sup>590</sup> Vgl. Haselhuhn 2016, S. 50.

<sup>591</sup> Vgl. Starlinger 2019, S. 17.

<sup>592</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 62-65.

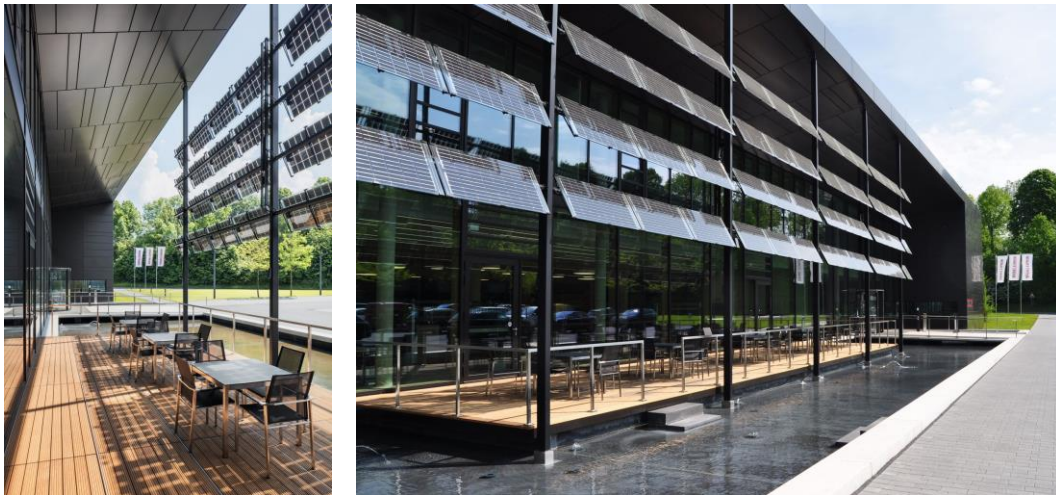


Abb. 72: BIPV in Form von vorgestellten, beweglichen PV-Lamellen am Energy Campus der Firma Stiebel Eltron in Holzminden (Constantin Meyer)

### 9. Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz

Aufgabe einer Gebäudehülle ist es auch, die Privatsphäre der Gebäudenutzer/innen zu schützen und ungewollte Einblicke zu verhindern. PV-Elemente als Bestandteil der Gebäudehülle können dies z. B. durch eine angepasste Transluzenz leisten. Insbesondere semitransparente Module bieten einen wirkungsvollen einseitigen Sichtschutz, wenn sie von außen reflektierend und von innen teildurchsichtig wirken.<sup>593</sup> Mögliche Anwendungsbereiche sind Isolierglasfenster, etwa im Brüstungsbereich, Klappläden, Balkonbrüstungen, Sichtschutzelemente in privaten Zugangsbereichen u. a. (vgl. Abb. 73).

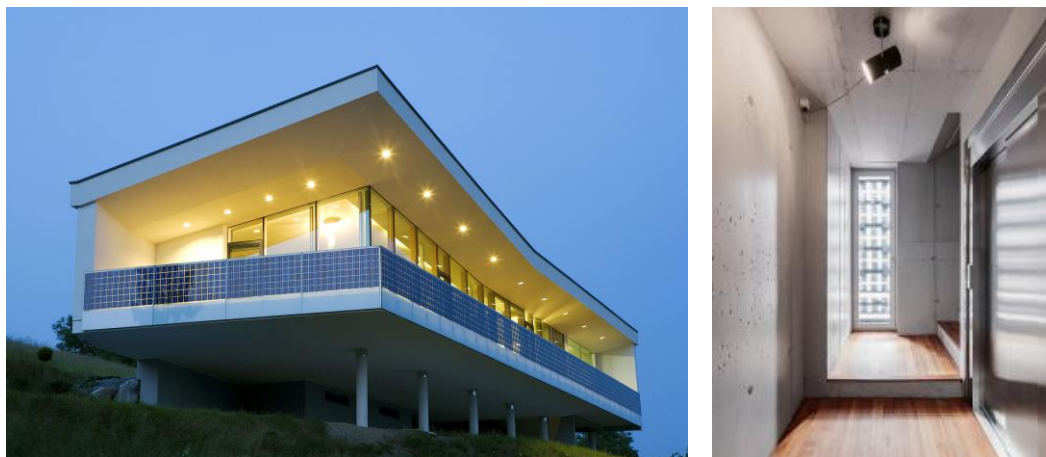


Abb. 73: PV-Module bieten Sichtschutz in Brüstungselementen an einem Einfamilienhaus in Passail (links: Kaltenegger und Partner) und in Fenstern am Mehrfamilienhaus Solaris in Zürich (rechts: espazium/Beat Bühler)

<sup>593</sup> Vgl. Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 17.

### 10. Elektromagnetische Abschirmung

PV-Module können eine Abschirmung gegen gängige Kommunikationsfrequenzen bieten. Relevant sein kann dies in sensiblen Bereichen wie Flughäfen, Krankenhäusern oder allgemein bei Gebäuden in der Nähe von Sendeanlagen.<sup>594</sup> Die elektromagnetische Schirmdämpfung von PV-Modulen wirkt wie ein Faradayscher Käfig, ohne dafür speziell konstruiert zu sein. Dies resultiert aus der meist elektrisch leitfähigen Unterkonstruktion und dem flächenhaft wirkenden elektrischen Netzwerk des Zellverbunds.<sup>595</sup> Untersuchungen in der Testfassade hierzu ergaben eine Schirmdämpfung von 23 dB für eine Testfrequenz von 960 MHz.<sup>596</sup>

### 11. Material- und Personensicherheit

Da sich PV-Module nie ausschalten lassen, gelten hohe Anforderungen an die Unerreichbarkeit der elektrischen Teile für Nutzer/innen bei gleichzeitiger Zugänglichkeit der Verkabelung für Wartungspersonal. Doch Personen werden nicht nur abgeschirmt, sie müssen auch vor möglichen Folgen von Materialschäden geschützt werden, z. B. im Fall von Glasbruch. Daher gelten neben den Regelungen unterschiedlicher Normungsgremien und -werke zur elektrischen Sicherheit<sup>597</sup> auch zahlreiche konstruktiv-funktionale Anforderungen an PV-Elemente in Bezug auf deren Standsicherheit oder die Sicherheit bei Materialversagen, wie bspw. verschiedene DIN-Normen, technische Baubestimmungen oder Glasbauregeln. Dafür werden Gefahren berücksichtigt wie Auswirkungen fallender Gegenstände, die voraussichtliche Nutzung der Umgebung, die Wahrscheinlichkeit von Aufprallunfällen oder Unfällen mit Vögeln, die Folgen von Glasdefekten und Glasbruch. Außerdem muss die Sicherheit bei Reinigung, Wartung und beim Austausch von Elementen gewährleistet sein. Die Vorgaben zum Arbeitsschutz sind zu meist in den Regelwerken der Berufsgenossenschaften festgelegt.

### 12. Objektsicherheit/Einbruchschutz

PV-Bauteile haben nicht nur selbst Sicherheitsaufgaben zu erfüllen, sie können auch Sicherheit bieten, z. B. im Bereich des Einbruchs- und Vandalismusschutzes in Form von Sicherheitsverglasung mit Einbruchsensor oder eines mehrschichtigen Aufbaus mit Durchschusshemmung.<sup>598</sup>

### 13. Beständigkeit

Die geforderte Lebensdauer der PV-Elemente ist abhängig von der Gebäudenutzung. Bei einem Bürogebäude beträgt sie z. B. 60 Jahre. Bei der Lebensdauer von Fassaden werden drei Arten von Bauteilen unterschieden, von austauschbaren Bauteilen, wie z. B. Doppelverglasungen mit einer Lebensdauer von 20 - 25 Jahren, über Abdichtungen mit 20 - 25 Jahren und Bauteilen mit lebenslanger Haltbarkeit bei Wartung, wie z. B. Verbindungsmitteln, Eisenkleinteilen und Wetterdichtungen, bis hin zu Bauteilen mit lebenslanger Haltbarkeit ohne Wartung,

---

<sup>594</sup> Vgl. Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 17.

<sup>595</sup> Vgl. Bendel 2009, S. 66.

<sup>596</sup> Vgl. ebd.

<sup>597</sup> Insbesondere Normen vom Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE).

<sup>598</sup> Vgl. Bendel/Hullmann 2005, S. 2-3.

wie z. B. Unter- und Rahmenkonstruktionen der Fassade.<sup>599</sup> PV-Bauteile haben grundsätzlich eine hohe Lebensdauer, da die Modulverkapselungen die Zellen vor schädlichen Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit dauerhaft schützen. In unabhängigen Instituten werden Standardmodule umfangreich auf Leistung und Langzeitbeständigkeit geprüft. In der Regel garantieren Hersteller, dass die Nennleistung von PV-Modulen nach 10 Betriebsjahren bei 90 % und nach 20 - 25 Jahren noch bei 80 % liegt und geben die Gesamtlebensdauer mit 20 - 25 Jahren an.<sup>600</sup> Einzelne Hersteller bieten bereits Leistungsgarantien über 30 Jahre und mehr an.<sup>601</sup>

#### 14. Wartung

Konstruktiv-funktionale Anforderungen an PV-Elemente in Bezug auf die Wartung sind die Verhinderung von Leistungseinbußen durch Verschmutzung der Ober- und Unterseite, wie z. B. durch die manuelle Entfernung von Vogelkot, Ablagerungen aus den Abgasen von Heizungsanlagen oder eventueller Flechtenbildung. Eine regelmäßige Reinigung kann den solaren Ertrag der Anlage um bis zu 10 % erhöhen.<sup>602</sup> Insbesondere bei flachen Neigungswinkeln kann sich durch die mehrmalige Ansammlung und Verdunstung von Wasser so viel Schmutz ablagern, dass Pflanzenwachstum möglich wird. Um Ablagerungen zu verhindern ist es außerdem wichtig, dass der Abstand zwischen Zellen und unterer Rahmenkante nicht zu klein ist. Auch die Möglichkeit eines Austausches bei Delaminierung oder Blitzschlag ist zu gewährleisten.<sup>603</sup> Allgemein gelten PV-Anlagen je nach Bauart aber als wartungsarm, da sie wenige Verschleißteile enthalten, eine Wartung der Module in der Regel gar nicht erforderlich ist und, falls doch ein Austausch einzelner Elemente nötig sein sollte, diese leicht ersetzt werden können, ohne das Gesamtsystem zu beeinträchtigen.

#### 15. Ökologische Nachhaltigkeit

Ökologische Nachhaltigkeit ist eine Anforderung, deren Relevanz heute zunehmend in den Fokus rückt – auch für Bestandteile der Fassade. Der überwiegende Teil aller Solarzellen besteht aus Silizium, das ungiftig und auf der Erde reichlich vorhanden ist. Dünnschichtmodule können hingegen in geringen Mengen toxische Schwermetalle wie Cadmium, Selen oder Arsen enthalten, die jedoch weder im Betrieb freigesetzt noch im Brandfall gefährlich werden können.<sup>604</sup> Gegenüber anderen Energie-Technologien insbesondere in der Stromerzeugung hat die Photovoltaik-Technik bei sorgsamer Herstellung, Handhabung und Rückführung in den Rohstoffkreislauf ein deutlich niedrigeres Schadstoffpotenzial. Der Einsatz von PV-Bauteilen ist zudem insbesondere dann interessant, wenn sie eine kurze Energierücklaufzeit haben, also der energetische Aufwand für Herstellung, Betrieb, Rückbau und Recycling der Anlage deutlich unter der während der Lebensdauer produzierten Energiemenge liegt. Diese Rücklaufzeit liegt zwischen 1 - 6 Jahren und ist beeinflusst von ihrer Ausrichtung aber auch von der verwendeten Zelltechnologie (vgl. Abb. 74). Die Zellproduktion nimmt neben dem Rahmentyp so-

---

<sup>599</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 53.

<sup>600</sup> Vgl. Photovoltaik.org 2022.

<sup>601</sup> Vgl. PV Magazine 2017; PV Magazine 2022.

<sup>602</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 24.

<sup>603</sup> Vgl. ebd., S. 59-60.

<sup>604</sup> Vgl. Hemmerle 2016b, S. 102.

wie dem Wechselrichter-, Verkabelungs- und Montagesystem den größten Einfluss auf die Amortisationszeit. So dominiert das Modul selbst zu 90 % den Systemenergieinhalt.<sup>605</sup> Die Amortisationszeit kann je nach Modultyp und Materialien um 1 - 50 % verkürzt werden, wenn zusätzlich der eingesparte Primärenergieaufwand für substituierte Bauteile berücksichtigt wird.<sup>606</sup>

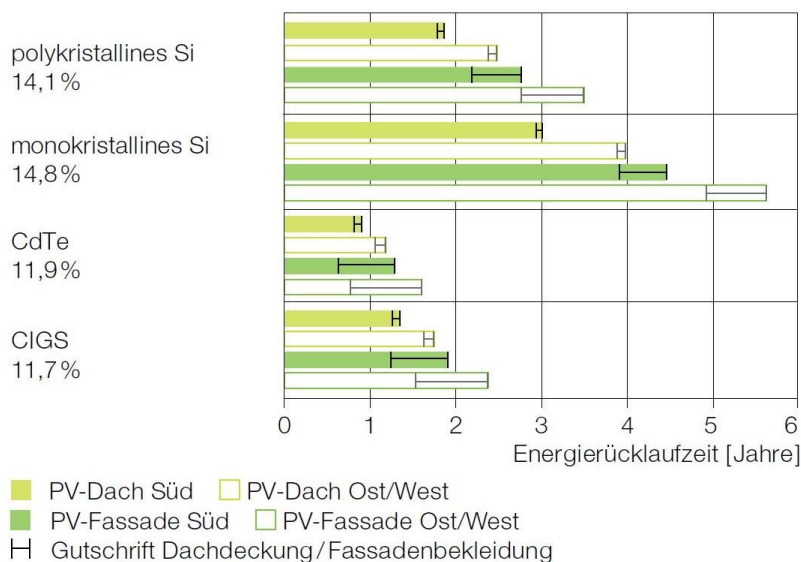


Abb. 74: Abschätzung der Energierücklaufzeiten dach- und fassadenintegrierter PV-Anlagen in Mitteleuropa (Krippner 2016, S. 101)

Insbesondere in Bezug auf das Recycling bieten sich neben verwendeten Gläsern und Metallen gerade auch die Zellen dafür an, wiederverwendet zu werden. Eine Studie des Fraunhofer ISE zeigte eine durchschnittliche jährliche Degradation der Nennleistung bei waferbasierten PV-Modulen von ca. 0,15 %.<sup>607</sup> Selbst nach 20 Jahren können diese also mit minimalen Leistungseinbußen wieder zu neuen Modulen verkapselt werden. Auch Dünnschichtmodule, für deren Degradation noch keine langjährigen Daten vorliegen, sind grundsätzlich recyclingfähig, auch wenn ihre Trennung aufwendiger ist.

### 16. Repräsentation einer Corporate Identity (CI)

In Fassaden gewerblich genutzter Bauwerke, können integrierte PV-Anlagen auch genutzt werden, um unternehmensspezifische Inhalte zu repräsentieren. Dabei ist die Fassade besonders interessant, um in ihr integrierte PV-Elemente zu einem unmittelbar wirksamen Gestaltungselement zu machen, das die erkennbare Corporate Identity eines Unternehmens übersetzt (vgl. Abb. 75). Möglichkeiten bestehen hier darin, Proportionen oder Farben des Corporate Designs aufzugreifen oder den Unternehmensschriftzug oder ein spezifisches Logo mit PV-Elementen zu gestalten. All diese Möglichkeiten der Realisierung zeigt das Beispiel Q-Cells: "Die Idee einer aus Pixeln zusammengesetzten Werbefassade wird durch die Wahl quadratischer Module analog zu den quadratischen Zellen unterstützt. Die dunklen Klemm-

<sup>605</sup> Vgl. Eicker 2012, S. 256.

<sup>606</sup> Vgl. Hemmerle 2016b, S. 101.

<sup>607</sup> Vgl. Fraunhofer ISE 2022, S. 41.



leisten verschwinden gegenüber den hellen Solarzellen in der Fläche der blauen Zellen, sodass die Schrift umso deutlicher hervortritt."<sup>608</sup> Dabei können zahlreiche Aspekte einer CI, bis hin zu Formensprachen und Transparenzen in photovoltaisch aktiven Elementen umgesetzt werden, wie am Beispiel Merck zu sehen ist (vgl. Abb. 75, unten rechts). Eine weitere Option ist die Verwendung eigener Produkte, wenn diese aus dem engeren oder weiteren Bereich der BIPV-Technologie stammen.



Abb. 75: Beispiele einer BIPV-Gestaltung nach Unternehmens-CI (v. o. l. n. u. r.): Omicron Stammsitz in Klaus (Omicron), PV-Pylon am Porsche Zentrum Berlin-Adlershof (eigene Aufnahme), Q-Cells-Standort in Thalheim (Handelsblatt/dpa), Trafostation mit organischen PV-Zellen am Merck-Standort in Darmstadt (Taiyo Europe GmbH)

### 17. Atmosphärische Effekte

Insbesondere semitransparente und transluzente Bauteile in der Gebäudehülle bieten die Möglichkeit atmosphärische wahrnehmbare Effekte zu erzeugen, die von (bunten) Lichtfiltern, über Schattenspiele bis hin zu Reflexionen reichen können.

### 18. Ästhetische Qualität

Solaraktive Bauteile sind hochwertige Bauteile und bieten im Bereich der gesamten Gebäudehülle die Möglichkeit, hohe ästhetische Qualität zu generieren, bei großflächiger Anwendung ebenso wie im Bereich einzelner gestalterischer Akzente. Welche Eigenschaften das Erscheinungsbild der solaraktiven Bauteile hierbei besonders prägen, wird im folgenden Abschnitt 4.1.3 erläutert.

<sup>608</sup> Lüling 2009, S. 160-161.

### 4.1.3 Gestaltprägende Eigenschaften

Aufgrund ihrer speziellen Entwicklungsgeschichte der Energieversorgung von Satelliten im All und aus herstellungstechnischen Gründen ergeben sich einige gestaltprägende Eigenschaften von BIPV-Systembauteilen, die z. T. stark von den Eigenschaften üblicher Baumaterialien abweichen und sehr dominant wirken können. Da es sich bei der PV um ein halbfertiges Verbundprodukt handelt, haben auch die Trägermaterialien einen wesentlichen Einfluss. Dieser Abschnitt zeigt auf, wovon die Erscheinung von BIPV-Bauteilen abhängt, in welchem Rahmen es möglich ist, Einfluss hierauf zu nehmen und welche Bauprodukttypen hierfür derzeit zur Verfügung stehen.

#### 1. Farbigkeit

Die Farbigkeit photovoltaischer Bauteile ist einer der Hauptfaktoren, der ihr Erscheinungsbild stark beeinflusst. Mittlerweile können aber nahezu alle Bestandteile von Solarmodulen farblich gestaltet werden. Sowohl die Zellen selbst als auch z. B. Deckgläser, Folien oder Lamine an unterschiedlichen Positionen im Modulaufbau können farblich verändert werden. Aktuell ist ein Entwicklungsstand erreicht, an dem es diesbezüglich fast keine Beschränkungen mehr gibt.<sup>609</sup> Abhängig von der spezifischen Technologie des Einfärbens, können farbige Module allerdings gegenüber herkömmlichen eine um 10 - 30 % deutlich verringerte Leistung haben.<sup>610</sup>



Abb. 76: Beispiele für Farbeffekte auf kristallinen Siliziumzellen, die durch unterschiedliche Dicken der Antireflexbeschichtung erzeugt werden (lofsolar)

In erster Linie ist die farbliche Erscheinung eines Moduls abhängig von der Zellart, sofern die Zellen sichtbar sind. Insbesondere in der gesellschaftlichen Wahrnehmung dominiert weiterhin das Bild der schillernd blauen, polykristallinen Solarzelle. Dabei sind der farbigen Erscheinung unterschiedlicher Zell-Technologien heute kaum mehr Grenzen gesetzt. Bei monokristallinen Zellen werden die Wafer wie eine Kerze aus einem einzigen Kristall gezogen, daher erscheinen sie homogen. Polykristalline Zellen dagegen werden aus Zellblöcken hergestellt, bei deren Erstarren die charakteristischen Kristalle entstehen. Kristalline Zellen bevorzugen langwelliges Licht; dadurch wird die Lichtreflexion hauptsächlich im roten Spektralbereich verringert und die Zellen erscheinen überwiegend blau bis schwarz. Charakteristisch bei polykristallinen Zellen sind insbesondere die einzelnen, gezackten Flecken, die bei sich ändernden Lichtverhältnis-

<sup>609</sup> Vgl. Schwarzburger 2021, S. 60.

<sup>610</sup> Vgl. ebd., S. 62.

sen kinogrammähnlich umspringen können.<sup>611</sup> Bei Dünnschichtzellen wird das Silizium nur hauchdünn auf ein Trägermaterial aufgedampft oder aufgesprüht. Durch die unterschiedlichen chemischen Herstellungsverfahren entstehen eher schwarze Farben mit unterschiedlichem rotem, bläulichem oder grünlichem Schimmer. Farben von Solarzellen sind insbesondere von der Antireflexschicht bestimmt, die in der Produktion auf die Solarzellen aufgebracht wird, um möglichst viel Einstrahlung zu absorbieren. Unbeschichtete Siliziumzellen sind grau. Um ihre farbliche Erscheinung zu beeinflussen, kann die Antireflexschicht in der Dicke geändert oder ganz weggelassen werden (vgl. Abb. 76). So können grundsätzlich alle Farben des Regenbogens erzeugt werden und dies im Vergleich zu anderen farbändernden Technologien auch vergleichsweise preiswert. Der Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Zellen durch Oberflächen-Reflexionsverluste liegt zwischen 3 und 30 %.<sup>612</sup>



Abb. 77: Die farbliche Erscheinung von Solarmodulen, an unterschiedlichen Positionen im Modul beeinflusst: auf Hintergrundgläsern am Firmengebäude der WetterOnline GmbH in Bonn (oben: Sunovation) und an der Rückseite von Deckgläsern am Mehrfamilienhaus Hofwiesen-/Rothstraße in Zürich (unten: eigene Aufnahmen)

Eine einfache und weit verbreitete Möglichkeit, Solarmodule in ihrer farblichen Erscheinung zu beeinflussen, ist die Verwendung bedruckter bzw. durchgefärbter Gläser oder Milchgläser an unterschiedlichen Positionen eines Moduls. Der Kreativität sind kaum Grenzen gesetzt bezüglich der Farbwahl, ob Sieb- oder Digitaldruck, vollflächiger Überdeckung oder der Erzeugung von Bildern, Logos oder Mustern. Wird z. B. die Hintergrundfarbe von Glas-Glas-Modulen voll-

<sup>611</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 35.

<sup>612</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 19.

flächig bedruckt und an die Farbe der gewählten Solarzelle angepasst, entsteht ein homogener Eindruck, insbesondere in Kombination mit teilbedruckten Frontgläsern. Die Zelltechnik bleibt leicht sichtbar und die Effizienz der Module hoch (vgl. Abb. 77, oben). Farbe kann auch vollflächig z. B. mittels digitalkeramischen Drucks im gewünschten Ton auf der Rückseite des Deckglases aufgebracht werden. Ist das Deckglas dann noch entspiegelt und satiniert, erscheint es matt und kaum mehr wie eine Glasfassade (vgl. Abb. 77, unten).

Eine weitere Technik, PV-Module mit mehrfarbigen keramischen Motivdrucken zu versehen, wurde an der Hochschule Luzern entwickelt. Der sogenannte Meta-C-Print kann sowohl an der Innen- als auch an der Außenseite des Frontglases aufgebracht werden. Er ermöglicht durch eine Anpassung der Druckdateien mit unterschiedlichen Transparenzen trotz der Mehrfarbigkeit eine homogene Lichttransmission und verhindert Hotspots (vgl. Abb. 78).<sup>613</sup>

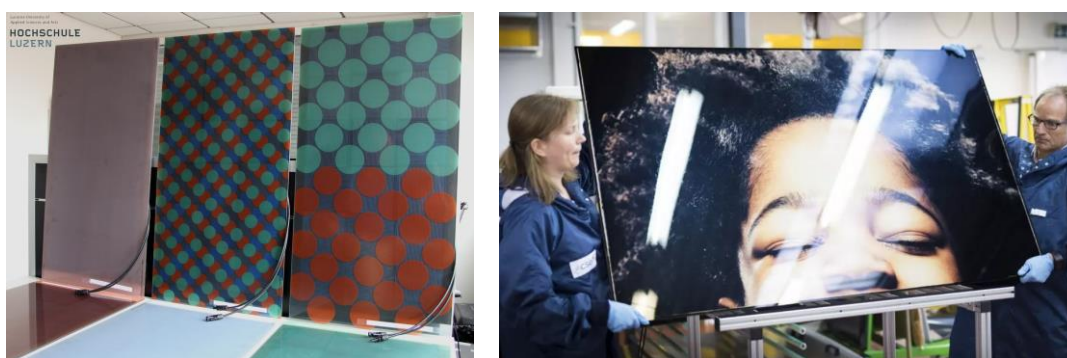


Abb. 78: Mit mehrfarbigen Mustern und Motiven bedruckte PV-Module (HSLU)

Des Weiteren wird häufig mit Farbfolien gearbeitet, die auf Deckgläser aufgebracht, in das Laminat eingeschweißt oder als Rückseitenfolien verwendet werden. Sie bestehen meist aus PET oder PVB und können in allen möglichen Farben zur Anwendung kommen. Die elektrische Effizienz hängt hier von der Farbe und der Transparenz der verwendeten Folien ab. Mittlerweile sind mit dieser Technik sogar weiße Module möglich. Der Hersteller Solaxess entwickelte auf der Grundlage von am Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM) registrierten Patenten eine Technologie, bei der über das äußere Glas der Module eine mehrschichtige Kunststoffbeschichtung aus Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE) laminiert wird, die nur das sichtbare Licht reflektiert. Dieses Verfahren lässt die Module für menschliche Augen weiß erscheinen, während der übrige, infrarote und ultraviolette Teil des Lichts weiterhin verwendet werden kann (vgl. Abb. 79).<sup>614</sup>

<sup>613</sup> Vgl. Roeske 2017, S. 48.

<sup>614</sup> Vgl. Röthlisberger 2017, S. 58; Produktinformationen, unter: [www.solaxess.ch/de/photovoltaik-module-pv/innovation-par-la-couleur](http://www.solaxess.ch/de/photovoltaik-module-pv/innovation-par-la-couleur) [14.02.2022].



Abb. 79: Weiße Module an einem Gebäude in Quzhou im Osten Chinas (links: Solaxess, rechts: Solarwende Berlin/Heiko Schwarzburger)

Eine weitere Möglichkeit sind Lösungen im Bereich der Beschichtung von Deckgläsern. Eine an der EPFL in Lausanne entwickelte Beschichtung ermöglicht beispielsweise, mittels physikalischer Gasphasenabscheidung (PVD) eine farbige Schicht auf die Glasinnenseite von Deckgläsern aufzutragen, die nur bestimmte Teile des Lichts reflektiert und einen Wirkungsgradverlust von nur wenigen Prozenten aufweist (vgl. Abb. 80).<sup>615</sup>



Abb. 80: Farbige Module mit an der EPFL entwickelten Farbfiltern für Solargläser am Hauptsitz von Doma Solartechnik in Satteins (AT) (links: Electrek; rechts: Swissinso)

Darüber hinaus können auch viele andere Teile der Module oder des Generators farbig gestaltet werden gem. den Möglichkeiten der farblichen Gestaltung der verwendeten Materialien wie z. B. Metalle, Kunststoffe oder Klebstoffe.

## 2. Zell- und Modulabmessungen

Entscheidend für die Erscheinung einer PV-Anlage sind auch die Abmessungen von Zellen und Modulen sowohl bezüglich ihrer Form als auch ihrer Größe.

<sup>615</sup> Vgl. Produktinformationen, unter: [www.swissinso.com/technology](http://www.swissinso.com/technology) [15.02.2022].

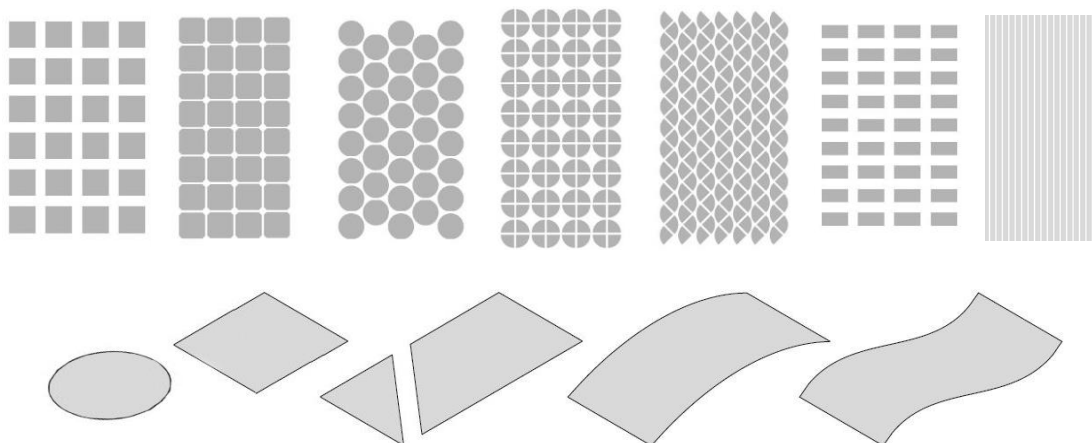


Abb. 81: Unterschiedliche Zell- und Modulformen (Weller et al. 2009, S. 42, 44, eigene Zusammenstellung und Bearbeitung)

Formen kristalliner Zellen resultieren aus deren Herstellungsprozess. Dieser führt bei polykristallinen Zellen in der Regel zu quadratischen Formen mit abgerundeten Ecken und bei monokristallinen Zellen zu reinquadratischen Formen jeweils mit einer Kantenlänge von 10 - ca. 15 cm.<sup>616</sup> Werden die Zellen weniger beschnitten, lassen sich auch andere Formen, z. B. Rund oder Halbrund, herstellen (vgl. Abb. 81, oben). Bei Dünnschichtzellen besteht grundsätzlich keine Beschränkung in Bezug auf ihre Form, in der Regel ist ihre Größe durch standardisierte Trägermaterialien vorgegeben, auf die sie vollflächig mit feinen, linienförmigen Kontaktmustern aufgebracht werden.

PV-Module sind mittlerweile in nahezu allen Formen und Größen am Markt vorhanden (vgl. Abb. 81, unten). Standardmodule mit kristallinen Zellen sind häufig Glasmodule, die ca. 0,6 x 1,0 m groß sind. Bei Dünnschichtmodulen sind zusätzlich Folien- oder Metall-Trägermaterialien verfügbar, sodass sie auch in flexibler Form und in Übergrößen verfügbar sind. PV-Module sind vielfach in standardisierten Größen verfügbar, die sich unter Gesichtspunkten der Energieausbeute, Kosteneffizienz, Standard-Wafergrößen, Montage-Positionen von Unterkonstruktionen und Handhabbarkeit etabliert haben. Insbesondere im Bereich der Gebäudeintegration spielen angepasste Formen aber eine wichtige Rolle, denn die Abmessungen der Module haben großen Einfluss darauf, in welcher Maßstäblichkeit ein Generatorfeld erscheint, z. B. im Bereich von Dachdeckungen, die häufig eher kleinteilig sind. Um unregelmäßige Modulformen mit Zellen auszufüllen, stehen verschiedene Möglichkeiten, z. B. die Verwendung zugeschnittener, nicht angeschlossener Zellen oder „Zelldrucke“, zur Verfügung. Neue Entwicklungen im Zusammenhang mit Planungs- (CAD) und Fertigungstechnologien (CAM, CIM) ermöglichen mittlerweile aber auch, dass selbst Kleinserien von Sondermodulen rentabel sein können.

<sup>616</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 25.



Abb. 82: Solaraktive Dachziegel und Schindeln verfügbar in unterschiedlichsten Formen von verschiedenen Herstellern (v. o. l. n. u. r.: Autarq; Nelskamp; SunStyle; 3S Solar Plus)

Einen speziellen Bereich bilden Sondermodule in Form von Dachziegeln oder Schindeln, die in ihren Abmessungen an traditionelle Dachdeckungsmaterialien angelehnt sind. PV-Dachziegel werden von einer Reihe von Herstellern angeboten, sowohl mit als auch ohne abdichtende Funktion. Sie sind z. B. verfügbar als Ziegel aus Keramik, Kunststoff oder Schiefer mit Vertiefungen, in die die Solarzellen eingesetzt werden (vgl. Abb. 82, oben), oder auch als kristalline Glas-Glas-Module, die wie Schindeln oder flächig selbst zur Dacheindeckung verwendet werden (vgl. Abb. 82, unten).

### 3. Lichttransmission/Transparenz

Die Transparenz von Solarmodulen hat großen Einfluss darauf, ob sie opak, semitransparent oder transluzent wirken, also sich für Einsatzbereiche im Kontext von Fenstern eignen, für geschlossene Fassadenbereiche oder z. B. für Abschattungen. Dabei haben sowohl die Belegungsichte und die Transparenz der Zellen selbst als auch die der verwendeten Rück- und Deckmaterialien Einfluss auf Lichttransmission und Durchsicht.

Eine einfache Möglichkeit, semitransparente Module zu erzeugen, besteht darin, innerhalb von Glas-Modulen den Zellabstand, z. B. bei kristallinen Zellen, zu variieren und hierdurch eine partielle Transparenz zu erzeugen. Die Abstände sind dabei frei wählbar. Möglich ist es grundsätzlich auch, Transparenzen mit Zellen unterschiedlicher Formen und Größen innerhalb eines

Moduls zu erzeugen.<sup>617</sup> Sinnvoll in Bezug auf den Stromertrag ist eine Gesamttransparenz von 15 - 40 %.<sup>618</sup> Dabei können auch an einem Gebäude unterschiedliche Modultypen mit verschiedenen Transparenzgraden zum Einsatz kommen und so über unterschiedlichen Bereichen dichter oder durchlässiger mit Solarzellen belegt werden oder spezifische Verschattungsmuster bilden (vgl. Abb. 83). Auch bei Dünnschichtzellen lässt sich eine Semitransparenz herstellen, indem der Abstand zwischen den Zellstreifen erhöht wird.

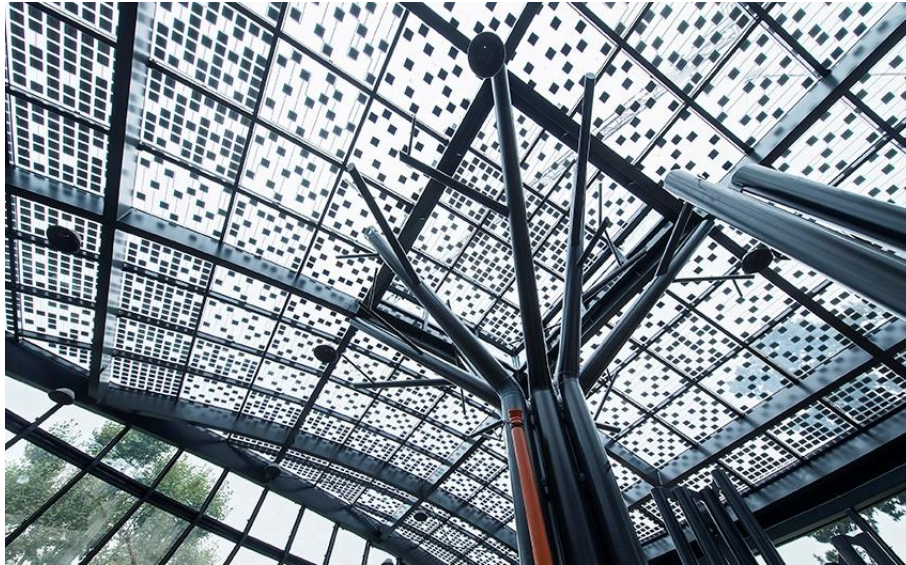


Abb. 83: Unterschiedliche Modul-Belegungsichten imitieren ein Blätterdach am Giraffenhaus im Tiergarten Schönbrunn in Wien (Altbauneu/Zupanc)

Des Weiteren kann eine Teiltransparenz durch die Verwendung von perforierten Zellen erreicht werden. Kristalline Lochzellen lassen sich beispielsweise durch eine gekreuzte Nutung oder durch eine Perforation mittels Laser herstellen (vgl. Abb. 84, links). Auch Dünnschichtmodule können semitransparent hergestellt werden. Mithilfe z. B. von Lasern, die Teile der solaraktiven Schicht entfernen, können feine Muster erzeugt werden. Im Bereich der Dünnschicht-Technik kann ein hoher Transparenzgrad erreicht werden, da die Zellen selbst zum Teil durchsichtig sind (vgl. Abb. 84, rechts). Durch die farbliche Anpassung von Deck- und Rückseitengläsern kann so mit Dünnschicht-Modulen eine getönte Volltransparenz erzeugt werden. Auch der Bereich der organischen PV-Technik bietet den Vorteil, dass der Zelltyp selbst helle und durchsichtige Solarzellen ermöglicht. Ihre Transparenz ergibt sich aus dem Füllgrad und der Farbe der Polymere.<sup>619</sup>

---

<sup>617</sup> Siehe hierzu das Projekt Design2PV des Fraunhofer ISE, der HTWG Konstanz u. a., dessen Konzept einen hohen Gestaltungsspielraum ermöglicht, indem viele kleine Teilzellen innerhalb eines Moduls durch eine Vieldrahtverschaltung zu freien Zellclustern angeordnet werden können. Näheres unter: [www.design2pv.de/pilotprojekt.html](http://www.design2pv.de/pilotprojekt.html) [14.02.2022].

<sup>618</sup> Vgl. Schwarzburger 2021, S. 65.

<sup>619</sup> Vgl. ebd., S. 66.



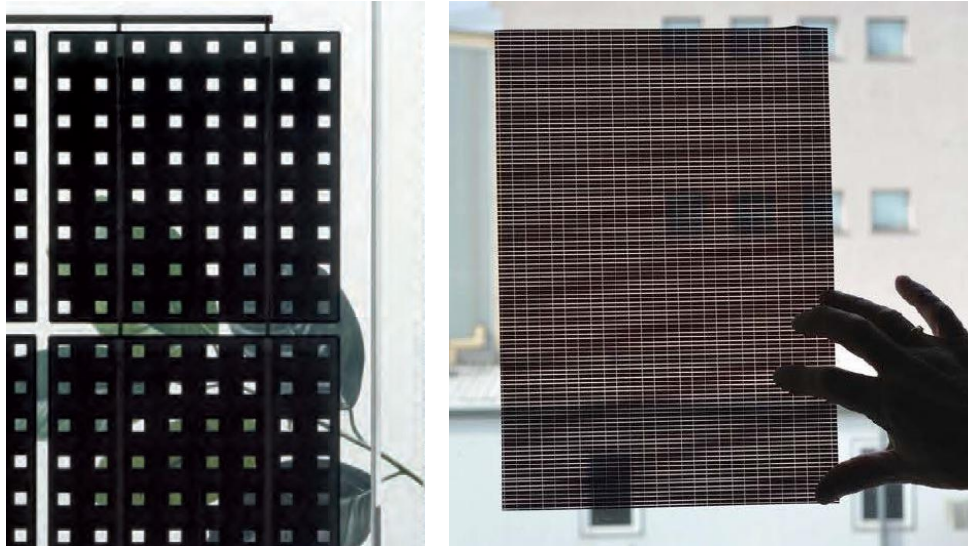


Abb. 84: Teiltransparenzen durch perforierte Zellen an kristallinen Zellen (links: Weller et al. 2009, S. 46) sowie Dünnschichtzellen (rechts: Schwarzburger 2021, S. 69)

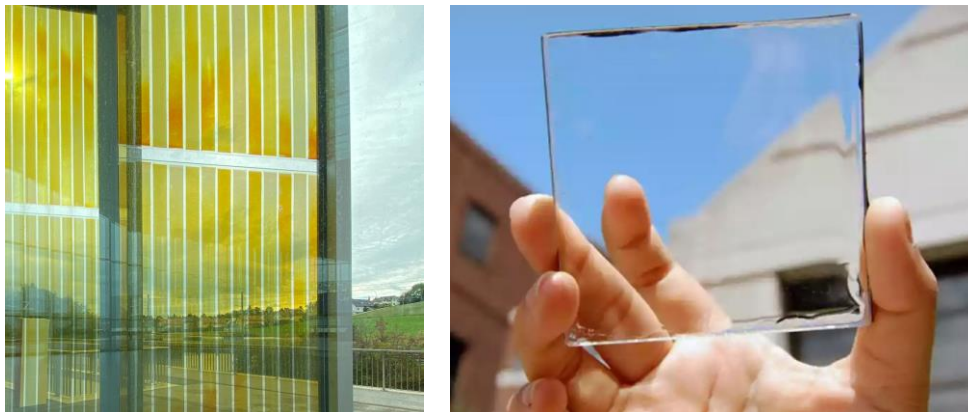


Abb. 85: Beispiele selbst transluzenter Zellen: Grätzel-Zellen (links: eigene Aufnahme) und Salzmolekül-Zellen (rechts: Michigan State University)

Neueste Forschungen haben weltweit bereits auch zu der Entwicklung völlig glasklarer Zellen geführt. Ein Beispiel hierfür ist ein Projekt der State University Michigan, bei dem eine photovoltaisch aktive Schicht aus organischen Salzmolekülen auf eine Scheibe aufgebracht wird, die nur den ultravioletten und infrarotnahen Teil des Lichts nutzt, der für das Auge nicht sichtbar ist (vgl. Abb. 85, rechts).<sup>620</sup>

Die wesentlichen sonstigen Bestandteile von Solarmodulen, die Einfluss auf dessen Transparenz und Transluzenz nehmen, sind die Rück- und Deckseiten sowie das Verkapselungsmaterial, das z. B. aus Tedlar, EVA oder PVB besteht. Dünnschichtzellen können von unten an eine ETFE-Folie laminiert werden, eingekapselt in EVA. Glasmodule können auch an der Rückseite mit völlig klarem Glas versehen werden.

<sup>620</sup> Zum neuesten Stand der Forschung vgl. Li et al. (2020): Color-neutral, semitransparent organic photovoltaics for power window applications, unter: [www.pnas.org/content/117/35/21147](http://www.pnas.org/content/117/35/21147) [24.01.2022].

Semitransparente Module haben ein großes Potenzial, durch Licht- und Schattenspiele atmosphärische Lichtstimmungen zu erzeugen. Von kristallinen Zellen mit vergrößerten Abständen über semitransparente Zellen bis hin zu transluzenten Zellen wirkt die Schattenprojektion dabei immer homogener. Die Schattenmuster sind allerdings abhängig von weiteren Rahmenbedingungen wie z. B. dem Abstand zur Projektionsfläche, dem Betrachtungsabstand oder dem Helligkeitsunterschied zwischen innen und außen.<sup>621</sup> Störende Muster können durch Zwischenschichten abgemildert werden können.

#### 4. Oberfläche

Die Oberfläche von Solarmodulen ist insofern gestaltprägend, als Eigenschaften wie matt, glänzend, spiegelnd oder sogar blendend den Bauteilen jeweils ein völlig unterschiedliches Erscheinungsbild verleihen können. In der Regel ist die Oberfläche der Deckschicht von PV-Modulen, wie z. B. Gläser, mit einer Antireflexschicht versehen, um möglichst viel Licht zur Stromproduktion zu nutzen. Bereits diese Schicht lässt die Bauteile leicht matt erscheinen. Es gibt aber auch die Möglichkeit, Deckmaterialien noch stärker zu beschichten oder mit subtraktiven Verfahren zu behandeln, um sie noch matter erscheinen zu lassen.<sup>622</sup> In der Regel geht dies mit Einbußen in Bezug auf den Wirkungsgrad einher und kann außerdem eine schnellere Verschmutzung begünstigen.

Subtraktive Verfahren der Bearbeitung der Oberfläche von Deckgläsern sind z. B. Ätztechniken oder das Sandstrahlen. Beim Sandstrahlen können auch fertige Module mit Floatglas behandelt werden. Hierfür entschied man sich bei einem Mehrfamilienhaus in Brütten, wodurch die schwarzen Dünnschichtmodule homogen und anthrazitfarben matt wurden und nun keine Reflexionen im Glas mehr sichtbar sind (vgl. Abb. 86). Das Ätzen von Frontgläsern, z. B. mit Flusssäure, kann nicht an fertigen Modulen erfolgen.



Abb. 86: Durch Sandstrahlen der Deckgläser matt erscheinende Dünnschichtmodule an der Fassade eines Mehrfamilienhauses in Brütten (links: Weller et al. 2009, S. 43; rechts: Umweltarena)

<sup>621</sup> Vgl. Rechberger 2015, S. 3.

<sup>622</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 44.

Darüber hinaus gibt es auch die Möglichkeit, Ornamentgläser zu verwenden, die mit einem speziellen, makroskopischen Oberflächenrelief versehen sind und den Stromertrag erhöhen, indem sie bei geringer Sonneneinstrahlung Streulicht in einer Art Lichtfalle mehrfach reflektieren. Diese Ornamentgläser erscheinen allerdings eher nicht matt, sondern gebrochen-spiegelnd (vgl. Abb. 87).<sup>623</sup>

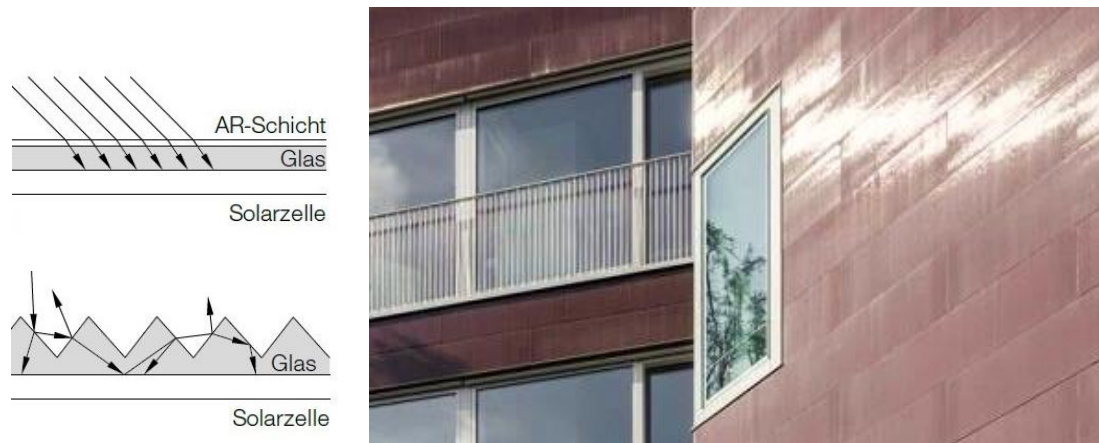


Abb. 87: Gebrochen-spiegelnde Solarmodule mit prismenförmige Rillen-Deckgläsern am Mehrfamilienhaus Solaris in Zürich (links: Weller et al. 2009, S. 43; rechts: Swiss Architects/Beat Bühler)

Auch das Reflexionsverhalten von Bauelementen wird von deren Oberfläche beeinflusst. Größe und Art der Reflektion werden bestimmt von Einfallswinkel, Oberflächenbeschaffenheit, Wellenlänge, Polarisierung und Materialeigenschaft.<sup>624</sup> Es gibt Vorschriften, welche Blendwirkungen zumutbar sind. In der Regel reduzieren bereits die Antireflex-Beschichtungen die Blendenergie, z. B. gegenüber glattem VSG. Ist das Reflexionsverhalten dennoch störend, lässt sich Abhilfe meist durch minimale Veränderungen der Ausrichtung oder Neigung oder auch durch das Weglassen einzelner Module schaffen. Werden Rahmen oder Befestigungsteile im sichtbaren Bereich verwendet, nehmen auch ihre Oberflächenbeschaffenheiten Einfluss auf die optische Erscheinung der Gesamtanlage. Gemäß den Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung der verwendeten Materialien können aber auch diese Teile vielfältig gestaltet werden.

### 5. Modulaufbau

Der Modulaufbau beeinflusst das Erscheinungsbild insofern, als unterschiedliche PV-Techniken mit einem unterschiedlichen Aufbau einhergehen. Dies beeinflusst z. B. die Aufbaudicke der Bauteile bzw. deren sichtbare Schichttiefe. Dünnschichtzellen können auf Folien oder Bleche aufgebracht werden, während kristalline Zellen starr sind und in der Regel zwischen Glas montiert werden. Außerdem entsteht viel Verlust beim Schneiden der runden Wafer in rechteckige Zellformen, weshalb sie häufig quadratisch mit beschnittenen Ecken verwendet werden, wohingegen Dünnschichtzellen homogen und als Zellen kaum erkennbar erscheinen. Auch die Optionen, ein Modul mit oder ohne Rahmen aufzubauen, prägen dessen Erscheinungsbild stark. Die Wichtigkeit eines Rahmens liegt dabei in der Regel in dessen mechani-

<sup>623</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 44.

<sup>624</sup> Vgl. Krippner 2016, S. 141.

schen Eigenschaften, die Aspekte wie Handhabung, Lagerung, Erdung, Fixierung oder den Widerstand gegen mechanische Belastungen wie Wind und Schnee positiv beeinflussen. Bei kristallinen Zellen können zudem die beidseitig aufgedruckten Kontakte dominant erscheinen. Es gibt aber auch Rückkontaktzellen, bei denen von vorne keine Kontakte sichtbar sind, oder es besteht die Möglichkeit, Leiterbahnen einzufärben. Beim Aufbau von Glasmodulen haben, wie oben beschrieben, auch farbgebende Schichten wie die Antireflexschicht, Folien und Gläser Auswirkungen auf die Optik.

Der Modulaufbau beeinflusst auch die haptische Wirkung solaraktiver Bauteile, denn die Wirkung von Materialien spricht nicht nur den menschlichen Sehsinn an. Die haptische Wirkung von PV-Modulen reicht dabei je nach Trägermaterial bei Glas- oder Metallmodulen von hart, kalt, starr, glatt und schwer bis hin zu elastisch, dünn, weich und leicht bei Folienmaterialien.

### 6. Modulwirkungsgrad

Der Modulwirkungsgrad ist eine nicht zu unterschätzende Einflussgröße in Bezug auf die Erscheinung einer PV-Anlage, da er direkt bestimmt, wie viel Gesamtgeneratorfläche nötig ist, um eine bestimmte Menge Strom zu erzeugen. Soll ein spezifischer Deckungsgrad erzielt werden, kann ein niedriger Modulwirkungsgrad dazu führen, dass große Teile der Gebäudehülle solaraktiv sein müssen und eventuell Konflikte mit anderen Flächen der übrigen Fassade entstehen. Dagegen benötigt eine Anlage mit höherer Effizienz eventuell eine deutlich geringere Fläche (vgl. Abb. 88). Ist das Flächenangebot groß, bedeutet dies umgekehrt aber auch, dass ein besonders hoher Wirkungsgrad eventuell nicht nötig ist. Dabei ist der Wirkungsgrad der unterschiedlichen Zelltechniken spezifisch in Bezug auf konkrete Einbaubedingungen zu betrachten, z. B. im Hinblick auf den Einfluss des Schwachlichtverhaltens, der Verschattungsanfälligkeit oder der Temperaturempfindlichkeit. Das Schwachlichtverhalten amorpher Silizium-Module ist bspw. besser als das kristalliner Silizium-Module und Temperatureffekte sind bei Dünnschichtzellen eher geringer als bei kristallinen Modulen.<sup>625</sup> Um das Leistungsverhalten von Modulen über den kompletten Einstrahlungs- und Temperaturbereich abzubilden, sind viele Parameter zu berücksichtigen, über die entsprechende Datenblätter und Kennlinien Auskunft geben. Der spezifische Wirkungsgrad sollte also immer im Zusammenhang mit der konkreten Charakteristik potenzieller PV-Flächen, hinsichtlich Ausrichtung, Hinterlüftung, Strahlungsangebot und zusammen mit den übrigen Systemkomponenten wie z. B. dem Wechselrichterwirkungsgrad betrachtet werden.

---

<sup>625</sup> Vgl. Eicker 2012, S. 275.


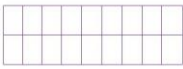
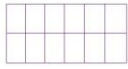
| Solarzellenmaterial                                       | Modulwirkungsgrad | benötigte Fläche für 1 Kilowatt peak | Modulwirkungsgrad | Flächenbedarf   |
|---|-------------------|--------------------------------------|-------------------|---|
| Silizium-Hochleistungszellen (rückseitenkontaktiert, HIT) | 17–20 %           | 5–6 m <sup>2</sup>                   | 11,5–20%          |  6–9 m <sup>2</sup> /kW <sub>p</sub>   |
| monokristallines Silizium                                 | 11–17 %           | 6–9 m <sup>2</sup>                   | 5–9%              |  11–21 m <sup>2</sup> /kW <sub>p</sub> |
| polykristallines Silizium                                 | 10–16 %           | 6–10 m <sup>2</sup>                  | 6–11%             |  9–17 m <sup>2</sup> /kW <sub>p</sub>  |
| Dünnschicht: Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)                | 7–14 %            | 7–12,5 m <sup>2</sup>                |                   |   |
| Cadmiumtellurid (CdTe)                                    | 7–13 %            | 9–17 m <sup>2</sup>                  |                   |   |
| mikromorphes Silizium                                     | 7–12 %            | 8,5–15 m <sup>2</sup>                |                   |   |
| amorphes Silizium   | 4–7 %             | 15–26 m <sup>2</sup>                 |                   |   |

Abb. 88: Zusammenhang zwischen Modul-Wirkungsgrad und Flächenbedarf unterschiedlicher Zelltechnologien (links: Krippner 2016, S. 38; rechts: Weller et al. 2009, S. 22)

### 7. Sonder- und Anschlusssteile

Bei der Aufteilung und Organisation solaraktiver Flächen spielt neben der Verfügbarkeit von Sondermodul-Formaten auch die von Sonderbauteilen eine große Rolle. Einfache orthogonale Dachformen und Fassadenflächen lassen sich häufig stimmiger mit Modulen ausfüllen als Walm- oder Mansarddächer oder geometrisch komplexe Fassaden, wo häufig Restflächen mit Anschnitten und unregelmäßigen Formen entstehen. Hier besteht die Möglichkeit, mit Sondermodulen, z. B. mit gestufter Zellanordnung oder einer farblich angeglichenen Rückseitenfolie sowie eventuell mit Dummy-Modulen, z. B. farblich passenden Blech-Elementen, zu arbeiten. Die Freiheit in der Form hängt dabei wesentlich von der Zelltechnik ab (vgl. Abs. 4.1.3, Punkt 2.). Im Umgang mit Öffnungen, wie etwa (Dach-)Fenstern, sind Komplettlösungen von Vorteil, bei denen Module und Dachfenstergrößen aufeinander abgestimmt sind (vgl. Abb. 89, links und Abb. 90, links). Darüber hinaus werden auch spezielle Eindeckrahmen und Anschlusssteile angeboten, mit denen Öffnungen in PV-Systeme integriert werden können. Auch bei Durchdringungen entscheiden neben generellen Überlegungen bzgl. ihrer Notwendigkeit und Positionierung innerhalb der Generatorfläche die Ähnlichkeit von Farbe und Materialität ihrer Anschlussmaterialien über ihr optisches Gewicht. Hier gibt es zahlreiche überzeugende Produkte, die Abgasanlagen, Lüftungsrohre u. a. optisch unauffällig in die PV-Anlage integrieren (vgl. Abb. 89, mittig). Ein weiterer großer Bereich für Sonder- und Anschlusssteile ist die Detailierung von Randbereichen solaraktiver Flächen. Ziel ist dabei in der Regel ein seitlicher Abschluss der PV-Fläche, der auf diese abgestimmt ist und nicht selbst optisch ins Gewicht fällt. Dies kann erreicht werden, indem die Solarfläche möglichst nah bis an den Rand gearbeitet wird und nötige Randmaterialien farblich und materiell an die Module angepasst werden (vgl. Abb. 89, rechts und Abb. 90, rechts).



Abb. 89: Beispiele gelungener Anschlussdetails im Dachbereich (links und rechts: Ernst Schweizer AG; mittig: 3S Solar Plus AG)

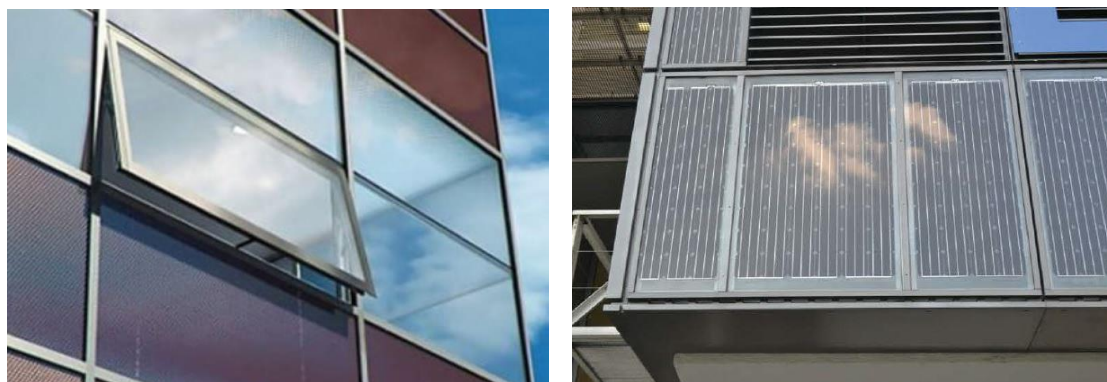


Abb. 90: Beispiele gelungener Anschlussdetails im Bereich der Fassade (links: Baunetzwissen/Schüco International KG; rechts: Schwarzburger 2021, S. 72)

### 8. Befestigungen

Die Art der Befestigung kann die Erscheinung der Gesamtanlage entscheidend prägen. Sie hängt in der Regel vom Trägermaterial der verwendeten PV-Technik ab. Je nachdem, auf welche Weise die Befestigungen ausgeführt werden, können sie mehr oder weniger dominant erscheinen.

Da Glasmodule optisch und funktional anderen Glas-Bauelementen stark ähneln, können sie leicht mit herkömmlicher Glasbefestigungstechnik installiert werden, also in linearer Lagerung, punktförmig oder in speziellen Fassaden-Systemen (vgl. Abb. 91). Hierfür existieren zahlreiche zugelassene Bauteile.<sup>626</sup> Bei zwei- oder mehrseitiger, linearer Lagerung können Module in Aluminium- oder Stahlrahmen eingefasst werden. Rahmenlose Module können mit Press- oder Glashalteleisten befestigt oder umlaufend mit der Unterkonstruktion verklebt werden. Für eine punktförmige Halterung kommen Laminatklammhalter in der Fuge, Klemmsysteme in den Modulecken, Clipsysteme in den Fugen, Punkthalter in durchbohrten Glasscheiben mit versenktem oder aufgesetztem Kopf oder Hinterschnittanker in Frage. Eine weitere geeignete Befestigungsart ist die Verwendung von PV-Modulen in Pfosten-Riegel-, oder Structural-(Sealant-) Glazing-Systemen.

<sup>626</sup> Für einen umfassenden Überblick hierzu vgl. Weller et al. 2009, S. 52-54.

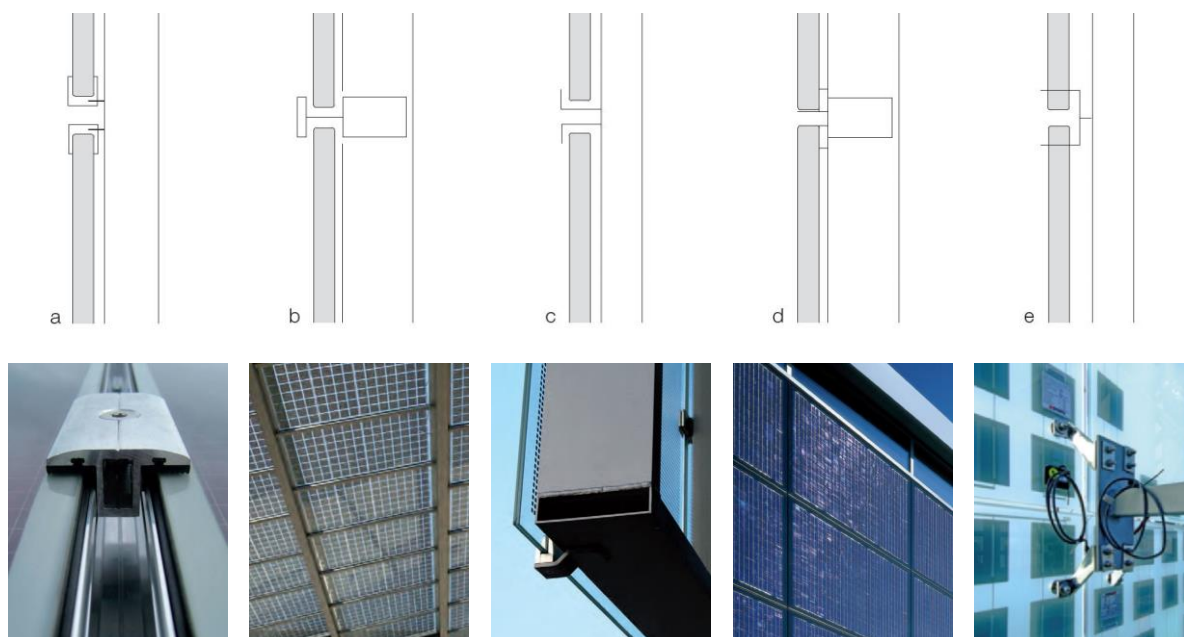


Abb. 91: Prinzipielle Befestigungsmöglichkeiten für Glasmodule: (a) Befestigung der Rahmung, (b) lineare Klemmung, (c) punktuelle Klammerung, (d) Klebung und (e) Bohrung (oben: Weller et al. 2009, S. 52, unten v. l. n. r.: Weller et al. 2009, S. 54, 61, 63; Roberts/Guariento 2009, S. 95, 85)

Bei den übrigen Trägermaterialien photovoltaischer Bauteile wie Metallen, Folien oder bei solaren Dachziegeln entsprechen die Befestigungsmöglichkeiten den für diese Materialien üblichen Bauteilen und Systemen.

### 9. Alterungsverhalten

Das Alterungsverhalten von BIPV-Bauteilen unterscheidet sich von dem vieler üblicher Baumaterialien, da es sich im Wesentlichen um Glas- und Metallteile handelt. Gläser können ihre optischen Eigenschaften aufgrund ihrer Härte und chemischen Resistenz über Jahrhunderte behalten. Auch Kunststoffe bewahren Eigenschaften, wie z. B. ihre Transparenz, über den Zeitraum ihres Einsatzes.<sup>627</sup> Im Vergleich zu anderen Materialien der Gebäudehülle oder der umgebenden Bebauung können so Alterungskontraste entstehen, wenn sich z. B. bei natürlichen Materialien mit der Zeit Unregelmäßigkeiten in Farbe und Oberfläche deutlicher abzeichnen. „Im Gegensatz zu PV-Modulen gewinnen natürliche Materialien gewöhnlich mit der Zeit an Ausdruck und ästhetischer Qualität.“<sup>628</sup> Bei der Integration von PV in die Gebäudehülle sollte dieses eventuell unterschiedliche Alterungsverhalten berücksichtigt werden.

## **4.2 Verschiedene Zielsetzungen bei der Gestaltung von BIPV**

Wie bei den meisten Bauprojekten, sind auch bei solchen, bei denen Photovoltaik in die Gebäudehülle integriert werden soll, zahlreiche Beteiligte in verschiedenen Phasen und auf unterschiedlichen Seiten beteiligt, die unterschiedliche Interessen vertreten. Dabei sind in der Regel auch die Ziele guter Gestaltung relevant. Projektspezifisch kann aber durchaus stark variieren, welches Gewicht Kriterien guter Gestaltung allgemein zukommt, bzw. welche Rele-

<sup>627</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 38.

<sup>628</sup> Ebd.

vanz einzelne Kriterien haben sollen. Auch der Grad der Gestaltprägung durch die PV kann im Kontext konkreter Projekte individuell gesetzt werden.

#### 4.2.1 Beteiligte, Interessen und Zielkonflikte

Entsprechend den zahlreichen unterschiedlichen Anforderungen, die bei der Integration von PV-Bauteilen in die Gebäudehülle in Rahmen der Planung zu berücksichtigen sind, gibt es häufig viele Beteiligte mit unterschiedlichen Zielsetzungen. Im Aufgabenbereich von Architekt/innen liegt grundsätzlich die Erstellung eines mängelfreien Bauwerks einschließlich aller Grundleistungen und sämtlicher vereinbarter Teilleistungen, sobald sich die vertraglich vereinbarte Leistung an der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) orientiert.<sup>629</sup> Neben einem grundsätzlichen Wunsch nach guter Gestaltung, der sicher die allermeisten Architekt/innen antreibt, sind wesentliche gestalterische Planungsinhalte und -ziele konkret in den ersten Leistungsphasen 1 - 5 beschrieben. Insbesondere in der Leistungsphase 1, der Grundlagenermittlung, ist es wichtig, dass alle relevanten Bedürfnisse und Vorgaben aller Beteiligten bzgl. der Integration von PV ermittelt werden. Hierbei kann es sowohl Architekt/innen geben, die bereits umfassend informiert oder erfahren sind und eine besonders vorbildhafte oder herausragende Gestaltqualität anstreben, während andere sich z. B. auf Wunsch der Auftraggebenden zunächst mit dem Thema vertraut machen müssen. Auch private oder öffentliche Bauherr/innen können gezielt den Wunsch an das Planerteam herantragen, Photovoltaik in die Gebäudehülle zu integrieren. Dabei reichen die Beweggründe von einer umweltfreundlichen Energieversorgung über eine spezifische oder maximale Eigenenergieerzeugung, niedrige Betriebskosten oder eine besonders stabile und wirtschaftliche Energieversorgung bis hin zu wirtschaftlichen Überlegungen hinsichtlich der Förderfähigkeit eines Projektes, der Erzielung höherer Nettokaltmieten aufgrund niedriger Energiekosten oder der einfacheren Vermarktung aufgrund von Green-Building-Label-Zertifizierungen. Auch Aspekte einer spezifischen Außenwirkung im Hinblick auf die Corporate Identity von Auftraggebenden, eine allgemeine Vorbildhaftigkeit oder Repräsentation können eine Rolle spielen. Auf Seiten der Fachplaner/innen aus den Bereich Elektro, Fassade, Tragwerk u. a. stehen in der Regel, neben der Sicherheit und der Ausführung nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik von BIPV-Systemen, deren Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Ausgewiesene Solar-Fachplaner/innen bieten dabei besondere Expertise, wenn es darum geht, die Möglichkeiten und Fähigkeiten der PV-Technik unter Beweis stellen oder technische Innovation zu demonstrieren, während Energiekonzept-Spezialist/innen ein grundsätzliches ökologisches Interesse an nachhaltiger Energieversorgung einbringen und dieses mit der Suche nach energetischen Potenzialen und spezifischen, optimalen Energiebilanzen verbinden. Aufgaben der Baubehörden im Planungs- und Realisierungsprozess von Gebäuden betreffen Aspekte von Baurecht, Bauregeln und -normen und weiteren Vorschriften. Ihr Interesse bei der Integration von Photovoltaik in Gebäude gilt insbesondere der Überwachung ihrer Einhaltung und Umsetzung. Insbesondere Denkmalschutzbehörden fordern in diesem Zusammenhang zumeist die weitgehende Unsichtbarkeit von Photovoltaik zum Schutz des Altbestands. Interessen von Mieter/innen oder Nutzer/innen können im Zusammenhang mit der BIPV-Technik Bereiche wie niedrige

---

<sup>629</sup> Vgl. HOAI (2015), Einführung, S. XXXIV-XXXVI.



Energiekosten oder Aspekte von Behaglichkeit oder Komfort und die Einflussmöglichkeiten hierauf betreffen. Weitere Interessengruppen im Planungsprozess sind beispielsweise auch Anwohner/innen, die sich um das Gesamtbild bei Einfügung einer PV-Anlage in den gewohnten Kontext sorgen oder sich eine Aufwertung der Umgebung wünschen. Darüber hinaus können natürlich immer auch weitere, individuelle Ziele eine Rolle spielen.

Insgesamt können also schon vor Baubeginn Konflikte entstehen zwischen den Interessen der am Planungsprozess Beteiligten bzw. den darin involvierten Rechtsgütern. So ist im Einzelfall sorgsam abzuwägen z. B. zwischen dem Interesse der Denkmalschutzbehörden an Belangen eines Einzeldenkmals und dem Interesse eines/r Bauherr/in an der Errichtung einer Solaranlage zum Klimaschutz und der Energiewende als einem öffentlich-rechtlichen Gut. Oft stößt auch die von Architekt/innen gewünschte Planungsfreiheit und ästhetische Unabhängigkeit an die durch Fachplaner/innen kommunizierten technischen Machbarkeitsgrenzen. Schon bevor Fragen spezifisch ästhetischer Detaillösungen überhaupt relevant werden, kann so eine Gemengelage unterschiedlicher Ziele entstehen, die projektbezogen stark voneinander abweichen können.

In jedem Fall sollten in eine BIPV-Planung die entsprechenden Fachplaner/innen möglichst frühzeitig einbezogen werden, da diese immer eine individuelle energetische und anlagentechnische Betrachtung erfordert. Ziel sollte eine Verbindung der Interessen und spezifischen Fachgebiete aller Beteiligten sein. Dabei bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Zusammenarbeit zu koordinieren. Der Kommunikation kommt in diesem Prozess allgemein eine hohe Bedeutung für die Aufgaben zu, Ziele zu definieren und Schnittstellen zu identifizieren. Es kann durchaus nötig sein, das Energiesystem und die Gebäudeoberfläche in mehreren Durchgängen zu optimieren und einen dafür eventuell anfallenden Mehraufwand zu leisten. Dabei hat die anstehende Digitalisierung des Planungs- und Bauprozesses auf der Basis des Building Integration Modeling (BIM) hohes Potenzial, die Kommunikation der am Bau beteiligten Planer/innen zu vereinfachen.<sup>630</sup>

Nachdem die Anpassung der Art der Zusammenarbeit und der Abbau von Umsetzungshemmnissen als wesentliche Erfordernisse beschrieben worden sind, kann nun auf die eigentliche architektonische Integration photovoltaischer Anlagen in die Gebäudehülle selbst fokussiert werden. Diese lässt sich in drei gesonderte, aber eng mit einander verzahnte Aufgabenfelder untergliedern. Zur BIPV-Integration gehört also zunächst die technische Integration im Sinne konstruktiv-technischer Richtigkeit, die Baunormen, Standards und Regularien berücksichtigt. Der zweite Bereich ist die funktionale Integration im Sinne von Gebrauchstauglichkeit, die Solarstromerzeugung und die Erfüllung weiterer Funktionen der Gebäudehülle sicherstellt. Und schließlich gehört zu diesen Aufgaben auch die gestalterische Integration, die auf eine ansprechende Wirkung des Ensembles und damit auf dessen Akzeptanz seitens der Betroffenen abzielt. Die Herausforderung besteht in einer ausgewogenen Umsetzung und überzeugenden Synthese dieser drei Aufgabenfelder. Das heißt, gute BIPV gelingt dort, wo gemäß der Vitruvischen Trias für architektonische Qualität die Verbindung funktionaler, konstruktiver und gestal-

---

<sup>630</sup> Vgl. Stratbücker 2019, S. 42-49.

terischer Anforderungen – also eine Synergie zwischen Form, Funktion und Technik – gelingt (vgl. Abb. 92).<sup>631</sup>

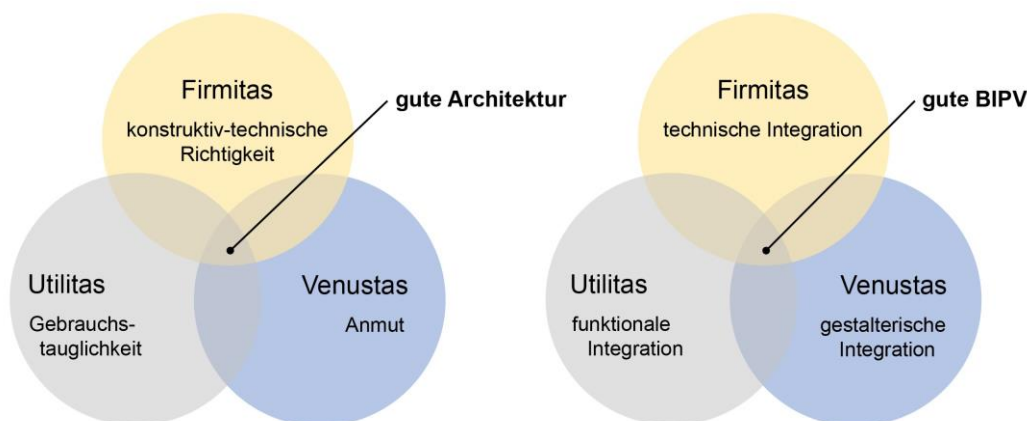


Abb. 92: Regeln für eine ausgewogene Erfüllung technischer, funktionaler und gestalterischer Anforderungen übertragen auf die Integration von PV in die Gebäudehülle (eigene Darstellung)

### 4.2.2 Gestaltungsziele

Je nach Bauaufgabe und Kontext können photovoltaische Bauteile sowohl fast unsichtbar als auch sehr dominant gestaltet werden und somit das Erscheinungsbild eines Gebäudes unterschiedlich stark prägen. Diese Gestaltungsansätze werden teilweise mit unterschiedlichen Begriffen und in unterschiedlicher Abstufung beschrieben.<sup>632</sup> Dieser Arbeit wird eine zusammenfassende Skala der Gestaltungsansätze von „dezent-unauffällig“ über „ausgewogen“ bis „prägnant-auffällig“ zugrunde gelegt (vgl. Abb. 93).

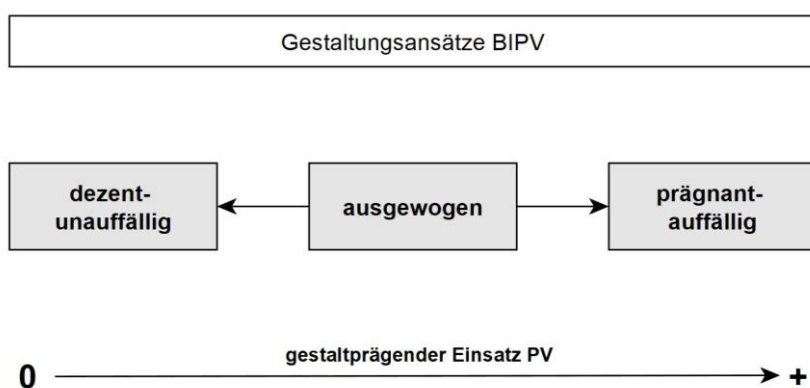


Abb. 93: Unterschiedliche Ansätze bei der Gestaltung von BIPV (eigene Darstellung)

<sup>631</sup> Vgl. Hagemann 2002, S. 14; Krippner 2016, S. 7, 64; Lüling 2009, S. 34; Zielsetzung des Wettbewerbs „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“, in: SeV 2017, S. 2; Weller et al. 2009, S. 40.

<sup>632</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 38, 41; Roberts/Guariento 2009, S. 12; Lüling 2009, S. 30-48; Krippner 2016, S. 64; Willkomm 2018, S. 2.

Während die ausgewogene Integration als Gestaltungsziel im mittleren Bereich der Skala angeordnet ist, kommen untergeordnete oder auch dominierende Gestaltungsansätze z. B. dann zum Tragen, wenn aufgabenspezifisch bzw. von Auftraggebern Ziele gesetzt werden, wie eine weitgehende Unsichtbarkeit oder, im Gegenteil, die starke Repräsentation unternehmensspezifischer oder anderer Inhalte. Die Bandbreite bei der Gestaltung von BIPV ist sehr groß und durchaus gegensätzlich.<sup>633</sup> Abhängig von Bauaufgabe, Kontext, Gebäudeumgebung und angestrebter Wirkung, ermöglicht eine dezente Einfügung z. B., dass sensible städtebauliche oder landschaftliche Umgebungen, wie denkmalgeschützte Ensemble, gestalterisch nicht verändert werden. Dagegen bieten sich auffällige Einfügungen an, wenn die PV-Anlage als deutlich wirksames Gestaltungselement eigene Gestaltqualität setzen soll. Die Wahl der Strategie einer schwachen oder starken Gestaltprägung durch die PV ist also nicht gleichzusetzen mit guter oder schlechter Gestaltung.

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist das Erreichen von Akzeptanz unter Fachplaner/innen und in der Gesellschaft durch überzeugende Darlegung guter und stimmiger Gestaltung von BIPV. Dass bestehende Vorbehalte oft ästhetischer Art sind, ist gut dokumentiert (vgl. Abs. 1.1.3) und ermöglicht es, direkt hierauf einzugehen und darauf aufzubauen. Gute Gestaltung kann solche Vorbehalte abbauen und übergeordnete Akzeptanz für nachhaltige Technologien erreichen, um deren Verbreitung zu fördern und damit zum Schutz der Umwelt beizutragen (vgl. Abs. 1.1.4). Dabei kann gute Gestaltung, die einer allgemeinen Akzeptanz dient, durchaus beschrieben werden. Sie ist das, was gefällt, weil sie allgemeinen Wahrnehmungsprinzipien entsprechend angenehm wirkt, und dazu führt, dass Menschen sich wohl fühlen. Entsprechend den Erkenntnissen zur visuellen Wahrnehmung bietet stimmige Architektur Schutz, Sicherheit, Orientierung und bereitet ein angenehmes Gefühl, wenn man sie betrachtet (vgl. Abs. 3.4). Wichtig ist, dass an einem Bau nichts als fremd oder störend empfunden wird, sondern vielmehr gewohnt und bekannt wirkt – wobei dies auch abhängig ist von persönlichen und kulturgeprägten Sehgewohnheiten. „Gute Gestaltung“ ist also das, was viele als angemessen oder stimmig empfinden und was fast niemanden stört. Darüber hinaus gibt es durchaus auch Kategorien sehr guter Gestaltung, denn Menschen lernen zu sehen (vgl. Abs. 3.1.2). So gefällt, was sie aus eigener Erfahrung kennen, und so können Fachleute sich aufgrund ihres z. T. langjährigen Umgangs mit speziellen Materialien oder Technologien besonders für einige Gestaltungsansätze begeistern. „Sehr gute Gestaltung“ kann also beschrieben werden als das, was vielen gefällt und darüber hinaus einige begeistert.

Allgemein korrespondieren die Ziele guter Gestaltung von BIPV mit den Zielen ästhetischer Architekturgestaltung, denn in beiden Fällen geht es im Kern um die Anordnung einzelner Komponenten zu einer Gesamtgestalt. Die Gebäudekomposition ist sehr gut geeignet, um die Gebäudegestalt zu verdeutlichen. Sie hilft, gestalterische Qualität unabhängig von Moden zu bewerten und ein Gebäudedesign anhand formaler Prinzipien zu beschreiben. Das Potenzial

---

<sup>633</sup> Vgl. Ullrich 2016, S. 19: *„Dabei gibt es zwei völlig konträre Richtungen [...]. Die einen Architekten wollen, dass alle sehen, dass Photovoltaik in die Fassade integriert ist. Das Gebäude muss die Philosophie des Architekten ausstrahlen. [...] Die andere Richtung bei Architekten und Bauherren ist, dass sie die Photovoltaik überhaupt nicht mehr sehen wollen. Die Solarfassade soll nach etwas anderem aussehen, nur nicht nach Photovoltaik.“*

der gestalterischen Komposition liegt darin, vielfältige Bezüge einzelner Komponenten untereinander und zum Ganzen zu ermöglichen, anstatt diese einfach zu addieren (vgl. Abs. 3.4). Hierdurch stellt die Komposition von PV-Bauteilen und den übrigen Gebäudeteilen letztlich auch die Herausforderung der Integration von BIPV dar. Ziel ist es, dass auch die PV-Anlage mit den übrigen Elementen des Gebäudes eine symbiotische Beziehung eingeht, in der das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile.<sup>634</sup>

### Ausgewogene Integration

Der derzeitige Stand der Forschung im Bereich der BIPV-Gestaltung zeigt, dass das Ziel guter Gestaltung, wenn auch mit teils unterschiedlichen Begriffen, weitgehend übereinstimmend beschrieben wird. Eine der häufigsten Charakterisierungen ist die „Harmonie“ der gestalterischen Integration.<sup>635</sup> Die PV-Anlage sollte sich ausgewogen in das Gebäude einfügen und im Sinne einer formalen Verträglichkeit kohärent<sup>636</sup> und wie ein selbstverständliches Element der Gebäudehülle<sup>637</sup> wirken. Viele Beiträge betonen, dass insbesondere eine „optische Einheit“<sup>638</sup> bzw. „architektonische Einheit“<sup>639</sup> der Anlage und des Gebäudes angestrebt werden sollte. Indem also die Gestalt des Gebäudes und die Gestalt der PV-Anlage sensibel aufeinander abgestimmt werden und sich sinnvoll ergänzen, entstehe ein ausgeglichenes Ganzes.<sup>640</sup> Formale Widersprüche zwischen den ästhetischen Merkmalen der PV-Anlage und denen der übrigen Teile der Gebäudehülle sollten im Sinne einer Gestaltung eher vermieden werden, die der Akzeptanz dienen soll, da, wie oben beschrieben, Harmonie durch visuelle Ausgewogenheit entsteht und Fremdartiges, das den Sehgewohnheiten nicht entspricht, häufig abgelehnt wird. Auch der Betrachtung des Kontextes eines Gebäudes kommt hohe Bedeutung zu. Eine PV-Anlage bzw. ein PV-bestücktes Gebäude sollte sich bestenfalls auch in die Umgebung einfügen und zum Kontext des Gebäudes passen.<sup>641</sup>

Dies kann erreicht werden, indem die Gestaltungsprinzipien des Generators und seiner Einzelemente sorgfältig auf die des Gesamtgebäudes abgestimmt werden. Das heißt die PV-Anlage sollte in ihrer jeweiligen Charakteristik bezogen auf Abmessungen, Farbe, Materialität, Textur etc. den übrigen Elementen des Gebäudes ähnlich sein und sich harmonisch, aber dennoch erkennbar in das Gebäude und die Umgebung einfügen (vgl. Abb. 94). Als Hauptziel der Gestaltung von BIPV kann also eine ausgewogene Integration photovoltaischer Bauteile in die Gebäudehülle beschrieben werden, bei der diese als selbstverständliche Elemente der Gebäudehülle erscheinen und mit ihr zu einer optischen Gesamtgestalt verschmelzen, die sich auch in die Umgebung einfügt.

---

<sup>634</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 41.

<sup>635</sup> Hagemann 2002, S. 144; Krippner 2016, S. 66-67; Photovoltaic Power Systems Programm der IEA, in: Roberts/Guariento 2009, S. 12; Weller et al. 2009, S. 35, 36, 41.

<sup>636</sup> Vgl. Hullmann/Willkomm 2005, S. 6; Munari Probst/Roecker 2012, S. 8; Rexroth 2005, S. 18.

<sup>637</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 39.

<sup>638</sup> Hagemann 2002, S. 144.

<sup>639</sup> Herzog et al. 2016, S. 303.

<sup>640</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 44; Weller et al. 2009, S. 35, 41; Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 25.

<sup>641</sup> Vgl. Seltmann 2016, S. 23; Photovoltaic Power Systems Programm der IEA, in: Roberts/Guariento 2009, S. 12; Weller et al. 2009, S. 36, 41.



Abb. 94: Projektbeispiele mit einer ausgewogen integrierten PV-Anlage, die sich harmonisch und dennoch erkennbar in das Gebäude und die Umgebung einfügt (v. o. l. n. u. r.): Feuerwache, Heidelberg (Bauwelt/Lukas Roth); Effizienzhaus Plus, Berlin (DBZ/Matthias Koslik); Gemeindeamt Ludesch (BauNetz Wissen/Bruno Klomfar); Tobias Grau GmbH, Hamburg (eigene Aufnahme)

### Dezent-unauffällige Integration

Die sichtbare Einbindung von photovoltaischen Bauteilen führt nahezu in allen Fällen immer zu einer Veränderung der Erscheinung eines Gebäudes. Dies ist ein wesentliches Merkmal der BIPV, denn ihre Bauteile fungieren als eigene Bestandteile der Gebäudehülle und prägen als diese seine Gestalt mit (vgl. Abs. 2.5). Rein imitierende bzw. besetzende Strategien gelten allgemein nicht als bauwerkintegriert, weil „Herkunft und Zweck der PV geleugnet werden“<sup>642</sup>, „die Chance ungenutzt [bleibt], die Transformation von Gebäuden vom Energieverbraucher zum Energieproduzenten selbstbewusst zu gestalten“<sup>643</sup> oder ganz ohne gestalterische Absicht gehandelt wird. Darüber hinaus gelingt eine Imitation zum derzeitigen Stand der Technik selten so, dass der Unterschied zu nicht photovoltaischen Bauteilen nicht doch auffallen würde.<sup>644</sup>

Gestaltungsziel bei der Integration von BIPV kann dennoch eine weitgehende Unauffälligkeit sein. Stehen z. B. Gründe im Vordergrund wie umwelttechnische Überlegungen oder die Unabhängigkeit von Energieversorgern, können photovoltaische Bauteile so integriert werden, dass sie die Gestalt des Gebäudes nur schwach prägen, kaum in Erscheinung treten und keine vordergründig gestalterische Aussage treffen.

<sup>642</sup> Weller et al. 2009, S. 41.

<sup>643</sup> Krippner 2016, S. 7.

<sup>644</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 41.

Soll die PV unauffällig integriert werden, können die Gestaltungsprinzipien des Generators und seiner Einzelelemente auf die des Gesamtgebäudes bewusst untergeordnet abgestimmt werden. Das heißt, die PV-Anlage sollte in ihrer jeweiligen Charakteristik, bezogen auf Abmessungen, Farbe, Materialität, Textur etc., deutlich an die übrigen Elemente des Gebäudes angepasst sein und kaum in Erscheinung treten (vgl. Abb. 95). Erreicht werden kann dies etwa durch eine eher verdeckte Anordnung der Anlage in weniger sichtbaren Bereichen, wie z. B. Dächern, oder in eigenständigen Bauteilen wie Sonnenblenden.<sup>645</sup> Auch eine starke farbliche Anpassung oder eine strukturelle, formale und maßstäbliche Unterordnung führen dazu, dass sich die solaraktiven Teile dezent einfügen, ebenso eine starke Anpassung an den Baukörper. Eine solche eher zurückhaltende Gestaltung bietet sich z. B. auch für denkmalgeschützte Gebäude oder Ensemble an, denn diese Art der Einfügung verändert die charakteristischen Merkmale der Gestaltung der Bestandsgebäude kaum.



Abb. 95: Projektbeispiele mit einer dezent-unauffällig integrierten PV-Anlage, die sich angepasst und zurückhaltend in das Gebäude und die Umgebung einfügt (v. o. l. n. u. r.): Ev. Akademie, Meißen (Pfau Architekten); Belgien-Pavillon der Expo 2015 (Abitare/AGC Glass); opusHouse, Darmstadt (SeV 2009, S. 6); Katholische Kirche, Heiden (SeV 2019, S. 34)

Die Entscheidung, ob sich ein PV-bestücktes Gebäude in seine Umgebung unauffällig einfügen soll, ist stark davon abhängig, um welche Art von Umgebung es sich handelt und welche gestalterische Antwort gewünscht ist. Eine Umgebung kann von historischer Bedeutung, homogen, heterogen, kleinteilig, großmaßstäblich etc. sein und Gebäude können sich diskret einfügen oder einen bewussten Kontrast bilden. Dabei gibt es keine richtige oder falsche Stra-

<sup>645</sup> Vgl. Roberts/Guariento 2009, S. 12; SeV 2009, S. 7.

tegie. In Einzelfällen bleibt es der subjektiven Einschätzung bzw. Entwurfshaltung überlassen, ob zum Beispiel ein räumlicher Kontext einen gestaltprägenden Wert für eine neu zu integrierende Architektur haben soll oder eher die neue Architektur einen bewussten Kontrapunkt gegen das Vorhandene setzen soll durch eigene Gestaltqualität.

### Prägnant-auffällige Integration

Neben der unauffälligen Integration von PV in die Gebäudehülle besteht auch die gegenteilige Möglichkeit, diese projektspezifisch besonders dominant zu gestalten. Die Gestalt des Gebäudes ist dann stark geprägt von dem Einsatz der PV, deren Gestaltung bewusst im Kontrast zur übrigen Gebäudehülle steht.



Abb. 96: Projektbeispiele mit prägnant-auffällig integrierten PV-Anlagen, die in ihrer Umgebung dominant und hervorgehoben erscheinen (v. o. l. n. u. r.): Kinderkrippe und Jugendfreizeitstätte, München (Baunetz Wissen); Collège de la Nativité, Aix-en-Provence (Sonnenstromfabrik); Neubau der Hahn+Kolb Gruppe in Ludwigsburg (Hahn+Kolb/David Franck); Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg (Baunetz Wissen)

Soll die PV auffällig integriert werden, können die Gestaltungsprinzipien des Generators und seiner Einzelelemente auf die des Gesamtgebäudes bewusst dominant abgestimmt werden. Das heißt, die PV-Anlage sollte in ihrer jeweiligen Charakteristik, bezogen auf Abmessungen, Farbe, Materialität, Textur etc. die übrigen Elemente des Gebäudes gezielt kontrastieren und deutlich hervorgehoben in Erscheinung treten (vgl. Abb. 96). Dies kann gestalterisch bis hin zur Thematisierung von Störungen und formalen Brüchen geführt werden.<sup>646</sup> Auch die Sicht-

<sup>646</sup> Vgl. Rexroth 2005, S. 18.

barkeit der PV, insbesondere durch eine Integration im Fassadenbereich oder in stark geneigten oder vorgezogenen Dachbereichen spielt hierbei eine große Rolle. In der SeV-Wettbewerbsbroschüre heißt es dazu: „Die Fassaden übernehmen gerade als visuelle Mittler (Image-träger) eine besondere Rolle und die installierten [...] PV-Module avancieren im Gegensatz zur Dachmontage zum unmittelbar wirksamen Gestaltungselement“<sup>647</sup>. Insbesondere die Eigenschaften polykristalliner PV gehen oft mit einer dominanten Wirkung einher. Blau-schillernd kann die Photovoltaik, großflächig oder großmaßstäblich verwendet, leicht zum „Gestaltgenerator“<sup>648</sup> werden und auch Zellanordnungen oder Verschaltungen bieten sich zur Gestaltung reizvoller Muster an, die das Gebäude umhüllen wie ein „schillerndes, energetisches Kleid“<sup>649</sup>. Gestaltprägend und hervorgehoben wirkt die BIPV auch, wenn solaraktive Bauteile als eigenständige Elemente im Verhältnis zum Baukörper durch ihre Form oder auch größtmäßig das Gesamtgebäude prägen, z. B. als Überdachung. Dies kann auch mit einer starken Adaption des Baukörpers bzgl. dessen Form oder Ausrichtung verbunden sein. Dann bestimmt die PV die Form eines Gebäudes maßgeblich. Auch atmosphärisch deutlich wahrnehmbare Licht- und Schattenspiele machen auf die PV aufmerksam.

Eine auffällige Integration von PV bietet sich an, wenn Auftraggebende oder Gestaltende ihren Umgang mit dieser Technologie visuell deutlich präsent vermitteln wollen.<sup>650</sup> Sie kann ein Zeichen setzen für Nachhaltigkeit, Innovation und gesellschaftliche Verantwortung oder „demonstratives Element einer technischen Inszenierung“<sup>651</sup> sein. Hierzu kann auch der Wunsch zählen, dass eine PV-Anlage das Corporate Design eines Unternehmens widerspiegelt in Form und Farbe oder zum konkreten Werbemittel dafür wird, dass ein Unternehmen auf Photovoltaik setzt.<sup>652</sup>

### 4.3 Ableitung von Kriterien für die Gestaltung von BIPV

Die in Kapitel 3 ermittelten, allgemeingültigen Kriterien für architektonische Gestaltung werden nun unter Berücksichtigung der spezifischen Grundlagen der BIPV-Technik (vgl. Abs. 4.1) hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im Bereich der BIPV-Gestaltung untersucht. Hieraus sollen transferfähige Ansätze ermittelt werden, denn ausgegangen ist diese Arbeit von der Hypothese, dass Kriterien gestalterischer Einbindung bauwerkintegrierter Photovoltaik anhand allgemeingültiger Kriterien architektonischer Qualität definiert und systematisiert werden können.

Zunächst wird die ästhetische Einfügung der PV-Bauteile in die Gebäudehülle betrachtet, denn neben der funktionalen und technischen Integration besteht in der derzeitigen Forschung Konsens darüber, dass sich die Anlage insbesondere mit ihren spezifischen, visuellen Merkmalen in das Gebäude und in die Umgebung integrieren sollte, damit sie als selbstverständliches Element der Gebäudehülle wahrgenommen wird. Die Darstellung des Einflusses technischer und funktionaler Erwägungen folgt in Abschnitt 4.4.

---

<sup>647</sup> SeV 2009, S. 6.

<sup>648</sup> Lüling 2009, S. 34.

<sup>649</sup> Weller et al. 2009, S. 46-47.

<sup>650</sup> Bendel/Hullmann 2005, S. 14-15.

<sup>651</sup> Lüling 2009, S. 22.

<sup>652</sup> Vgl. Ullrich 2016, S. 19-20.



Probleme mit der Akzeptanz von BIPV entstehen insbesondere bei Planer/innen dort, wo die PV-Elemente als visuelle Störfaktoren wahrgenommen werden, z. B. aufgrund einer zusammenhangslosen Verteilung, einer bezugslosen Rasterung durch Modulrahmen oder wenn diese Elemente keine Abstimmung erkennen lassen auf Farben und Materialien üblicher Baustoffe oder von Baustoffen der Umgebung. Darum sollen hier Kriterien dargelegt werden, die relevant sind, um eine abgestimmte Integration der BIPV in der Gestaltung zu erreichen (vgl. Abs. 4.2). Ausgangspunkt ist dabei das Ziel einer ausgewogenen Gestaltung hinsichtlich des Faktors der Gestaltprägung durch die PV. Falls projektspezifisch ganz oder teilweise ein Gestaltungsziel verfolgt wird wie z. B. besondere Unauffälligkeit oder besondere Auffälligkeit (vgl. Abs. 4.2.2) ist jeweils darauf zu verweisen, inwiefern dies die Ausprägung einzelner Kriterien betrifft.

Wichtig ist hierbei, dass alle Gestaltungskriterien als Einzelkriterien zu betrachten sind, die jeweils für sich relevant sind für das übergeordnete Ziel einer hohen Gestaltungsqualität bei der Integration von PV in die Gebäudehülle. Diese Qualität ist allerdings immer das Resultat eines Zusammenwirkens der einzelnen Kriterien. Im Einzelfall können bestimmte Kriterien immer auch per Ziel außer Kraft gesetzt werden, wenn sie für ein spezifisches Projekt keine Bedeutung haben (sollen). Auch bezüglich der Entscheidung über den Grad der Gestaltprägung durch die PV ist dies immer ein Zusammenspiel vieler Einzelaspekte. Ein Bauwerk kann z. B. durch eine stark komplementäre Farbgestaltung zwischen PV und übriger Gebäudehülle sehr auffällig wirken, während die Anlage in ihrer Maßstäblichkeit durchaus stark angepasst ist.

#### **4.3.1 Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse**

Die Prinzipien der proportionalen Gliederung eines Gebäudes sind eine wichtige Grundlage der Architekturgestaltung. Sowohl die Proportionen des Volumens eines Gesamtbauwerks als auch die Gliederung seiner Flächen und die proportionale Beziehung einzelner weiterer Elemente untereinander ermöglichen durch das In-Beziehung-Setzen zueinander auf der Basis geometrischer Regeln, dass diese Elemente zusammengehörig und stimmig wirken. Die Verwendung proportionaler Systeme erleichtert es, eine visuelle Beziehung zwischen verschiedenen Elementen einer Komposition herzustellen (vgl. Abs. 3.3.1). Auch für die Integration solaraktiver Teile, ist es wichtig, diese bezüglich ihrer Anordnung und Dimensionierung auf die übrigen Teile der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren, abzustimmen.

##### *BIPV-spezifische Herausforderungen*

Bei der BIPV-Technik handelt es sich in der Regel um ein modulares Prinzip aus starren und häufig eher großformatigen Elementen, die oftmals gerahmt sind. Eine der Hauptherausforderungen ist es, unregelmäßige Flächengeometrien auszulegen, ohne die Flächenintegrität zu stören und die Ordnungslinien der PV-Anlage auf die Ordnungslinien eines Gebäudes abzustimmen (vgl. Abb. 97, links). Diese werden sowohl von Linien der Gebäudekörpergliederung gebildet als auch von den Linien der Flächeneinteilungen, Öffnungen und weiteren Elemente des Gebäudes, wie Brüstungen, Balkone oder andere Anbauten. Ist ihr Gliederungsprinzip z. B. nicht auf Öffnungen und Durchdringungen abgestimmt, erhalten diese ein hohes visuelles Gewicht in der Gesamtkomposition. Die Wichtigkeit solcher Formen folgt dem Prinzip der Hie-

rarchie; erst aufgrund ihrer Abweichung von der Norm werden sie zu einer Besonderheit in einem ansonsten regelmäßigen Muster (vgl. Gestaltgesetze in Abs. 3.1.2). Formen, wie z. B. Schornsteine oder Entlüftungsrohre, können so eine größere formale Bedeutung erhalten als ihrer rein technischen Funktion angemessen wäre (vgl. Abb. 97, rechts).



Abb. 97: Unregelmäßige Flächengeometrien und Durchdringungen als Herausforderung bei der geometrischen Abstimmung zwischen PV-Anlage und Gebäude (links: Kompetenzhaus; rechts: Westdeutsche Zeitung/Dirk Jochmann)

In direktem Zusammenhang mit der Gestaltung unregelmäßiger Flächen mit modularen Elementen steht der Einsatz von Sondermodulen in besonderen Formen und Größen (vgl. Abs. 4.1.3, Punkt 2). Insbesondere im Bereich der BIPV sind Standardmodule leicht verfügbar. Die Anpassung an spezielle Maße, die sich aus der Nutzung eines Gebäudes oder aus unregelmäßigen Flächengeometrien ergeben, kann dann stark erschwert sein. Häufig besteht aber die Möglichkeit, Sondermodule zu verwenden, die größere Gestaltungsspielräume ermöglichen. Derzeit gibt es aber immer noch zahlreiche, energetische, konstruktive oder wirtschaftlichen Gründe, die eine Verwendung von Sondermodulen erschweren oder gar ausschließen. Auch die Rahmung von PV-Modulen, die häufig nicht nur aus Dichtigkeitsgründen, sondern auch aus mechanischen Erwägungen erfolgt, kann optisch sehr dominant wirken. Gerahmte Module können eine starke Rasterwirkung entfalten und Flächen mit einer starken eigenen geometrischen Ordnungslinienstruktur überziehen. Außerdem birgt auch die Dimension des Gesamtgenerators Herausforderungen, z. B. wenn diese sich zunächst aus dem Deckungsbedarf ergibt und dann hinsichtlich ihres „optischen Gewichts“ verträglich auf das Gebäude abgestimmt werden muss.

#### Beispielhafte Lösungen einer ausgewogenen Integration

Eine Abstimmung zwischen den wesentlichen Gliederungsprinzipien eines Gebäudes und den geometrischen Linien der PV-Anlage kann diese wirksam in die Gebäudehülle einbinden. Dabei können die solaraktiven Elemente auf unterschiedlichen Maßstabsebenen mit den Elementen der Gebäudehülle in Bezug stehen. Die wesentlichen Aspekte dieser Abstimmung sollen im Folgenden beispielhaft aufgezeigt werden.

Für eine geometrische Einordnung sind **proportionale Bezüge** sehr wirkungsvoll. Diese können hergestellt werden, indem das Verhältnis der Längen- und Breitenmaße der Gesamtanlage auf die Proportionen der übrigen Elemente bzw. des Gesamtgebäudes, zu denen der Generator in Bezug steht, abgestimmt wird. So kann eine ausgewogene Integration erreicht

werden, indem z. B. eine bestimmte Form eines Generators eine ähnliche Form an anderer Stelle des Gebäudes wiederholt (vgl. Abb. 98).



Abb. 98: Rechtwinklige, längliche Formen des Generators mit Bezug zur Gesamtgebäudeform am Getreidesilo der Schapfenmühle, Ulm (links: PuL Ingenieure) oder zu anderen Elementen der Fassade an der EWE-Arena in Oldenburg (rechts: Solarnova)

Bezüge können auch auf der Ebene der Binnengliederung des Generatorfelds zwischen einzelnen Gebäudeelementen und den PV-Modulen hergestellt werden, z. B. wenn Modulgrößen und -formen kompatibel sind mit dem Gebäuderaster und den Dimensionen anderer Fassadenelemente. Sind die Längen- und Breitenmaße der Module im Vergleich zu den Proportionen der übrigen Elemente ähnlich, erscheint die Gestaltung der Fassade ausgewogen und die Module fügen sich ein, ohne zusammenhangslos auf Flächen verteilt zu wirken. Auch auf Zellebene können proportionale Bezüge gestaltet werden. Aufgrund ihrer Maßstäblichkeit ist diese Wirkung allerdings meist eher aus kurzer Betrachtungsdistanz relevant. Dennoch kann die geometrische Einbindung von Zellrastern als Bestandteil eines Gestaltungsansatzes, der auf unterschiedlichen Maßstabsebenen gleichzeitig angewandt wird, dem Entwurf Komplexität und Tiefe verleihen.



Abb. 99: Direkter Bezug zwischen der Binnengliederung des Generatorfelds und der Gliederung der Fassade am Einfamilienhaus Hegelohe (SeV 2009, S. 25)

Auch gemeinsame Ordnungslinien stellen eine visuelle Verbindung her. Ausgewogen erscheint die Integration, wenn einige Übereinstimmungen z. B. zwischen Linien, die den Generator begrenzen oder unterteilen, und Gliederungslinien anderer Bereiche der Gebäudehülle vorhanden sind (vgl. Abb. 99).

Ein weiterer zentraler Aspekt abgestimmter Maß- und Mengenverhältnisse ist die **Flächenintegrität**. Eine möglichst vollflächige Auslegung der Bereiche, die der PV gewidmet werden, hilft, die Form eines Bauwerks nicht ungewollt zu irritieren. Die Abstimmungsarbeit liegt in der Vermittlung zwischen den geometrischen Anforderungen der PV-Flächen und den Flächen des Gebäudes. Traditionell eher kleinteilige Materialien haben den Vorteil, flexibel auf unregelmäßige Flächenzuschnitte oder unebene Flächen reagieren zu können. PV-Flächen dagegen sind stark modular aufgebaut. Um sie in die Gesamtgestaltung des Gebäudes zu integrieren, gibt es aber auch verschiedene Möglichkeiten, auf unregelmäßige Flächengeometrien zu reagieren. Mögliche Rest- oder Randflächen können mit anderem Deckungsmaterial ausgefüllt werden oder es können nicht funktionstüchtige oder nicht angeschlossene, optisch aber gleichartige Blindmodule verwendet werden bis hin zu speziell zugeschnittenen, sonderangefertigten Modulen. Auch die Kantenbündigkeit einer PV-Anlage begünstigt die geometrisch-optische Integrität einer Gebäudefläche.

Auch der Faktor der **Formprägung** des Gebäudes durch die PV-Anlage spielt eine entscheidende Rolle. Durch Ausrichtung, Anordnung und Dimensionierung einer Anlage kann ein Gebäude in seiner Form deutlich beeinflusst werden. Hierbei sollte zwischen den Erfordernissen der Gebäudegestaltung und der BIPV-Anlage vermittelt werden. Eine visuelle Einbindung wird auch durch eine klare Zuordnung der PV-Anlage zu einem bestimmten Teil des Baukörpers unterstützt, (z. B. das gesamte Dach, die gesamte Fassade oder das gesamte Vordach) oder indem sie auf ein bestimmtes Bauteil beschränkt ist (alle Sonnenblenden, die gesamte Brüstung etc.). Auch dies hilft, im Rahmen einer ausgewogenen Integration die Gebäudeform zu wahren, wenn dies gewünscht ist.

Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Aspekt ist das **Verhältnis der Flächenanteile**. Für die Gesamterscheinung einer PV-bestückten Gebäudehülle spielt die Abstimmung der jeweiligen Flächenwidmung eine wichtige Rolle. Die Abwägung zwischen den Anteilen solaraktiver Flächen und den übrigen Flächen der Gebäudehülle entscheidet darüber, ob eine PV-Anlage sich visuell integriert oder allein durch ihre Quantität dominiert.

#### Erweitertes Spektrum projektspezifischer Ziele

Besteht das Ziel einer dezenten Einfügung, erscheinen Generator, Module und Zellen eher unauffällig, indem sie bzgl. ihrer Anordnung und Dimension völlig angepasst an andere Teile des Gebäudes bzw. das ganze Gebäude gestaltet werden oder ihr Anteil deutlich niedriger ist, wie z. B. bei einer Integration, die auf kleinteilige Bauteile wie Sonnenschutzelemente beschränkt ist.

Im Kontext der prägnanten Einfügung wirken PV-Anlagen deutlich auffällig, sobald das Abstimmen von Maß- und Mengenverhältnissen im Vergleich zu den übrigen Flächen der Gebäudehülle in Anordnung, Dimension und Flächenanteil weniger angepasst bzw. erhöht ausfällt. Sind Generator, Module oder Zellen bzgl. ihrer Anordnung und Dimension weniger

harmonisierend abgestimmt oder größer als andere Teile des Gebäudes, mit denen sie interagieren, bzw. das ganze Gebäude, erscheinen sie kontrastierend und auffällig. Eine eigenständige Formensprache im Kontrast zu den übrigen Teilen lässt die Anlage deutlich hervortreten. In diesem Zusammenhang drängt sich der Vergleich mit dem dekonstruktivistischen Prinzip als „Fügung scheinbar nicht kompatibler Gebäudeelemente“<sup>653</sup> geradezu auf, das sich auch als Gestaltungsansatz im Bereich BIPV eignet. Baukörper und PV-Anlage entsprechen zwei verschiedenen Gebäudeelementen, die scheinbar zufällig, unregelmäßig oder kontrastierend kombiniert werden (vgl. Abb. 100).



Abb. 100: Beispiele gestalterisch scheinbar ohne Verbindung zusammengefüger Gebäudeformen und PV-Generatoren an Gebäuden der Plusenergiesiedlung Suncity in Weiz (AT) (Lüling 2009, S. 30) und am Heliotrop in Freiburg (Lüling 2009, S. 28)

Ähnliches gilt für den Grad der Formprägung durch die Integration einer PV-Anlage. Nimmt deren Ausrichtung und Dimensionierung einen deutlichen Einfluss auf die Baukörperformulierung, z. B. in Form von stark an den Sonnenverlauf angepassten Flächen, so fällt die BIPV häufig auf. Auch ein erhöhtes „Gewicht“ der PV-Fläche im Mengenverhältnis zu den übrigen Gebäudeflächen lässt die Anlage optisch hervortreten (vgl. Abb. 101).

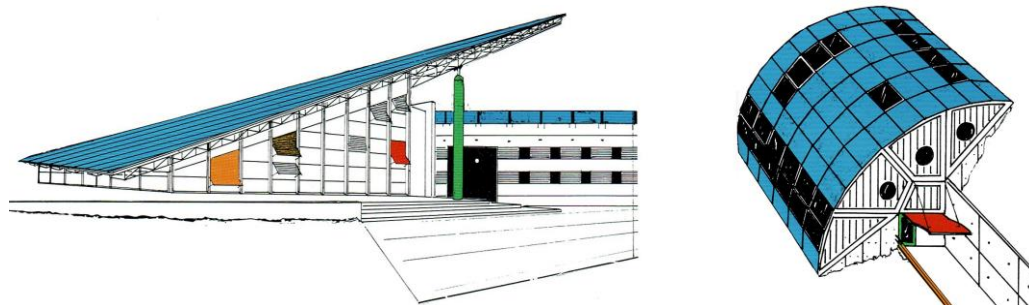


Abb. 101: Beispiele für eine großflächige, sonnenstandorientierte Integration der PV-Anlage, die die Gebäudegestalt dominiert (Humm/Toggweiler 1993, S. 83)

<sup>653</sup> Lüling 2009, S. 32.

### 4.3.2 Maßstäblichkeit

Die maßstäbliche Gestaltung wurde zu allen Zeiten bewusst eingesetzt, um die Wirkung von Gebäuden zu beeinflussen. Auch hier ist die visuelle Wahrnehmung Grundlage für spezifische Maßstabserfahrungen. Maßstäblichkeit ermöglicht Einordnung, Lesbarkeit und Orientierung, ist aber auch stark abhängig von individuellen Voraussetzungen, dem Betrachtungsstandpunkt und weiteren Faktoren, wie z. B. Licht und Farbe (vgl. Abs. 3.3.2). Die Abstimmung der maßstäblichen Erscheinung einer PV-Anlage ist ein wichtiges Kriterium für deren visuelle Einfügung in die Gebäudehülle.

#### BIPV-spezifische Herausforderungen

Die Abmessungen von Standard-PV-Modulen ergeben sich aus verschiedenen Aspekten der Herstellung, Montage, Handhabbarkeit u. a. (vgl. Abs. 4.1.3, Punkt 2). Ihre Größe von ca. 60 x 100 cm ist im baulichen Kontext eher großmaßstäblich, insbesondere im Dachbereich. Kleinteilige Dachdeckungsmaterialien, z. B. aus dem Bereich der Dachziegel und Betondachsteine, sind dagegen zwischen 15 - 35 x 20 - 45 cm groß.<sup>654</sup>



Abb. 102: Maßstäblichkeit eines großformatigen PV-Dachs im Vergleich zu benachbarten Dachdeckungen (o. l.: Heinze/Ennogie), im Vergleich zu anderen Elementen wie Dachfenstern (o. l.: enerix) und im Kontext einer Wohnsiedlung (unten: Geo/Ingo Bartussek)

<sup>654</sup> Vgl. Maßangaben zu Dachmaterialien, in: Schunck et al. (2002): Dachatlas geeignete Dächer, S. 111-158.

Insbesondere der Aufwand für Verkabelung und Verschaltung jedes einzelnen Moduls unterscheidet diese Dachdeckungsmaterialien von anderen, nicht solaraktiven und steigt stark an, je kleiner sie sind und je mehr daher installiert werden müssen für den gleichen solaren Deckungsbedarf. Werden PV-Module in Standardmaßen und zudem als (gerahmte) Glasbauteile verwendet, wecken sie häufig Assoziationen von Fensterelementen, die in Dach- oder opaken Fassadenbereichen eventuell irritierende Eindrücke von der Nutzung und inneren Organisation eines Gebäudes vermitteln können (vgl. Abb. 102).

#### Beispielhafte Lösungen einer ausgewogenen Integration

Eine ausgewogene gestalterische Einbindung der PV-Anlage in die Gebäudehülle setzt eine angegliche Maßstäblichkeit voraus. Die Anlage sollte, bezogen auf einen allgemeinen Größenvergleich, auf die Elemente und Formen, mit denen sie interagiert, abgestimmt sein (mit dem Gesamtgebäude, mit einzelnen seiner Elemente, wie z. B. Fenstern oder Türen, sowie mit Elementen der Umgebung). Dies betrifft die Anlage im Ganzen wie auch die Größe der Module oder Zellen, sofern diese optisch ablesbar sind. Die wesentlichen Aspekte dieser Abstimmung werden im Folgenden beispielhaft aufgezeigt.

Eine PV-Anlage sollte hinsichtlich eines **allgemeinen Größenvergleichs** abgestimmt sein. Sie ist ausgewogen integriert, wenn sie in ihrer Größe im Vergleich mit der Größe anderer Elemente der Gebäudehülle, mit denen sie interagiert, ähnlich ist. Ein Generator fügt sich ein, wenn er im Größenvergleich z. B. zu einzelnen Flächen der Gebäudehülle nicht über- oder unterdimensioniert wirkt. Gleiches gilt auch für die Größe von Teilflächen des Generators oder einzelner Module, die visuell eventuell eher mit Fenster- oder Türelementen in Verbindung stehen (vgl. Abb. 103, links). Sind einzelne Zellen ablesbar, können auch diese in einen Größenvergleich treten, z. B. mit Ziegelsteinen, oder anderen Bekleidungsmaterialien ähnlichen Maßstabs. Indem die Elemente der PV-Anlage nicht deutlich abweichend gestaltet werden, erhalten sie eine eventuell unbeabsichtigt größere oder kleine Bedeutung durch ihre Größe im Vergleich oder verzerren die Maßstäblichkeit eines gesamten Gebäudes.



Abb. 103: Maßstäblich ausgewogene Einfügung einer PV-Anlage, durch Ähnlichkeit in der Größe: Bürogebäude Blütenburgstraße 44 in München (links: a+p Architekten); Mehrzweckhalle in Preisegg (rechts: Müller Polybau AG)

Ein weiteres Teilkriterium der abgestimmten Maßstäblichkeit ist die Berücksichtigung des **menschlichen Maßstabs**. Eine PV-Anlage ist ausgewogen integriert, wenn sie und ihre Be-

standteile in ihrer Größe menschlichen Maßstäben ähnlich sind. Im direkten Vergleich mit den Dimensionen und Möglichkeiten des eigenen Körpers führt eine Affinität zu diesem in der Gestaltung von Gebäuden und Fassaden dazu, dass Menschen sich darin wiedererkennen. Werden hingegen menschliche Dimensionen bei der Gestaltung von BIPV nicht berücksichtigt oder überzeichnet, kann dies dazu führen, dass Menschen sich unwohl fühlen.

Die wahrgenommene Maßstäblichkeit eines Gebäudes steht in der Praxis insbesondere bei größeren Bauprojekten häufig im Zusammenhang mit **bauüblichen Maßstäben**, wie z. B. nutzungsspezifischen Raster- oder Modulmaßen und solchen Maßen, die sich aus Normbauteilen oder DIN-Vorgaben ergeben. Ein wichtiges Teilkriterium einer maßstäblich abgestimmten PV-Anlage, die sich ausgewogen integriert, ist daher ihre Ähnlichkeit zu bauüblichen Maßstäben. Im Fassadenbereich kann das bauübliche Raster eventuell größer sein als am Dach, wo sich Module ausgewogener einfügen, wenn sie der Größe üblicher Dachdeckungsmaterialien zumindest nahekommen (vgl. Abb. 103, rechts).

#### Erweitertes Spektrum projektspezifischer Ziele

Besteht das Ziel einer dezenten Einfügung, erscheinen Generator, Module und Zellen deutlich unauffälliger, wenn sie in ihrer Maßstäblichkeit exakt derjenigen des Gesamtgebäudes entsprechen. Eine PV-Anlage fügt sich umso unauffälliger in die Gebäudehülle ein, je genauer ihre Größe (Generator, Module, Zellen) der Größe anderer Elemente der Gebäudehülle entspricht, je exakter sie in Gebäude- oder modulare Raster passt oder auch generell dem menschlichen Maßstab entspricht (vgl. Abb. 104). Dies kann z. B. im Dachbereich eventuell eine deutlich stärkere Anpassung der Modulgrößen erfordern.



Abb. 104: Maßstäblich unauffällige Integration von PV-Modulen durch weitgehende Größenentsprechung (v. l. n. r.): Hauptverwaltung der Energiesteiermark AG in Graz (eigene Aufnahme); PV-Fensterläden am Schnitterhaus in Nechlin (Smarthouse Pro/Phoenix Contact); Solardachziegel an einem Einfamilienhaus (Solar Energiemagazin/Autarq)

Für eine prägnant-auffällige Gestaltung von BIPV kann eine starke maßstäbliche Abweichung der PV-Anlage von der Größe anderer Elemente der Gebäudehülle sehr wirkungsvoll sein, wenn einzelne Teilflächen oder Module deutlich überdimensioniert sind im Vergleich mit Türen oder Fenstern (vgl. Abb. 105). Sind alle gleichartigen Elemente einer Fassade (z. B. sämtliche Fenster) gleich groß, geben sie einer Gebäudehülle einen wirksamen Maßstab. Ist ein Fenster aber deutlich größer, hat es ein optisch höheres Gewicht, signalisiert dadurch z. B. eine höhere



Bedeutung des dahinterliegenden Raumes und verändert die Wirkung der Dimension der anderen Fenster und der gesamten Fassade. Dieser Effekt tritt auch auf, wenn statt eines überdimensionalen Fensters, eine im Verhältnis übergroße PV-Anlage in die Hülle integriert wird. Dies gilt auch für erhebliche Abweichungen von den Proportionen des menschlichen Körpers als Vergleichsmaßstab. Eine Überzeichnung des menschlichen Maßstabs in der Fassade, z. B. durch eine großmaßstäbliche Musterung, kann gezielt eingesetzt werden, um eine psychologische Wirkung zu erzielen.



Abb. 105: Maßstäblich auffällige Integration von PV-Modulen durch starke Abweichung in der Größe (v. l. n. r.): Blauhaus Mönchengladbach (arcguide/Thorsten Arendt); Zentrum für Biotechnologie und Umwelt, Berlin (Alamy Stock); GreenPix Zero Energy Media Wall, Peking (SEGD/Simone Giostra & Partners Architects)

### 4.3.3 Korrespondierende Farben

Wie in Abschnitt 3.3.3 bereits ausgeführt, werden, basierend auf den Regeln menschlicher Wahrnehmung, bestimmte Farben einander eher zugeordnet als andere. Für das Ziel einer abgestimmten Farbgestaltung bieten also mathematische Ordnungssysteme, wie z. B. Farbkreise, für monochrome, analoge, komplementäre bis hin zu tetraedrischen Farbharmonien eine geeignete Grundlage. Die farbliche Koordination der solaraktiven Teile und der übrigen Bauteile der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren, ist ein wichtiges Kriterium für die visuelle Einfügung einer PV-Anlage mit allen ihren Bauteilen wie Zellen, Rahmen und Befestigungen. Über die abgestimmte Farbgebung zwischen den übrigen Teilen der Gebäudehülle und den solaraktiven Elementen ist es möglich, einen wirkungsvollen visuellen Bezug zwischen allen Elementen herzustellen.

#### BIPV-spezifische Herausforderungen

Traditionelle Baumaterialien sind vielfach im Bereich gelb-roter Farbtöne mit geringer Sättigung angesiedelt, wirken also warm und natürlich. Die Farbtöne von Dachsteinen und -ziegeln, Schiefer, Metallen und Glasdächern bewegen sich im Bereich der Rot-, Braun- bis Blau-, Grau- und Schwarztöne, die Farbe von Fassadenmaterialien überwiegend im Bereich von Rot-Braun (Tonsteine), Beige-Braun (Natursteine), Braun-Grau (Holz), Weiß-Blau (Glas), Grau (Beton) und Silber (Metall) (vgl. Abb. 106). Die Farbe von Solargeneratoren reicht von bläulich-schwarzen bis hin zu bräunlich-rötlichen Tönen; sie bilden mit vielen Untergründen also häufig

sowohl einen Farb- als auch einen Hell-Dunkel-Kontrast.<sup>655</sup> Zudem ist zu beachten, dass Dachdeckungen häufig eher dunkel sind, opake Fassadenflächen dagegen eher heller.

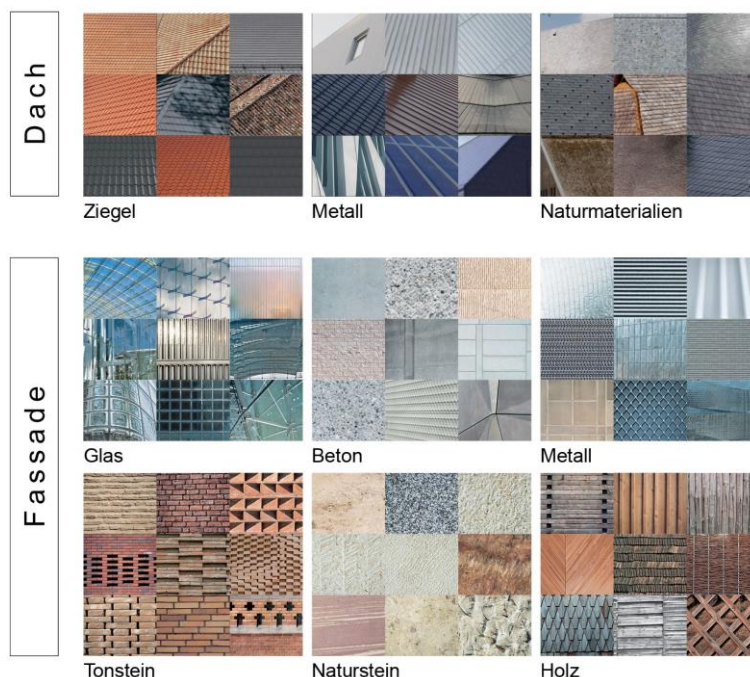


Abb. 106: Verbreitete Materialien der Gebäudehülle (eigene Darstellung mit Abbildungen aus Herzog et al. 2016 und Baunetz)

### Beispielhafte Lösungen einer ausgewogenen Integration

Die Abstimmung des Farbkonzepts eines Gebäudes mit der farblichen Erscheinung der PV-Anlage kann diese visuell wirkungsvoll in die Gebäudehülle einbinden. Dabei können die verschiedensten Bestandteile solaraktiver Elemente mit den Elementen der Gebäudehülle in Bezug stehen. Soll die Anlage ausgewogen integriert werden, können verschiedene Teilaspekte auf unterschiedlichen Maßstabsebenen relevant sein, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen (vgl. Abb. 107).

Im Bereich der **Farbtonkombinationen** binden analoge Farbzusammenstellungen, die auf ähnlichen Farbtönen basieren, Elemente wirksam zusammen. Werden die Farben von PV-Elementen und den übrigen Elementen der Fassade, mit denen sie interagieren, harmonisch analog gestaltet, so stehen diese gleichwertig nebeneinander. Analoge Harmonien von PV-Elementen im Farbbereich Blau und Anthrazit sind dabei sehr häufig in der Kombination mit Baumaterialien wie Beton, Stahl und Glas.<sup>656</sup> Um einen harmonischen Farbklang zu erzielen, sollten aber nicht nur die PV-Element-Farben sorgfältig auf die übrigen Bauteilfarben abgestimmt werden. Hilfreich sein können hierfür auch das Einfärben von Leiterbahnen, Haltern oder Zellhintergründen oder die Verwendung von Rückseitenkontakten.

Auch die **Kombination der Farbhelligkeiten** ist ein wichtiger Bestandteil des Zusammenspiels solaraktiver und übriger Teile der Gebäudehülle. Soll sich eine Anlage ausgewogen

<sup>655</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 37.

<sup>656</sup> Vgl. Schittich et al. 2012, S. 56.

einfügen, bieten sich hierfür Kombinationen ähnlicher Farbhelligkeiten an. Andernfalls können auch bei analogen Farbtonkombinationen durch unterschiedliche Farbhelligkeiten Kontraste entstehen, die die solaraktiven Bauteile visuell hervortreten lassen.

Gleiches gilt für den Bereich der **Kombination der Farbsättigungen**, denn auch Bunt-Unbunt-Kontraste können eine auf den anderen Ebenen ausgewogene Farbkombination stören.



Abb. 107: Beispiele einer ausgewogenen Integration mit analogen und ähnlichen Farben: Sitz der Berufsgenossenschaft Holz und Metall, München (links: BGHM/Schüco); Q-Cells Zentrale in Thalheim (rechts: Walluszek)

### Erweitertes Spektrum projektspezifischer Ziele

Soll sich die PV-Anlage unauffällig einfügen, kann sie in ihrer Farbigkeit stark an die übrigen Teile der Fassade angepasst werden, sodass sie sich optisch für das Auge nicht abhebt. BIPV ordnet sich deutlich unter, wenn sie bezüglich ihrer Farbgebung kaum in Erscheinung tritt.<sup>657</sup> Anschauliche Beispiele hierfür sind die Kindertagesstätte in Marburg oder das Solarhaus der TU Darmstadt für den Solar Decathlon 2007. Bei beiden Gebäuden wurde die BIPV stark monochromatisch an die übrigen Farben des Gebäudes angepasst (vgl. Abb. 108).



Abb. 108: Unauffällige PV-Integration durch Monochromie und gleiche Farbhelligkeit und -sättigung: +e Kita, Marburg (links: DBZ/Eibe Sönneken); rechts: Solar Decathlon Haus 2007, Team TU Darmstadt (TU Darmstadt/Leon Schmitt)

<sup>657</sup> Weller et al. 2009, S. 41.

Insbesondere die einheitliche Farbgestaltung von Modulrahmen, -hintergründen, Zellen und übrigen Fassadenteilen der Kindertagesstätte sorgt dafür, dass die PV als solche nur bei genauerem Hinsehen erkennbar ist. Die braunen Dünnschichtzellen des Solarhauses ähneln stark dem Holzton der Lamellen, ihre Farbhelligkeit ist aber um einige Stufen dunkler. Dennoch fügen auch sie sich insgesamt unauffällig ein. Allgemein müssen sich Farben nicht exakt entsprechen; im Bereich der BIPV können auch annähernd gleiche Farben als identisch empfunden werden, wie z. B. das Blau von Modulen und dasjenige getönter Sonnenschutzgläser.<sup>658</sup>

Für eine auffällige Einfügung hingegen bietet sich ein komplementärer Farbklang an, da z. B. ein Blau-Gelb-Kontrast eine Auffälligkeit der PV-Flächen erzeugt und diese optisch aus dem Flächengefüge herauslösen kann. Dennoch ist auch hier das Kriterium der farblichen Harmonie grundsätzlich erfüllt, da auch komplementäre Farbzusammenstellungen für das Auge harmonisch wirken und einen visuellen Kontakt herstellen. Komplementäre Harmonien von PV-Elementen im Farbbereich Blau bis Anthrazit kommen häufig in der Kombination mit Baumaterialien wie Holz und Tonstein vor.<sup>659</sup> Die Wirkung einer solchen Farbgestaltung zwischen Gebäude (z. B. orange Ziegelsteine) und PV (schillernd blau) kann noch verstärkt werden, indem sonst nur gedeckte Farben verwendet werden (z. B. Grau und Schwarz).<sup>660</sup> Das Beispiel des Museums für Archäologie in Herne zeigt, wie eine angenehme Kontrastwirkung zwischen rot-braunen, matten Klinkerfassaden und den blauen, glänzenden Modulen für eine abgestimmte und dennoch auffällige Einbindung der BIPV in die Gesamtgestaltung des Gebäudes sorgt (vgl. Abb. 109, links).



Abb. 109: Optische Hervorhebung von PV-Anlagen durch Komplementärfarben: Museum für Archäologie, Herne (links: Krippner 2016, S. 121); ehemaliges HEW-Schulungszentrum, Hamburg (rechts: Denkmalverein/Fotografie Dorf Müller Klier)

#### 4.3.4 Korrespondierende Materialien

Spezifische materielle Eigenschaften beeinflussen die Wirkung von Baustoffen und können bewusst eingesetzt werden, um ein architektonisches Konzept zu unterstützen. Für eine abgestimmte Materialgestaltung bieten Aspekte von Materialität wie Transparenz/Opazität,

<sup>658</sup> Vgl. Humm/Toggweiler 1993, S. 63.

<sup>659</sup> Vgl. Schittich et al. 2012, S. 56.

<sup>660</sup> Vgl. Hagemann 2002, S. 144.

Glanz-/Reflexionsgrad und Oberflächentextur eine geeignete Grundlage (vgl. Abs. 3.3.4). Die materielle Koordination der solaraktiven Teile und der übrigen Bauteile der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren, ist ein wichtiges Kriterium für die visuelle Einfügung einer PV-Anlage mit allen ihren Bauteilen wie Modulen, Rahmen oder Befestigungen. Über eine abgestimmte Materialwahl zwischen den übrigen Teilen der Gebäudehülle und den solaraktiven Elementen ist es möglich, einen wirkungsvollen visuellen Bezug zwischen allen Elementen herzustellen. Dabei werden an dieser Stelle die relevanten optischen Eigenschaften ohne den Aspekt der farblichen Abstimmung betrachtet, da dieser bereits gesondert behandelt wurde (vgl. Abs. 4.3.3). Auch die Abstimmung assoziativer Eigenschaften von Material wird an anderer Stelle erläutert (vgl. Abs. 4.3.6).

#### BIPV-spezifische Herausforderungen

Es ist nicht leicht, eine eigene Materialästhetik der Photovoltaik zu definieren, da Photovoltaikzellen im eigentlichen Sinne nicht als Material verwendet werden, sondern es sich in der Regel um Solarpaneele, also Verbundprodukte unterschiedlicher Bestandteile handelt. In Bezug auf die Solartechnik, die in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts entstanden ist, kann vielmehr von einer Produktästhetik gesprochen werden, da immer mehrere dieser Bestandteile gleichzeitig zu sehen sind.<sup>661</sup> Eine wichtige Herausforderung dabei ist, dass die materiellen Eigenschaften solaraktiver Bauteile von den Texturen traditioneller Materialien stark abweichen können (vgl. Abb. 110).



Abb. 110: Starke Abweichung der materiellen Eigenschaften solaraktiver Bauteile von denen traditioneller Baustoffe (Wohnnet/Solar & Friends, eigene Bearbeitung)

Die Textur von PV-Elementen ist oftmals auf unterschiedlichen Ebenen geprägt von geometrisch regelmäßigen Mustern. Betrachtet man eine großformatige Fläche gerahmter Module, können diese, zusammenhangslos verteilt, eine Fläche in ihrer Oberflächenwirkung regelrecht zerstückeln.<sup>662</sup> Zudem sind die Texturen traditioneller Materialien eher unregelmäßig und glatt. So stehen den Oberflächen glatter und spiegelnder Flächen aus Metall und Glas häufig Dach-

<sup>661</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 35.

<sup>662</sup> Vgl. Schittich et al. 2012, S. 54.

und Fassadenmaterialien mit rauen Strukturen gegenüber.<sup>663</sup> Diese Kontraste können zusätzlich durch ein stark abweichendes Alterungsverhalten der PV-Elemente verstärkt werden.

#### Beispielhafte Lösungen einer ausgewogenen Integration

Materialkombinationen in der Gebäudehülle können auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden. Zu berücksichtigen sind dabei die Materialzusammenstellung unterschiedlicher Flächen am Gebäude z. B. von Dach- und Fassadenmaterialien, die Kombination von Materialien innerhalb zusammengehöriger Flächen wie z. B. der gesamten Fassadenebene und die Kombination von Materialien innerhalb einer Fläche. Zudem kann die Materialkombination natürlich auch bereits innerhalb eines PV-Elements beginnen. Soll die Anlage ausgewogen integriert werden, sind verschiedene Aspekte auf unterschiedlichen Maßstabsebenen relevant (vgl. Abb. 111).

Im Hinblick auf die Koordination von Materialien spielen **Transparenzen bzw. Opazitäten** eine zentrale Rolle. Durch das Abstimmen von Materialien hinsichtlich dieser Eigenschaften aufeinander kann ein visueller Bezug zwischen ihnen hergestellt werden. So fügen sich PV-Bauteile ausgewogen ein, wenn sie eine ähnliche Transparenz bzw. Opazität aufweisen wie übrige Materialien der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren. Relevant ist in diesem Zusammenhang aber auch, an welchen Stellen der Gebäudehülle transparente und opake Elemente verwendet werden. Üblicherweise transparente Flächen sind z. B. Fenster oder andere Belichtungselemente sowie verglaste Fassaden oder Dachanteile wie Oberlichter oder Überkopfverglasungen. Hier gelingt eine ausgewogene Integration, wenn die PV-Anlage hinsichtlich ihrer Transparenz bzw. Opazität den Anforderungen eventuell auch im Vergleich zu anderen transparenten oder opaken Elementen, zu denen sie in Beziehung steht, weitgehend entspricht.

Auch die Abstimmung materieller Eigenschaften hinsichtlich der **Glanz- bzw. Reflexionsgrade** zwischen solaraktiven Bauteilen und den übrigen Materialien der Gebäudehülle ist für die optische Integration der BIPV relevant. Ähnlichkeit mit den übrigen Materialien und Angemessenheit in Bezug auf die Stellen, an denen sie jeweils eingefügt wird, können hierbei zu einer zurückhaltenden und dennoch erkennbaren Integration beitragen. Haben die Elemente einer Fassade, die miteinander interagieren, bezüglich dessen eine ähnliche optische Wirkung, erscheinen sie als Einheit und weniger als Einzelelemente. Werden Glasbauteile verwendet, können diese leicht im Kontrast zu den übrigen Teilen der Gebäudehülle einen hohen Glanzgrad aufweisen. Insbesondere im Bereich der Fassade fügen sich BIPV-Bauteile besser ein, wenn ihr Glanzgrad verringert wird.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt materieller Abstimmung sind **Oberflächenstrukturen**. PV-Bauteile fügen sich ausgewogen ein, wenn sie bewusst entsprechend ihrer optischen Oberflächeneigenschaften mit den übrigen Materialien der Gebäudehülle kombiniert werden. Photovoltaik hat in der Regel, bezogen auf die konkret verwendete Technik, eine charakteristische Erscheinung, was ihre Oberfläche betrifft.

---

<sup>663</sup> Vgl. Schittich et al. 2012, S. 54-56.

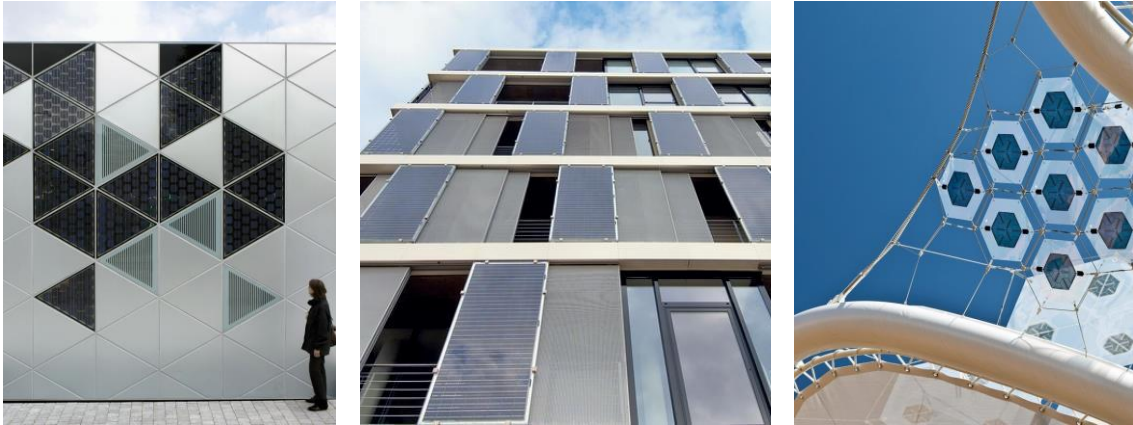


Abb. 111: Beispiele einer ausgewogenen PV-Integration durch materielle Ähnlichkeit (v. l. n. r.): Cité du Design, Saint-Étienne (Baunetz-Architekten/Jan-Oliver Kunze); Q-Cells Zentrale in Thalheim (Colt International); Deutschland-Pavillon der Expo 2015 (TU Berlin/Nicolas Tarantino)

### Erweitertes Spektrum projektspezifischer Ziele

Unauffällig fügt sich eine PV-Anlage ein, wenn sie nahezu identisch ist mit den übrigen Materialien einer Fassade und deren Charakteristiken, bezogen auf ihre optischen Eigenschaften, nachahmt. Sie ist als solche kaum mehr zu erkennen, wenn ihre Oberflächen z. B. genauso opak, matt und rau oder auch genauso transparent, spiegelnd und glatt sind wie der Rest der Gebäudehülle (vgl. Abb. 112).

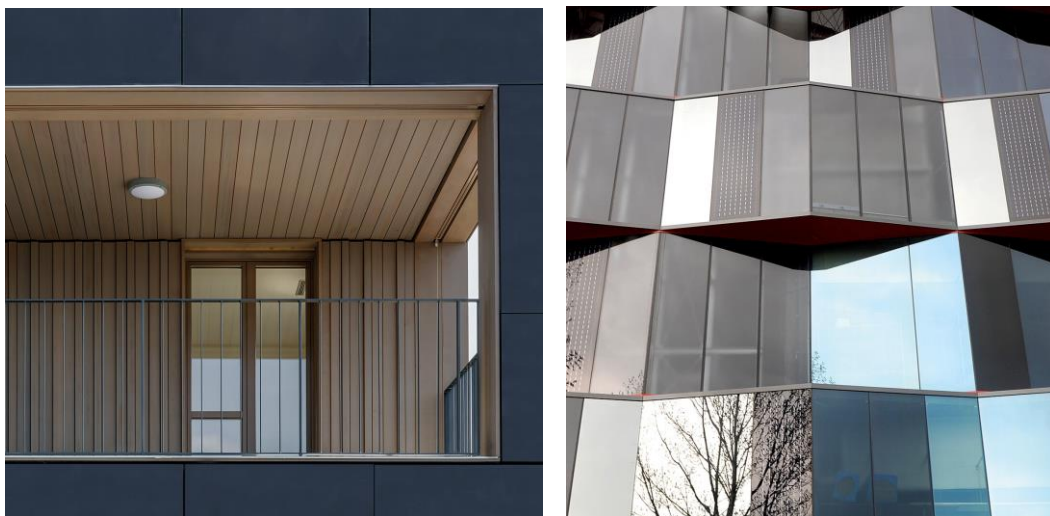


Abb. 112: Unauffällige Einfügung der PV-Elemente bei nahezu identischen Materialeigenschaften: Mehrfamilienhaus Brütten (links: tab/René Dürr); rechts: Hauptsitz V-Zug AG, Zug (CH) (Baunetz Wissen/Ertext Solar)

Ist das Ziel der Gestaltung eine auffällige Integration der PV, bietet es sich an, eine kontrastreiche Zusammenstellung der Materialien vorzunehmen oder gezielt Materialbrüche zu thematisieren. Kombinationen von Glas-Modulen mit Holz- oder Naturstein-Bauteilen oder anderen, eher natürlichen Elementen, lassen die PV deutlich hervortreten. Gleiches gilt für glatte Folienmodule, die auf raue Putz-Oberflächen stoßen (vgl. Abb. 113).



Abb. 113: Deutliche Hervorhebung der PV-Bauteile durch bewusste materielle Kontrastierung (v. l. n. r.): Fortbildungsakademie Mont-Cenis, Herne (Weller et al. 2009, S. 38); Ev. Akademie, Meißen (IB Scheffler); Wohnhaus Nebeniusstraße 20, Frankfurt (DBZ/Opvius)

#### 4.3.5 Bezug zur Umgebung

Kontextuelle Gestaltungsansätze zeigen, wie es gelingt, Bauwerke in Bezug zu ihrer umgebenden Bebauung oder Landschaft zu setzen, indem wichtige Charakteristika des Ortes aufgenommen werden, wie z. B. landschaftliche Formationen, Bebauungsstrukturen, Materialien oder Farben. Kontextuelle Lösungen entsprechen oftmals nicht nur optimal klimatischen Gegebenheiten; Gebäude, die einen Bezug zu ihrer Umgebung haben, ermöglichen Orientierung und fördern regionale Identifizierung. Dabei kann sowohl eine Komposition ähnlicher Charakteristik erzeugt werden als auch ein Entwurf, der vorhandene Strukturen bewusst kontrastiert (vgl. Abs. 3.3.5). Auch für die visuelle Integration von solaraktiven Bauteilen ist ihr Bezug zur Umgebung ein wichtiger Faktor.

##### BIPV-spezifische Herausforderungen

Traditionelle Baumaterialien variieren je nach Region und schon kleine Unterschiede zu den Baustoffen der Umgebung können die Integration in ein städtebauliches Gefüge oder eine landschaftliche Umgebung erschweren.<sup>664</sup> Des Weiteren ist die Einfügung eines Neubaus in ein bestehendes Gefüge immer ein Einzelfall der Gestaltung, der von vielen individuellen Entscheidungen geprägt ist, wohingegen die PV-Technik notwendigerweise auf seriell gefertigte und genormte Produkte abzielt. Hieraus können Konflikte entstehen in Bezug auf die jeweilige Anpassbarkeit. Zudem sind photovoltaische Bauteile immer noch ein recht neuer Typ Bauprodukt, da sie selbst aktiv und elektronische Elemente sind, für die es in der älteren Baukultur keine Vorgänger gab, an denen man sich orientieren könnte und die in vielerlei Hinsicht bekannte Baulogiken umkehren. Bestehende Bezüge aufzunehmen kann so unter Umständen schwerer fallen als mit bekannten Baustoffen.

<sup>664</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 36.



### Beispielhafte Lösungen einer ausgewogenen Integration

Eine gestalterisch integrierte PV-Anlage zeigt Bezüge zu Eigenschaften des räumlichen Kontextes und tritt so mit diesem in Verbindung. Diese Bezüge beziehen sich z. B. auf Eigenschaften der PV-Elemente wie Material, Farbigkeit, Form, Bauweise oder kompositorische Linien. Dabei besteht immer ein gewisser Spielraum in der Interpretation und gestalterischen Umsetzung von Farbgebung, im Umgang mit Materialien und in der formalen Gestaltung. Verschiedene relevante Aspekte können anhand der folgenden Beispiele aufgezeigt werden (vgl. Abb. 114).

Ein wichtiger Aspekt der visuellen Integration der BIPV in deren Umgebung sind **farbliche Bezüge** zwischen der PV-Anlage bzw. dem PV-bestückten Gebäude und der Umgebung. Indem Farben von Nachbargebäuden oder der umgebenden Landschaft aufgegriffen und im Rahmen der Farbgebung des Generators ähnlich wiedergespiegelt werden, fügt dieser sich erkennbar und doch zurückhaltend ein.

Auch **materielle Bezüge** spielen eine Rolle. Eine Anlage fügt sich ausgewogen ein, wenn sie sich in ihrer Materialität an Materialien der Umgebung anpasst. Hier ist insbesondere bei Deckgläsern ein geringer Glanzgrad ein wichtiger Faktor, der Lichtspiegelungen verringert und zu einer unauffälligeren Einfügung in die Materialien der Umgebung führt<sup>665</sup>, ebenso wie eine homogene Oberflächentextur Voraussetzung sein kann für eine Installation in der Fassade in einem Wohngebiet.<sup>666</sup>

Auch **formale Bezüge** bieten sich an, um visuelle Beziehungen herzustellen. Üblicherweise sind Flächen der Gebäudehülle, insbesondere Dachflächen, eher einheitlich gestaltet. Daher gelingt eine ausgewogene Einbindung in die Umgebung meist sehr gut, wenn der Generator ebenfalls ganzflächig einheitlich gestaltet ist, d. h. formal ähnlich ist. Wenn sich die Anlage in ihrer Form oder Bauweise an Formen oder Bauweisen der Umgebung anpasst, tritt sie weniger als eigenständiges Element, sondern in Einheit mit der Umgebung in Erscheinung.

Kontextualisierung kann auch über nicht formale, indirekte Bezüge geschehen, z. B. auf soziokultureller oder historischer Ebene. Dies schließt auch Assoziationen und symbolische Verweise auf den Ort, dessen Nutzung und seine Geschichte mit ein. Da dies in der Regel über symbolische Inhalte und Assoziationen geschieht und Photovoltaik als Material und als Bauprodukt hierfür eine große Reflexionsfläche bietet, werden deren Bedeutung und Potenzial im Zusammenhang mit der Zeichenwirkung (vgl. Abs. 4.3.6) erläutert.

---

<sup>665</sup> Weller et al. 2009, S. 43-44.

<sup>666</sup> Vgl. Breitenmoser/Wieland 2016, S. 5.



Abb. 114: Ausgewogene Integration von PV-Anlagen durch farbliche, materielle und formale Ähnlichkeiten zu Charakteristiken der Umgebung: Warmbandspaltanlage ThyssenKrupp, Duisburg (links: Weller et al. 2009, S. 40); Mehrfamilienhaus in Männedorf (CH) (rechts: NZZ/Simon Tanner)

### Projektspezifische Ziele

Die Beurteilung, ob sich das PV-bestückte Gebäude in seine Umgebung einfügt, ist stark davon abhängig, um welche Art von Umgebung es sich handelt (historisch bedeutsam, homogen, heterogen, kleinteilig, großmaßstäblich etc.) und welche gestalterische Antwort auf diese Umgebung gewünscht ist (Einfügung oder bewusster Kontrast). Dies muss im Vorfeld festgelegt werden.

Eine unauffällige Einfügung gelingt, wenn die BIPV farblich, materiell oder formal Bezug auf ihre Umgebung nimmt, indem sie Bestehendes daraus nachahmt oder sich daran anpasst (vgl. Abb. 115).



Abb. 115: Vollständig unauffällig eingefügte PV-Dächer durch farbliche und materielle Anpassung am opusHouse, Darmstadt (SeV 2009, S. 6) und durch regionaltypische formale Ausgestaltung am Glaserhaus im Emmental (CH) (rechts: Baunetz Wissen/Cleverage)

Als auffällig erweist sich die PV, wenn sie farblich, materiell oder formal dadurch auf ihre Umgebung Bezug nimmt, dass sie Bestehendes daraus gezielt kontrastiert und sich davon absetzt (vgl. Abb. 116).



Abb. 116: PV-Dachanlage, die durch gezielte Kontrastierung der farblichen, materiellen und formalen Eigenschaften der Gebäude ihrer Umgebung optisch in den Vordergrund tritt (eigene Aufnahme)

### 4.3.6 Abgestimmte Zeichenwirkung

Gemäß der Semiotik in der Architektur sind, wie schon in Abschnitt 3.3.6 dargelegt, alle Formen und Oberflächen von Gebäuden potentielle Informationsträger, und Zeichen können auf einer syntaktischen Ebene als reine Form ornamental wirken sowie auf einer semantischen Ebene als Symbole eine inhaltliche Bedeutung transportieren. Die Berücksichtigung einer angemessenen Zeichenwirkung einer PV-Anlage ist ein wichtiges Kriterium für deren Einfügung in die Gebäudehülle. Ziel bei der Gestaltung ist, dass die syntaktische und semantische Wirkung der solaraktiven Bauteile die jeweils beabsichtigte Gesamtwirkung des Gebäudes unterstützt.

#### BIPV-spezifische Herausforderungen

Photovoltaik ist immer noch eine recht neue Erscheinung. Ihr als aus heterogenen Materialien zusammengesetztem Bauteil werden viele unterschiedliche semiotische Eigenschaften zugeschrieben. PV-Elemente haben aufgrund ihrer charakteristischen Eigenschaften eine starke Tendenz, ornamental zu wirken. Das hat z. B. mit ihrer Modularität zu tun, die schnell Raster erzeugt, und ist darüber hinaus bei polykristalliner Zelltechnik der Fall, die stark schillernde Musterungen bewirken kann, oder bei semitransparenten oder transluzenten Bauteilen, die bei entsprechenden Lichtverhältnissen atmosphärische Schattenspiele hervorrufen.

#### Beispielhafte Lösungen einer ausgewogenen Integration

Eine gestalterisch integrierte PV-Anlage zeigt eine der Bauaufgabe angemessene und auf die übrigen Teile der Gebäudehülle abgestimmte Zeichenwirkung. Diese kann sich sowohl auf die syntaktische als auch auf die semantische Zeichenwirkung von solaraktiven Bauteilen beziehen. Hierfür können verschiedene Teilaspekte auf unterschiedlichen Maßstabsebenen relevant sein, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen.

Die **syntaktische Wirkung** betrifft das ornamentale Potenzial von Photovoltaik, wenn PV-Elemente also für sich selbst als syntaktisches Zeichen unter Absehung von einem möglichen

symbolischen Gehalt, z. B. als reiner Schmuck, verwendet werden. Möglichkeiten der Photovoltaik als Ornament liegen z. B. im Bereich der Zellformen und ihrer Anordnung im Modul, ihrer Farbigkeit, in der Gestaltung von Leiterbahnen, im Spiel mit Transparenz und Opazität oder im Bereich der Bedruckung. Entscheidend im Sinne einer ausgewogenen Integration ist hierbei, dass Generator, Module und Zellen eine erkennbare, aber eher zurückhaltende und unterstützende ornamentale Wirkung haben. Dies ist auch abhängig von ihrem Einsatzbereich. Eine Verzierung von Kirchenfenstern, deren Tradition reich verzierter Glasfenster bekannt ist, wirkt weniger auffällig als bunte Glasfenster in einem anderen Kontext. Ähnliches gilt für den spielerischen Umgang mit Materialien im Bereich von Gebäuden, die von Kindern genutzt werden (vgl. Abb. 117). Eine ornamentale Verwendung und Gestaltung von Mustern schließt eine zusätzliche symbolische Bedeutung nicht aus.

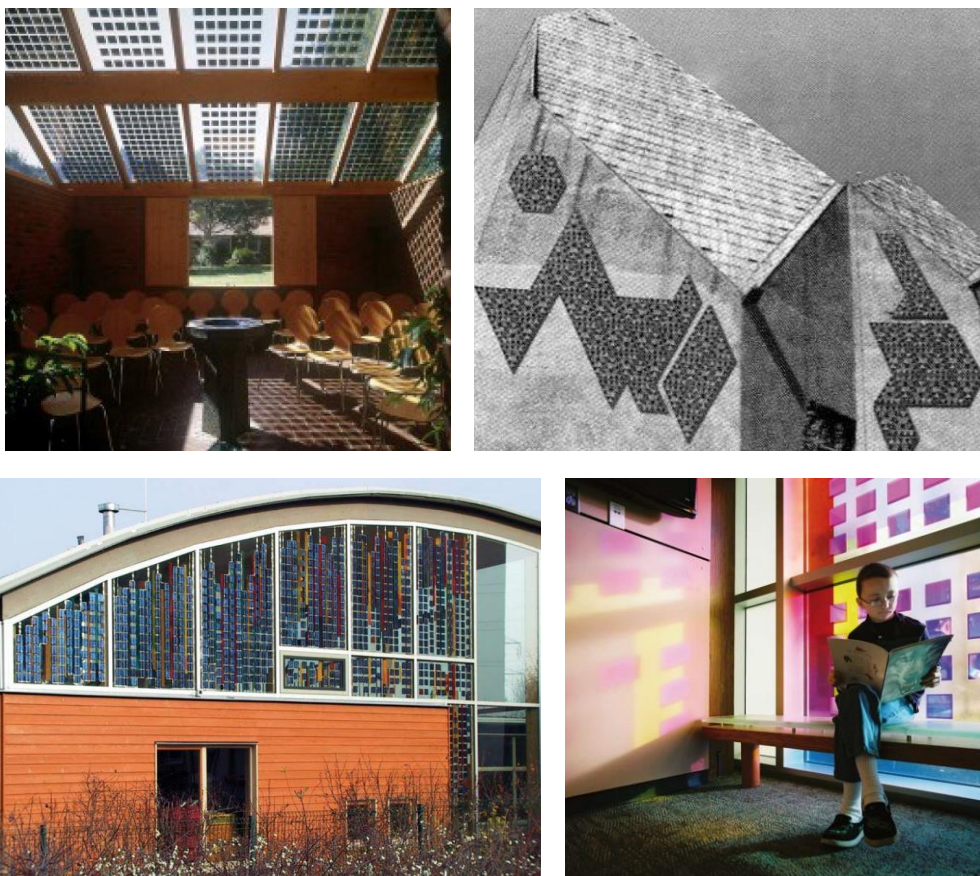


Abb. 117: Beispiele ausgewogener Integration von PV-Elementen mit zurückhaltender, ornamentaler Wirkung: Taufkapelle Epiphantias, Hannover (o. l.: Solarnova); Vorschlag für einen Fassadenschmuck für die St. Gertrud Kirche Köln (o. r.: Rexroth 2005, S. 147); Christliche Kindertagesstätte, Dresden und Grass Valley Elementary School, Portland (USA) (unten: Peters Studios)

Die **semantische Wirkung** ist Resultat einer Verwendung photovoltaischer Bauelemente als bedeutungstragender Zeichen. Dabei kann integrierte Photovoltaik Symbol für viele Inhalte sein, insbesondere aber für die Nutzung erneuerbarer Energien. Auch ihr Verweis auf die Möglichkeiten von neuen Technologien, Innovation und Fortschritt spielt eine große Rolle. Zudem kann die BIPV auch generell als Symbol für Wissenschaft und Technik stehen<sup>667</sup> oder als High-

<sup>667</sup> Vgl. Hagemann 2002, S. 162.

Tech-Produkt für fortschrittliches und zukunftsweisendes Bauen.<sup>668</sup> Auch als Symbol für Umweltbewusstsein und gesellschaftliche Verantwortung dient die sichtbare Integration von Photovoltaik Auftraggebenden als Zeichen für Engagement und für die Bereitschaft, in Ökologie zu investieren.<sup>669</sup> Dass diese Technologie derzeit teilweise noch höhere Investitionskosten erfordert, kann sie auch zu einem Statussymbol wirtschaftlicher Kraft machen. Soll hingegen auf religiöse Inhalte angespielt werden, können integrierte PV-Module ein regelrecht „himmlisches“ Symbol sein. „Sie sind für ihre Bauherren Zeichen, die einen anderen, zukunftsverantwortlichen Umgang mit Energie symbolisieren und auf die deswegen immer wieder hingewiesen werden sollte. Denn von der Bewahrung der Schöpfung darf nicht nur gepredigt, sie muss auch umgesetzt werden. [...] Die Solaranlage ist [...] ein Fenster, das die Kräfte des Himmels aufnimmt und technisch umwandelt in Kraft für den Alltag, in Strom.“<sup>670</sup> So trägt die mit Solarmodulen ausgestattete Pfarrkirche St. Franziskus in Wels (Österreich) sogar den Namen „Kraftwerk Gottes“.<sup>671</sup>

#### Erweitertes Spektrum projektspezifischer Ziele

Entscheidend bzgl. der Auffälligkeit der semiotischen Wirkung ist die Frage, wie deutlich diese Wirkung im Vordergrund stehen soll. Soll sie nur auf integrierten Zeichen beruhen, die erst auf den zweiten Blick wirken? Oder ist die Zeichenwirkung wichtiger Bestandteil der gestalterischen Intention? Im letzteren Fall müssen PV-Elemente als Zeichen deutlich sichtbar sein.

Ein Material kann sich seiner semiologischen Wirkung nie ganz entziehen. Unauffällig wird es allerdings, wenn es in seiner Sichtbarkeit zurücktritt. Da immer noch insbesondere die polykristalline Zelltechnik das Bild der Photovoltaik prägt, entgehen PV-Bauteile ihrer symbolischen Wirkung oft bereits dadurch, dass monokristalline, Dünnschicht- oder anorganische Zelltechniken zum Einsatz kommen. Durch eine Minderung der Sichtbarkeit sämtlicher muster- oder rastererzeugenden Elemente wie Leiterbahnen, Zellformen oder Rahmen können PV-Flächen den Eindruck völliger Homogenität mit der Fläche erwecken, in die sie integriert sind und eine mögliche ornamentale Wirkung ihrerseits vermeiden. Die starke Anlehnung an die Erscheinung anderer Bauteile wie beispielsweise Gläser oder Metalle, der Verzicht auf jegliche Sichtbarkeit elektrischer Anschlusssteile oder die Nachahmung der Materialität anderer Materialien, bis hin zur Bedruckung mit der Oberfläche anderer Bauteile wie z. B. derjenigen von Ziegelsteinen. All dies kann dazu führen, dass die BIPV möglicherweise erst bei sehr genauem Hinsehen als solche erkannt wird (vgl. Abb. 118).

---

<sup>668</sup> Vgl. Rexroth 2005, S. 149.

<sup>669</sup> Vgl. ebd., S. 152.

<sup>670</sup> Ebd., S. 151.

<sup>671</sup> Vgl. DBU 2014, S. 185.



Abb. 118: Unauffällige Einfügung von optisch stark an Materialien der Umgebung angelehnte Generatoren ohne jegliche PV-typische Zeichenwirkung: Fassade des Mehrfamilienhauses Hofwiesen-/Rothstraße, Zürich (links: eigene Aufnahme); PV-Module mit Schiller-Zitat an der Stadtmauer in Marbach (rechts: Alamy Stock)

Ein Aspekt auffälliger Gestaltung mit PV kann das Ziel sein, diese als wirksames Zeichen einzusetzen. PV-Elemente können syntaktisch als reine Formen, als Ornamente, wirksam gestaltet oder semantisch als Symbole mit verschiedensten Bedeutungen eingesetzt werden (vgl. Abb. 119). Dabei kann das ganze Gebäude zu einer „Metapher eines energietechnischen Apparates“<sup>672</sup> werden. Verschiedene Künstler beschäftigen sich damit, Photovoltaik zu einer ganz eigenen Ausdrucksform zu verhelfen.<sup>673</sup>

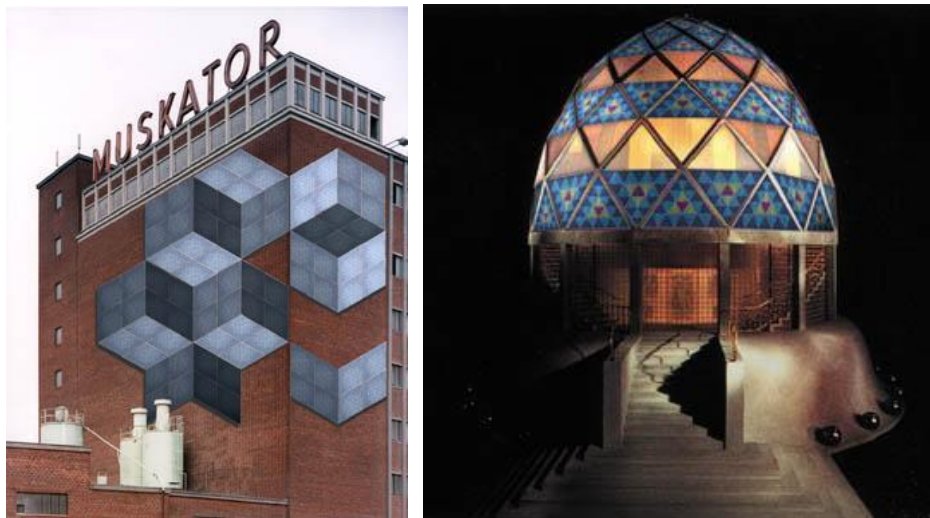


Abb. 119: Ergebnisse des EU-Projektes „BIMODE - Bi-funktionale PV-Module“: neue künstlerisch-ästhetische Wege der Gebäudeintegration von Solarenergie (IDW)

Auch die erkennbare Corporate Identity eines Unternehmens an einem Gebäude zu übersetzen ist eine besondere Form der Übermittlung von Zeichen und Inhalten (vgl. Abb. 75).

<sup>672</sup> Hagemann 2002, S. 154.

<sup>673</sup> Übersicht z. B. in: Glasmalerei Peters Studios (2020): Photovoltaik & Glasgestaltung: Mit der Sonne selbst zu malen, unter: [www.glasmalerei.de/downloads/broschuere\\_photovoltaiik.pdf](http://www.glasmalerei.de/downloads/broschuere_photovoltaiik.pdf) [21.02.2020].

## 4.4 Einfluss von Funktion und Technik

Einen zentralen Einfluss bei der Integration von BIPV in die Gebäudehülle haben die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen funktionalen, technischen und formal-ästhetischen Anforderungen. Für eine gute und stimmige Gestaltung ist es also entscheidend, diese Anforderungen ausgewogen wahrzunehmen und technische, funktionale und formal-ästhetische Qualität zu einem schlüssigen Gesamtkonzept zu verbinden (vgl. Abs. 4.2). Der Frage, welche Wechselwirkungen sich eher als Hemmnisse darstellen und wo Synergien entstehen können, kommt eine entscheidende Bedeutung zu. Außerdem gilt es herauszustellen, inwiefern Wechselwirkungen zwischen Form, Funktion und Technik die Umsetzung einer Gestaltung nach den ermittelten Gestaltungskriterien beeinflussen.

### 4.4.1 Funktionale und technische Anforderungen

Solaraktive Bauteile sind in erster Linie technische Komponenten, die in der Fassade, also in einem hoch multifunktionalen Gebäudebereich verwendet werden. Ertragsbeeinflussende technische sowie funktionale Anforderungen, die sich aus den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen ergeben, zu berücksichtigen, ist daher eine wesentliche Grundlage der Gestaltung von BIPV.

#### Funktionsbezogene Erwägungen

PV-funktionsspezifische Überlegungen, die die Gestaltung prägen, können verschiedenste Bereiche der Anwendung in der Gebäudehülle und auch übergeordneter Funktionen wie ökologischer Nachhaltigkeit betreffen. Die Berücksichtigung dieser funktionalen Anforderungen (vgl. Abs. 4.1.2) führt in der Planungspraxis zu verschiedenen Abwägungen.

Allgemein ist es die erste und wichtigste Funktion von PV-Elementen, Strom zu produzieren. Dafür sind vor allem die technischen Voraussetzungen zu berücksichtigen, die oben bereits genannt wurden. Unter funktionalen Gesichtspunkten hat dabei auch der Zeitpunkt des Stromverbrauchs Einfluss z. B. auf die Ausrichtung der Flächen, an denen der benötigte Strom produziert wird. Synergieeffekte entstehen, wenn die Ausrichtung dieser Flächen an den Zeitpunkt des Stromverbrauchs angepasst wird. Ein netzgekoppeltes System muss allerdings grundsätzlich weniger stark an den Strombedarf eines Gebäudes angepasst werden.

Da es sich bei BIPV aber um in die Gebäudehülle integrierte Bauteile handelt, kommen weitere Anforderungen an sie hinzu, die sie in dieser übernehmen. Funktionale Überlegungen mit Relevanz für die Gestaltung betreffen z. B. die statische Leistungsfähigkeit von PV-Modulen. Diese müssen sich selbst tragen können und dürfen innerhalb der Fassaden kein besonderes oder gar Extragewicht darstellen. In der Regel sind Zusatzkonstruktionen aber nicht nötig, insbesondere bei konstruktiv tief integrierten Systemen. Zudem sind z. B. Glasmodule erprobte Bauteile, die in Bezug auf ihre statische Eigenschaften wie andere Glasbauteile behandelt werden können.

Ähnliches gilt für Anforderungen der Luftdichtheit, des thermischen und des Schallschutzes. Soll Photovoltaik in eine dichte Fassaden- oder Dachkonstruktion integriert werden, kann dies die Gestaltung der Fugen zwischen den Modulen, die Art der Befestigung oder die generelle

Aufbaudicke beeinflussen. Eventuell kann auch die Hinterlüftung erschwert sein, z. B. wenn Zellen in Fenster eingebaut sind, die innerhalb der Dämmebene liegen. Das Erfordernis, erhöhte Temperaturen zu vermeiden, kann dann wiederum die freie Gestaltung einschränken.

Erfüllen die PV-Elemente einen Witterungsschutz und sind z. B. in die wasserführende Schicht integriert, so kann die Gestaltung einer vollflächig dichten Fläche, die auch optisch homogen ist, herausfordernd sein. Eine konstruktive Ablösung aus der wasserführenden Schicht und eine Anordnung als Witterungsschutz darüber kann gestalterisch u. U. mehr Spielraum bieten.

Sind Sonnenschutzanforderungen zu erfüllen, eignen sich PV-Bauteile sehr gut für diese Funktion. Hierfür sind in der Regel keine oder nur geringfügige Anpassungen am Gebäude nötig, insbesondere wenn sie ohnehin erforderliche Sonnenschutzelemente substituieren.<sup>674</sup> Gleiches gilt z. B. auch für Sichtschutzfunktionen. Diese erfüllen PV-Bauteile sehr überzeugend, da es zahlreiche Möglichkeiten gibt, sie semitransparent herzustellen bis hin zu unregelmäßigen Mustern oder bildlichen Darstellungen.

Sicherheitsbezogene Aspekte, wie z. B. elektromagnetische Abschirmung, Material-, Personen und Objektsicherheit, sind in der Regel Funktionen, die photovoltaische Bauteile bieten, ohne dafür speziell konstruiert zu sein. Diese erfüllen sie meist über Bestandteile wie Sicherheitsgläser oder mehrschichtige Aufbauten.

Auch die Zielvorgabe, eine möglichst hohe Beständigkeit bei gleichzeitig möglichst geringer Wartungsanforderung zu ermöglichen, bestimmt die Gestaltung. Grundsätzlich haben PV-Bauteile eine hohe Lebensdauer. Dennoch kann diese durch die Art der Installation oder durch das Ausmaß, in dem die Bauteile der Witterung ausgesetzt sind, negativ oder positiv beeinflusst werden. Wartungsanforderungen, die sich auf Fragen der Gestaltung auswirken, sind z. B. die Vermeidung flacher Neigungen und geringer Abstände zwischen Zellen und Rahmenkanten, die den Reinigungsaufwand erhöhen könnten, und die Gewährleistung einer leichten Austauschbarkeit einzelner Module.

Wer photovoltaische Bauteile in der Gebäudeplanung berücksichtigt, hat seine Absicht, den Anforderungen ökologischer Nachhaltigkeit zu genügen, bereits zum Ausdruck gebracht. Dennoch hat die Wahl konkreter Bauteile Einfluss auf das tatsächliche Potenzial, Ressourcen und Emissionen einzusparen. Eine Priorisierung ökologischer Nachhaltigkeit in der Gestaltung kann so je nach Schadstoffpotenzial und Energierücklaufzeit der Module die Auswahl eventuell einschränken.

Steht neben all den genannten Funktionen, die BIPV-Bauteile in der Gebäudehülle erfüllen können, die ästhetische Qualität im Vordergrund, so bestehen sicher die größten Chancen einer freien Gestaltung, bei der die individuellen Charakteristiken der Photovoltaiktechnik ganz zur Geltung kommen.

### Technikbezogene Erwägungen

PV-Technik-spezifische Überlegungen, die die Gestaltung beeinflussen, können verschiedenste Bereiche spezifischer Zell- und Modultechnologien, ihrer Herstellung oder der

---

<sup>674</sup> Vgl. Lüling 2009, S. 40.



Konzeptionierung des Gesamtsystems betreffen. Technische Qualität entsteht durch die optimale Berücksichtigung technischer Erfordernisse (wie z. B. Ausrichtung, Vermeidung von Verschattung und Verschaltung) und führt letztlich zu einem hohen Ertrag. Die Berücksichtigung der den Ertrag beeinflussenden Anforderungen (vgl. Abs. 4.1.1) führt in der Planungspraxis zu verschiedenen Abwägungen.

Grundsätzlich produziert eine PV-Anlage nahezu überall auf der Welt Strom. Für die Planung einer BIPV-Anlage erweist sich der Standort dennoch als entscheidender Faktor. An weniger sonnenreichen Standorten mit kaum direkter Strahlung oder einer insgesamt sehr niedrigen Einstrahlung kann die grundsätzliche Entscheidung, mit Photovoltaik zu arbeiten, aufgrund von kaum zu erwartenden Erträgen, auch bei effizientester Technik, von vornherein scheitern, bzw. dazu führen, anderen umweltschonenden Technologien den Vorrang zu geben.

Ein weiterer zentraler Aspekt der Integration solaraktiver Bauteile ist, dass die Erzeugung von Strom unmittelbar am Gebäude stattfindet. Dafür ist die einstrahlungsoptimierte Ausrichtung eine unabdingbare Voraussetzung, kann aber gleichzeitig auch zu Einschränkungen in der freien Formgestaltung führen. Die Wahl der Zelltechnik kann dabei den Gestaltungsspielraum u. U. wieder erhöhen. Dünnschichtzellen aus amorphem Silizium eignen sich beispielsweise auch für den Einsatz in schwachgeneigten Flächen. Sie sind für flache Einstrahlwinkel optimiert und können so auch bei nicht optimaler Ausrichtung einen vergleichsweise hohen Stromertrag ermöglichen.

Auch die Anfälligkeit für eine Leistungsminderung bei Teilverschattung hat Einfluss auf Abwägungsprozesse im Hinblick auf die Gebäudegestaltung. Eventuell sind Anpassungen der Form von Baukörper und Gebäudeteilen oder des Aufbaus der Gebäudehülle hinsichtlich Ausrichtung und Verschattungsfreiheit erforderlich, um die energetische Effizienz zu optimieren. Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit, ohne zu hohe Leistungsverluste mit modernen Wechselrichtern Module sowohl in beschatteten als auch in unbeschatteten Bereichen zu installieren.

Die Leistungsfähigkeit spezifischer Zelltechnologien hängt immer eng mit den Möglichkeiten ihrer farblichen Erscheinung zusammen. Im Rahmen der Farbwahl ist also zu beachten, dass diese, abhängig von der Modul- bzw. Zelltechnik, den Wirkungsgrad beeinflusst. Dabei haben Zellen hellerer Farbe grundsätzlich einen geringeren Wirkungsgrad. Ähnliches gilt für die Transparenz. Bei Erhöhung der Semitransparenz von Modulen nimmt die Leistung immer weiter ab und der Flächenbedarf steigt ca. proportional zum Anteil der transparenten Anteile (vgl. Abb. 120).

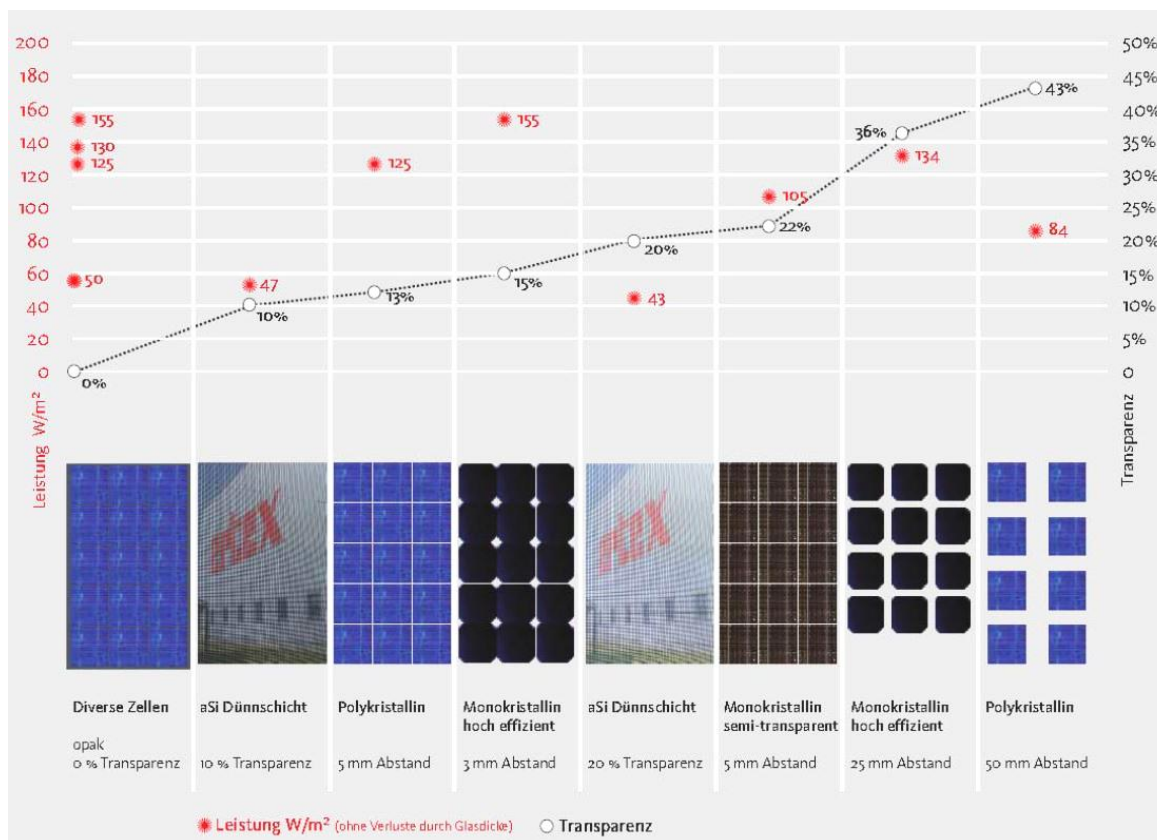


Abb. 120: Zusammenhang zwischen ansteigender Transparenz und proportional zunehmender Leistungsminderung (Rechberger/Moor 2015, S. 2)

Auch der Modulwirkungsgrad inkl. der spezifischen Modulkentechnik inkl. Lichtspektrums-, Temperatur- und Verschattungsempfindlichkeit ist ein zu berücksichtigender Faktor für den Flächenbedarf des zu integrierenden Generators. Direkt damit verbunden sind der angestrebte Deckungsgrad und die daraus resultierende Dimensionierung der Anlage, die das Erscheinungsbild von PV-Anlage und Gebäude maßgeblich bestimmen. Eventuell muss deren Größe wiederum mit anderen Flächenwidmungen der Gebäudehülle abgewogen werden, z. B. auch im Hinblick auf die Gestaltung von transparenten und opaken Flächen. Durch die Verwendung von Modulen mit einem höheren Wirkungsgrad kann die Größe der Anlage wiederum reduziert werden.

Hinzu kommt das Temperaturverhalten der spezifischen Zelltechnik, bzw. die Berücksichtigung von Hinterlüftungseffekten, die bei der Planung der Gebäudehülle in Bezug auf Aufbau und Dicke zu berücksichtigen sind. Für temperaturempfindliche Module kann eine Erhöhung der Luftschichtdicke auf bis zu 15 cm nötig sein, um Verluste zu vermeiden.

Die Verschaltungstechnik kann wiederum Einfluss nehmen auf die Formfindung, indem die Anordnung von Modulen zwecks ertragsoptimierter Verschaltung die Erscheinung des Gebäudes mitbestimmt.<sup>675</sup>

Ist aus technischen Erwägungen im Rahmen eines spezifischen Energiekonzeptes eine Speicherung der solargewonnenen Energie notwendig oder gewünscht, so kann auch dies maß-

<sup>675</sup> Vgl. Weller et al. 2009, S. 41.

geblich sein für zu Zwecken der Speichertechnik selbst bereitzustellende Flächen oder auch für die benötigte Modulfläche. Für eine größtmögliche Deckung zwischen Energieerzeugung und individuellen Eigenverbrauchszeiten zur Reduzierung von Speicherkapazitäten, kann es auch nötig sein, PV-Flächen entsprechend auszurichten.

Gestalterische Abwägungen, die ebenfalls ertragsbeeinflussend sind, beziehen sich auch auf die Fragen der Herstellung und Verfügbarkeit, z. B. von Standard- oder Sondermodulen. Systemtechnische Einflüsse machen sich auch dort bemerkbar, wo z. B. aus Gründen der Handhabbarkeit bestimmte Abmessungen resultieren, die eine homogene Flächenauslegung möglicherweise erschweren. Die Verfügbarkeit von sonderangefertigten Modulen ist maßgeblich für Abwägungsprozesse bzgl. der Anpassung der Solarelemente an die Gliederung des Gebäudes bzw. der Anpassung des Gebäudes an verfügbare (standardisierte) Module. Bei polygonalen oder verschachtelten Flächenformationen kann der Verzicht auf eine Vollbelegung etwa in den Randbereichen, an denen keine rechteckigen Standardmodule verwendet werden können (stattdessen z. B. Dummies), zu einem erheblichen Leistungsverlust führen.

#### **4.4.2 Einfluss auf die Gestaltung**

Als Grundlage für die Untersuchung der „best-practice“ Beispiele der Projektstudie sollen nach der nun erfolgten Darstellung möglicher Potenziale und Einschränkungen in der Gestaltung aufgrund von technischen und funktionalen Wechselwirkungen konkret die Einflüsse auf die Gestaltungsqualität in Form der analysierten Kriterien aufgezeigt werden, übergreifend über alle Gestaltungsziele von dezent-unauffälligen Integrationen bis hin zu plakativ-auffälligen.

##### Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse

Maß- und Mengenverhältnisse zwischen PV-Anlage und den übrigen Teilen der Gebäudehülle abzustimmen ist in hohem Maße von der zur Erzeugung der gewünschten Energiemengen erforderlichen Gesamtgröße einer Anlage abhängig. Je größer die insgesamt unterzubringenden Generatorabmessungen sind, desto größer ist das Risiko für Unverträglichkeiten der Proportionen am Gebäude. Ein höherer Modulwirkungsgrad kann die Verträglichkeit erhöhen, indem der Flächenbedarf gesenkt wird. Auch das Ziel einer optimalen Neigung der PV-Anlage kann eventuell starke Baukörperanpassungen erfordern. Abhilfe schaffen können auch hier Module, die geeignet sind für die gewünschten Ausrichtungen und Neigungen, eine Erhöhung ihrer Gesamtzahl oder Überlegungen, eventuell weitere Flächen wie Überdachungen, Brüstungen o. ä. zu aktivieren. Ein weiterer unbedingt zu berücksichtigender Aspekt im Bereich der technischen Einflussfaktoren auf die proportionale Gliederung der Gebäudeoberfläche ist die Anpassbarkeit, Verfügbarkeit oder Herstellbarkeit freier Maße der Module und Zellen. Denn daraus ergibt sich u. a., wie kompatibel die solaraktiven Bauteile mit der freien Gliederung des Gebäudes sind. Dabei können sich die für eine freie Gestaltung gewünschten Maße sowohl auf maßstäblich sehr kleine Bauteile, z. B. für den Bereich von Dachdeckungen, als auch auf maßstäblich sehr große, z. B. geschosshohe Module für den Fassadenbereich, beziehen. Die Modularität der PV-Technik kann zu Unverträglichkeiten in Bezug auf eine homogene Flächenauslegung unregelmäßiger Geometrien führen. Funktionale Erwägungen rund um die Aufgaben, die PV-Elemente in der Gebäudehülle erfüllen, haben in der Regel kaum Auswirkungen

auf Fragen der Gliederung, insbesondere, wenn ohnehin erforderliche Teile der Gebäudehülle substituiert werden. Als Beispiele sind hier der Sonnen- oder der Sichtschutz zu nennen.

#### Maßstäblichkeit

Die maßstäbliche Anpassung einer PV-Anlage an ein Gebäude kann schnell mit einer Minderung des Ertrags einhergehen, insbesondere wenn eine Verkleinerung der Module notwendig ist, damit diese sich maßstabsgetreu einfügen. Grundsätzlich sind sowohl Standardmodulmaße im kristallinen Technologiebereich als auch die Abmessungen der quadratischen Zellen selbst mit ihren 45°-Ecken vor allem herstellungs- und handhabbarkeitsbedingt und lassen sich bei Anwendungen in Flächen eher kleinmaßstäblicher Charakteristik ebenso wie bei speziellen großmaßstäblichen Anwendungen zu bekannten Baumaßen eher schwer zur Deckung bringen. Dies kann den Bezug von deutlich kleineren oder größeren Modulen notwendig machen, damit diese im Vergleich nicht maßstablos unter- oder überdimensioniert erscheinen. Eine kleinmaßstäbliche Gliederung der Anlage kann schnell auch zu einem hohen Verschaltungsaufwand führen, kommt aber abweichenden Effizienzen aus unterschiedlichen Flächenausrichtungen entgegen. Funktionale Erwägungen rund um die Aufgaben, die PV-Elemente in der Gebäudehülle erfüllen, haben in der Regel kaum Auswirkungen auf Fragen der Maßstäblichkeit.

#### Korrespondierende Farben

Den größten Einfluss auf die harmonische Farbgestaltung mit photovoltaischen Bauteilen hat immer noch der Grundsatz: Je heller die Farbe, desto geringer der Wirkungsgrad. Allerdings haben die Verbesserungen der Zelltechnik der letzten Jahre zu deutlich geringeren Einbußen und einer höheren Flexibilität geführt. Die spezifische Zelltechnik bestimmt dabei wesentlich die Möglichkeiten des Einfärbens (Zellfarbe, Bedrucken etc.). Grundsätzlich können auch eingefärbte Leiterbahnen, Rahmen, Modulrückschichten, Befestigungen etc. zu einer Verbesserung der farblichen Einfügung führen. Im Bereich farblicher Abstimmungen wirkt sich dies insbesondere auf Fragen der Gestaltung heller Bereiche der Gebäudehülle wie der Fassade aus. Doch auch hier gibt es mittlerweile ein breitgefächertes Angebot an Produkten, darunter sogar ganz weiße. In dunklen Dachbereichen oder bei dunkleren Fassaden steht die Verträglichkeit nicht so häufig im Konflikt mit dem Ertrag. Auch die Möglichkeit feiner Abstimmungen der farblichen Erscheinung einer PV-Anlage kann Einfluss auf die Gestaltungsqualität nehmen, beispielsweise wenn eine besonders unauffällige Einfügung erreicht werden soll und diese von der Abstimmung der PV-Bauteile auf andere Bauteile abhängt. Funktionale Erwägungen rund um die Aufgaben, die PV-Elemente in der Gebäudehülle erfüllen, haben eher selten mit deren farblichen Erscheinung zu tun, da sich diese vorwiegend auf physikalische und weniger auf optische Eigenschaften beziehen. Eine Ausnahme sind schnellere Erhitzungseffekte bei dunkleren Solarmodulen, die im Bereich des thermischen Schutzes im Winter vorteilhaft, im Sommer dagegen eventuell unerwünscht sein können.

#### Korrespondierende Materialien

Die Behandlung der Oberfläche zur Verbesserung der materiellen Kompatibilität kann Auswirkungen auf die Effizienz haben. Die Verringerung des Glanzgrades reduziert Lichtspiegelungen und kann zu einer besseren Kompatibilität mit anderen Materialien führen. Die Verwen-

dung von Dummys hingegen kann eine Fläche inhomogen erscheinen lassen und senkt den Ertrag. Dünnschichtmodule erscheinen allgemein homogener, da keine einzelnen Zellen ablesbar sind; dafür ist ihr Ertrag im Vergleich niedriger. Die jeweils gewählte spezifische Zelltechnik ist maßgeblich für die Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung. Standardmodul-Aufbauten (Rahmen) können eine starke Rasterwirkung haben und die Flächenhomogenität beeinflussen. Die Verfügbarkeit von optisch passenden Anschluss- und Befestigungsteilen ist entscheidend für die homogene Gestaltung von Flächen bzgl. Ränder und Anschlussbereiche. Funktionale Erwägungen beziehen sich im Zusammenhang mit materieller Kompatibilität insbesondere auf unterschiedlich transparente Module im Fensterbereich, die Ein-/Ausblicke und Sonnenschutz/Tageslichtlenkung unterschiedlicher Stärke ermöglichen.

#### Bezug zur Umgebung

Farbliche, materielle oder formale Anpassungen an Strukturen der Umgebung können potenziell immer zu Ertragseinbußen führen. Spezifische Zelltechniken wie z. B. die Dünnschichttechnologie eignen sich eventuell besser für Anpassungen an Strukturen der Umgebung ohne Leistungseinbußen.

#### Abgestimmte Zeichenwirkung

PV eignet sich ideal zur Verwendung als Ornament in den Bereichen der Zellformen, ihrer Anordnung im Modul und ihrer Farbigkeit, in der Gestaltung von Leiterbahnen, im Spiel mit Transparenz und Opazität oder im Bereich der Bedruckung. Spezifische Zelltechniken bieten sich besonders gut für Anpassungen an Vorgaben aus dem CI ohne Leistungseinbußen an (Dünnschichttechnologie, OPV). Starke Anpassungen im Hinblick auf die CI können jedoch mit Ertragseinbußen einhergehen. Eine erkennbare CI erfordert hohe Sichtbarkeit, also einen beträchtlichen optischen Effekt. Dafür eignen sich große Flächenauslegungen, die den Ertrag erhöhen können. Die Symbolwirkung der PV ist häufig an die (poly-)kristalline Technik geknüpft. Auch Symbolwirkung setzt Sichtbarkeit voraus und ermöglicht eine hohe Flächenauslegung.

### **4.4.3 Wechselwirkungen**

Nach Darstellung der ertragstechnischen und funktionalen Erwägungen im Gestaltungsprozess soll nun aufgezeigt werden, inwiefern sich hieraus Wechselwirkungen zwischen allen Bereichen ergeben und welche hiervon sich als Hemmnisse bzw. als synergetisch erweisen.

#### Hemmnisse

Ein Konflikt kann beispielsweise im Bereich der Tageslichtnutzung entstehen, wenn transluzente Flächen, die dieser Nutzung gewidmet sind, gleichzeitig mit Solarelementen belegt werden sollen. Da der Ertrag transparenter Module je nach Transparenzgrad proportional abnimmt, stehen diese Nutzungen in direkter Abhängigkeit voneinander und können sich gegenseitig behindern. Gleiches gilt auch für Ausblicke aus dem Gebäude, die durch die Verwendung von Solarmodulen eingeschränkt sein können. Auch der angestrebte Deckungsgrad hat Einfluss auf die Dimensionierung der PV-Anlage, deren Größe wiederum mit anderen Flächenwidmungen der Gebäudehülle abgewogen werden muss. Bei Verwendung von Modulen mit einem höheren Wirkungsgrad kann die Größe der Anlage wiederum reduziert werden.

Hemmend ist in jedem Fall, dass PV-Module eher kühlere, hinterlüftete Einbausituationen benötigen. Das kann bei der Gestaltung zu Problemen führen, wenn die Teile in einer Warmfassade angewendet werden sollen. Allgemein sind warme, transparente Fassadenflächen nicht unbedingt die kompatibelsten Bereiche für den Einsatz von PV. Bei der Nutzung solaraktiver Bauteile in der Gebäudehülle können sich also insbesondere Wechselwirkungen, die sich auf Tageslichtnutzung, Blickbeziehungen und passive Solarenergienutzung beziehen, für die Gestaltung durchaus als hemmend erweisen.

### Synergieeffekte

Den beschriebenen Hemmnissen stehen zahlreiche Synergieeffekte gegenüber, die die Gestaltung mit BIPV erleichtern. Wechselwirkungen, die häufig zu Synergieeffekten bei der Gestaltung führen, lassen sich z. B. durch die ideale Kombination aus den Anforderungen der Stromproduktion und des Schutzes vor Sonneneinstrahlung, erzielen. Gelingen kann dies, wenn PV-Bauteile als Sonnenschutz-Elemente verbaut werden, durch optimale Orientierung zur Sonne sowie durch Hinterlüftung bei außenliegendem Sonnenschutz. Ähnliches gilt für die Tageslichtlenkung. Ist Tageslicht erwünscht und muss gleichzeitig aber auch ein Sonnenschutz vorgesehen werden, kann integrierte PV sowohl Sonnenlicht filtern als auch Schatten spenden und Strom produzieren. Gleichzeitig können atmosphärische Effekte erzeugt werden. Dass PV-Module aufgrund technisch-elektrischer Erfordernisse mehrschichtig sind, führt zu sehr guten Schallschutzeigenschaften. Außerdem entstehen Synergieeffekte, wenn die Ausrichtung der Flächen, an denen der benötigte Strom produziert wird, an den Zeitpunkt des Stromverbrauchs angepasst wird. Ein netzgekoppeltes System muss allerdings grundsätzlich weniger stark an den Strombedarf eines Gebäudes angepasst werden. Durch seine Dachneigung und Orientierung ist insbesondere das Steildach ein idealer Standort für die Integration von Photovoltaik-Anlagen. Auch dass es eine opake Fläche der Gebäudehülle darstellt, ist vorteilhaft. Ein sehr guter Synergieeffekt entsteht im Bereich der thermischen Energiewandlung, wenn die entstehende Wärme von PV-Bauteilen kontrolliert als Abluftwärme genutzt werden kann.<sup>676</sup> Bei der Gestaltung einer integrierten PV-Anlage können sich also insbesondere solche Wechselwirkungen, die sich auf den Witterungsschutz, den Sicht- und den Sonnenschutz beziehen, durchaus als synergetisch herausstellen.

## **4.5 Zusammenfassung**

Bei der Gestaltung von BIPV sind verschiedene systemtechnische Grundlagen zu beachten. Technische, ertragsbeeinflussende Faktoren, funktionale Aufgaben an PV als Bestandteil der Gebäudehülle und spezifische gestaltprägende Eigenschaften aktuell verfügbarer Bauteile sollten ausgewogen berücksichtigt werden.

Die technische Qualität einer BIPV-Anlage zu sichern, bedeutet in erster Linie, ihren Ertrag zu optimieren. Die Berücksichtigung technischer Faktoren umfasst die Gegebenheiten eines Grundstücks hinsichtlich des Einstrahlungspotenzials vor Ort und die Verfügbarkeit geeigneter Flächen am Bauwerk hinsichtlich Neigung, Orientierung und Hinterlüftung. Einzuschließen hat

---

<sup>676</sup> Vgl. Bendel 2009, S. 65.

sie aber ebenso die Leistungsfähigkeit der zum Einsatz kommenden PV-Technik und die technische Konzeptionierung des Gesamtsystems. Die Grundlagen hierfür sind breit erforscht, es gibt aktuelle Grundlagenliteratur und es werden weiter Fortschritte gemacht hinsichtlich der Effizienzoptimierung und der Verringerung der Anfälligkeit für Leistungsminderungen aufgrund von Temperatureffekten, Verschattung u. a.

BIPV-Bauteile haben als Bestandteil der Gebäudehülle zahlreiche Anforderungen zu erfüllen. Dies kann eine Herausforderung sein, und zwar umso mehr, je tiefer die Bauteile konstruktiv integriert sind. Vor allem ihre Multifunktionalität bietet aber auch enormes Potenzial für die Akzeptanz und Verbreitung der Technologie. Neben der Stromproduktion gibt es dabei Funktionen, die vorrangig an die Eigenschaften des Verbundprodukts geknüpft sind, wie z. B. statische Leistungsfähigkeit, Witterungsschutz, Brandschutz und verschiedene andere Sicherheitsanforderungen. Andere Aspekte sind eine Frage des konstruktiven Konzepts der Anlage bzgl. Fugenausbildung, Flächenanschlüsse oder Befestigungen, wie z. B. im Bereich von Luftdichtheit, thermischem Schutz oder Schallschutz. Direkter mit der eigentlichen Charakteristik der PV-Technologie verbunden sind Funktionen wie der Sonnen- oder Sichtschutz. Durch die Ausrichtung zur Sonne und die Möglichkeiten der Anpassung im Bereich der Transparenz sind BIPV-Bauteile geeignet, diese Funktionen optimal zu erfüllen. Auch in Bezug auf Beständigkeit, Wartungserfordernisse und ökologische Nachhaltigkeit können BIPV-Bauteile mit einer hohen Lebensdauer, einem geringen Verschleiß und niedrigem Schadstoffpotenzial überzeugen. Hinzu kommt ihr ästhetisches Potenzial als hochwertiges und vielseitiges Bauprodukt, das sich bereits an Beispielprojekten aufzeigen lässt (vgl. auch Abs. 1.1.2 und 1.1.4).

Bei der Ausschöpfung des ästhetischen Potenzials geht es auch darum, die gestaltprägenden Eigenschaften der BIPV zu berücksichtigen. Die Möglichkeiten der Einflussnahme auf die optische Erscheinung von BIPV-Bauteilen sind heute sehr umfassend, insbesondere im Hinblick auf farbliche Erscheinung und Gestaltung von Zellen und Modulen in Sondergrößen, bis hin zu Forschungen und ersten Produkten im Bereich der vollständig weißen oder vollständig durchsichtigen Produkte. Aber auch in Bezug auf Oberflächenbearbeitungsmöglichkeiten, Befestigungen und Anschlussteile ist die Forschung vorangekommen. Inzwischen ist deutlich geworden, in welchem Maße auch diese Faktoren die Erscheinung einer Anlage bestimmen können und die Möglichkeiten, mit ihr zu gestalten. Der Umfang der verfügbaren Bauteile ist gewachsen und auch die Forschung zu mehr Vielfalt bei weniger Einschränkung in der Leistung und in dem zentralen Bereich der Zulassung von PV als Bauprodukt hat an Fahrt aufgenommen. Viele Eigenschaften beruhen auf den weiteren Bestandteilen der Module und weniger auf dem Zellmaterial selbst. Einige davon erweisen sich als grundlegend und entfalten direkte Wirkung, wie z. B. Farbigkeit, Abmessungen und Transparenzen; andere dagegen wirken eher indirekt, wie z. B. Oberfläche, Modulaufbau, Anschluss und Befestigungsteile.

In der Praxis zeigt sich, dass es bei der Gestaltung von BIPV bei zahlreichen Beteiligten in verschiedenen Phasen und auf unterschiedlichen Seiten mit teils gegensätzlichen Prioritäten immer wieder zu Zielkonflikten kommen kann. Aufgabe der Architekt/innen ist es, relevante Bedürfnisse zu ermitteln, Möglichkeiten aufzuzeigen, zu vermitteln und zu koordinieren und letztlich in Zusammenarbeit mit Fachplaner/innen ein mängelfreies Bauwerk zu erstellen. Dabei sind auch das frühzeitige Einbeziehen von Fachleuten, eine abgestimmte und zielorien-

tierte Art der Zusammenarbeit, die Nutzung der Möglichkeiten geeigneter Software und eine gute Kommunikation wichtige Erfolgsfaktoren. Ganz allgemein gilt es, in einer ausgewogenen Wahrnehmung aller Anforderungen eine technisch, funktional und ästhetisch hochwertige Integration zu erreichen.

Eine erhebliche Relevanz bei der BIPV-Integration hat in diesem Zusammenhang, wie gesehen, das Gestaltungsziel im Hinblick auf die Gestaltprägung durch die PV. Unabhängig von individuellen Zielen in Bezug auf Einzelaspekte kann festgestellt werden, dass es eine Skala gibt hinsichtlich der gewünschten Gestaltprägungsintensität durch die PV. In der Literatur wird das Ziel der Gestaltung als Abstimmung zwischen BIPV-Bauteilen und den übrigen Teilen der Gebäudehülle beschrieben. Demgemäß soll entsprechend den Prinzipien menschlicher Wahrnehmung eine ausgewogene, verträgliche und kohärente Anlage entstehen, die auf verschiedenen Ebenen Bezug zu der Charakteristik des Gebäudes und seiner Umgebung nimmt. In der Hoffnung auf breite Akzeptanz wird das Ziel der Gestaltung dabei überwiegend in einer ausgewogenen Einfügung verortet. Darüber hinaus besteht aber auch Spielraum für Anforderungen besonders zurückhaltender Integrationen und ebenso für besonders auffällige Ansätze. Die Gestaltungsziele sind also projektspezifisch und reichen von dezent-unauffälligen Integrationen mit annähernder Unsichtbarkeit z. B. im Bereich eines Gebäudeensembles, über ausgewogene bis hin zu prägnant-auffälligen Integrationen z. B. im Bereich der Repräsentation spezifischer Inhalte mithilfe der PV.

Bei dem Transfer allgemeingültiger Gestaltungskriterien auf den Bereich der Gestaltung mit BIPV hat sich gezeigt, dass die Prinzipien der architektonischen Komposition insbesondere aus dem Bereich der Gebäudehülle angewandt auf die Integration von solaraktiven Bauteilen Aspekte der Abstimmung, der Koordination und des In-Beziehung-Setzens betreffen (vgl. Abb. 121).

|   |  |
|---|--|
| <b>1. Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br>Proportionale Bezüge<br>Flächenintegrität<br>Formprägung<br>Abgestimmte Flächenanteile | <b>2. Maßstäblichkeit</b><br>Mit Größen des Gebäudes abgestimmt<br>Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt<br>Mit bauüblichen Maßstäben abgestimmt             |
| <b>3. Korrespondierende Farben</b><br>Abgestimmte Farbtöne<br>Abgestimmte Farbhelligkeiten<br>Abgestimmte Farbsättigungen                   | <b>4. Korrespondierende Materialien</b><br>Abgestimmte Transparenzen / Opazitäten<br>Abgestimmte Glanz- / Reflexionsgrade<br>Abgestimmte Oberflächentexturen |
| <b>5. Bezug zur Umgebung</b><br>Farbliche Bezüge<br>Materielle Bezüge<br>Formale Bezüge   | <b>6. Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br>Abgestimmte syntaktische Wirkung<br>Abgestimmte semantische Wirkung  |

Abb. 121: Übersicht über die aus der allgemeinen architektonischen Gestaltungstheorie auf die PV-Integration transferierten Kriterien für gute Gestaltung (eigene Darstellung)



Im Bereich der proportionalen Gliederung eines Bauwerks geht es, wenn PV integriert werden soll, darum, Maß- und Mengenverhältnisse aufeinander abzustimmen. Wie aus der vorstehenden Darstellung hervorgeht, ist die Maßstäblichkeit in der architektonischen Gestaltung auch bei der BIPV relevant, und zwar sowohl für die Anlage selbst als auch im Zusammenspiel mit den übrigen Elementen. Generieren Farbgebung und Materialität in der Architektur Qualität, indem sie ein Entwurfskonzept unterstützen, so liegt der Fokus bei der BIPV-Gestaltung darauf, inwieweit die Farben und Materialien der Anlage mit denen des Gebäudes in Beziehung stehen. Gleiches gilt für die Umgebung. Auch hier sind farbliche, materielle und formale Bezüge wichtige Faktoren der Beziehung zur Umgebung. In Bezug auf die Zeichenhaftigkeit einer PV-Anlage liegt der Schwerpunkt darauf, sowohl ihre ornamentale als auch ihre symbolische Wirkung in das Gesamtbild des Gebäudes zu integrieren. Dabei gibt es bei allen Kriterien, die für die BIPV relevant sind, eine Skala, auf der der gewünschte Grad der Anpassung bzw. bewussten Kontrastierung über die Intensität der Gestaltprägung entscheidet. Qualität ist dabei erst das Resultat eines Zusammenwirkens aller Kriterien, die so stark von konkreten Bauaufgaben abhängen, dass sie zwar im Einzelnen priorisiert, aber auch für nicht relevant befunden werden können. Genauso kann hinsichtlich der Gestaltprägung ein Gesamtgestaltungsziel verfolgt werden oder auch nur ein einzelnes Kriterium allein priorisiert werden.

Die Betrachtung der technischen und funktionalen Erwägungen hat gezeigt, dass diese einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Gestaltung nehmen können und mit deren anderen Aspekten in einer vielseitigen Wechselbeziehung stehen. Die analytische Recherche hierzu hat ergeben, dass einige Wechselwirkungen, wie z. B. die Interferenzen von Stromerzeugung mit Tageslichtnutzung, Blickbeziehungen und passiver Solarenergienutzung, sich durchaus als Hemmnisse erweisen können. Andere Wechselwirkungen, wie z. B. in Bezug auf Witterungsschutz, Sicht- und Sonnenschutz, haben dagegen eher einen symbiotischen Charakter.

Die in diesem Kapitel ermittelten Kriterien und ihre technischen und funktionalen Wechselwirkungen können nun anhand von „best practice“-Beispielen im Rahmen einer Projektstudie untersucht werden, so dass sie sich anschließend im Rahmen einer Synthese zu einem Kriterienkatalog zusammenführen lassen.

## 5 Projektstudie

Nach der erfolgten Übertragung ästhetischer Kriterien für qualitätvolle Gestaltung in der Architektur auf den besonderen Bereich der Gestaltung von BIPV (Kap. 4) werden diese nun anhand einer „best practice“-Projektstudie untersucht. Hierfür werden zunächst Ziel und Gegenstand der Untersuchung definiert, die methodische Vorgehensweise und die Projektauswahl erläutert sowie die Untersuchungskriterien aufgezeigt. Die Projektanalysen selbst werden hier in Kurzform zusammenfassend dargestellt und sind im Anhang als Langversion beigefügt. Das Kapitel schließt mit einer kritischen Beurteilung der Studie unter Berücksichtigung der Zielsetzung, sodass im Anschluss die Ergebnisse zusammen mit den bisherigen Erkenntnissen im Rahmen einer Synthese zu einem Kriterienkatalog zusammengeführt werden können (Kap. 6).

### 5.1 Ziel und Gegenstand der Untersuchung

Das Ziel der Untersuchung besteht darin, die im Rahmen der analytischen Recherche ermittelten Kriterien für die Gestaltung von BIPV anhand von allgemein als gelungen angesehenen Projektbeispielen zu untersuchen. Dabei soll auch die Relevanz der spezifischen Ausprägung einzelner Kriterien im Hinblick auf Gestaltungsziele, wie etwa der Ausgewogenheit der Integration, aber auch besonderer Unauffälligkeit oder Auffälligkeit, überprüft werden. Des Weiteren soll die Studie den Umgang mit funktionalen und technischen Anforderungen bei der Gestaltung von BIPV untersuchen und weitere eventuell relevante Aspekte ermitteln, die die analytische Recherche ergänzen.

Gegenstand der nun folgenden Untersuchung ist konkret die anhand der in Kap. 4 ermittelten Kriterien zu analysierende Gestaltung von BIPV-Projekten an realisierten „best practice“-Beispielen in Form von aktuellen Wettbewerbsgewinnern des „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“ des SeV Bayern. Herauszuarbeiten sein werden dabei einerseits der übergeordnete Charakter der Gestaltung im Hinblick auf den Grad der Gestaltprägung durch die PV und andererseits der Umgang mit dem Einfluss von Funktion und Technik.

### 5.2 Methodische Vorgehensweise

Nachdem Ziel und Gegenstand der Untersuchung erläutert wurden wird hier nun der Ablauf der Untersuchung im Rahmen der Projektstudie aufgezeigt.

Für die durchzuführenden Analysen werden zunächst anhand einer Auswahl nach festgelegten Kriterien geeignete Projekte identifiziert (vgl. Abs. 5.3). Darauf folgt die Darstellung aller auf die Projekte anzuwendenden Untersuchungskriterien (vgl. Abs. 5.4). Die eigentliche Datenerhebung erfolgt anhand von Recherchen und im Rahmen von Besichtigungen aller Projekte vor Ort. Hierbei werden allgemeine Projektdaten ermittelt sowie alle Untersuchungskriterien überprüft und alles dokumentiert (vgl. Anhang: Projektstudie Langversion). Für den Hauptteil dieser Arbeit werden die Untersuchungen der Studie in Form einer Kurzversion zusammengefasst (vgl. Abs. 5.5). Eine kritische Beurteilung unter Berücksichtigung der Zielsetzung der Studie fasst abschließend alle Ergebnisse zusammen (vgl. Abs. 5.6).

Primärquellen für die Datenerhebung sind Antworten auf Mail-Anfragen, Telefonate und Vor-Ort-Befragungen von Personen aus den Bereichen Bauauftrag, Architektur, Fachplanung PV und Herstellung PV. Weitere Daten werden aus Sekundärquellen, bestehend aus Buchveröffentlichungen, Forschungsberichten, Architektur-Datenbanken, Fachmagazinen, Pressemitteilungen sowie Internetpräsenzen beteiligter Personen, Firmen oder der Projektbeispiele selbst, erhoben. Alle verwendeten Daten sind jeweils direkt im Anschluss an die Projektuntersuchung im Bereich der Langversion der Studie dokumentiert.

### 5.3 Projektauswahl

Die in der Projektstudie untersuchten, bereits realisierten „best practice“-Beispiele sind durch ihre Prämierung in einem BIPV-Wettbewerb allgemein als sehr gut gestaltet anerkannt. Im Rahmen der Eingrenzung dieser Arbeit und zur Optimierung der Vergleichbarkeit müssen die Wettbewerbsgewinner zusätzliche Vorgaben erfüllen. Im Folgenden sind alle Kriterien für die hier zu treffende Auswahl aufgelistet (vgl. auch Tab. 1 und zur geographischen Übersicht Abb. 123).

#### 1. Preisträger eines renommierten Wettbewerbs für BIPV

Der „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“ wird ausgelobt vom Solarenergieförderverein Bayern. Der SeV würdigt damit „herausragende Beiträge der Planung und Gestaltung gebäudeintegrierter Solaranlagen“.<sup>677</sup> Der erste Wettbewerb fand bereits im Jahr 2000 statt. Der SeV ist damit eine der Organisationen, die das Potenzial der Solartechnik im Allgemeinen und speziell der BIPV schon früh erkannt und auf beispielhafte Lösungen und die vielfältigen gestalterischen Möglichkeiten der BIPV hingewiesen haben. Zusammen mit dem Deutschen, dem Europäischen und dem Schweizer Solarpreis ist der „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“ in Europa eine führende Veranstaltung auf seinem Gebiet.<sup>678</sup> Seit den ersten Wettbewerben in den Jahren 2000 und 2001 findet der Wettbewerb seit 2005 dreijährlich statt, wobei die deutlich steigende Anzahl eingereichter und bewerteter Arbeiten die wachsende (internationale) Anerkennung dokumentiert (vgl. Abb. 122).

#### 2. Prämierung für die gelungene Integration von PV-Technik

Der „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik“ würdigt auch Projekte vorbildlich integrierter Solarthermie. Allerdings werden Gebäude, bei denen überwiegend oder ausschließlich die Gestaltung dieser Technik zu einer Prämierung geführt hat, von der Studie auszuschließen sein, da die architektonische Integration von Solarthermie nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist (vgl. Abs. 2.3.1).

---

<sup>677</sup> Internetauftritt des SeV unter: [www.sev-bayern.de](http://www.sev-bayern.de) [07.02.2021].

<sup>678</sup> Vgl. Krippner 2018, S. 7.

### 3. Aktualität

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Projekte, werden nur Projekte betrachtet, die ab dem Jahr 2008 bis einschließlich 2017 bewertet wurden, da sich die BIPV-Technik und die Verfügbarkeit von spezifischen Bauteilen schnell weiterentwickeln (vgl. Abs. 1.1.2).

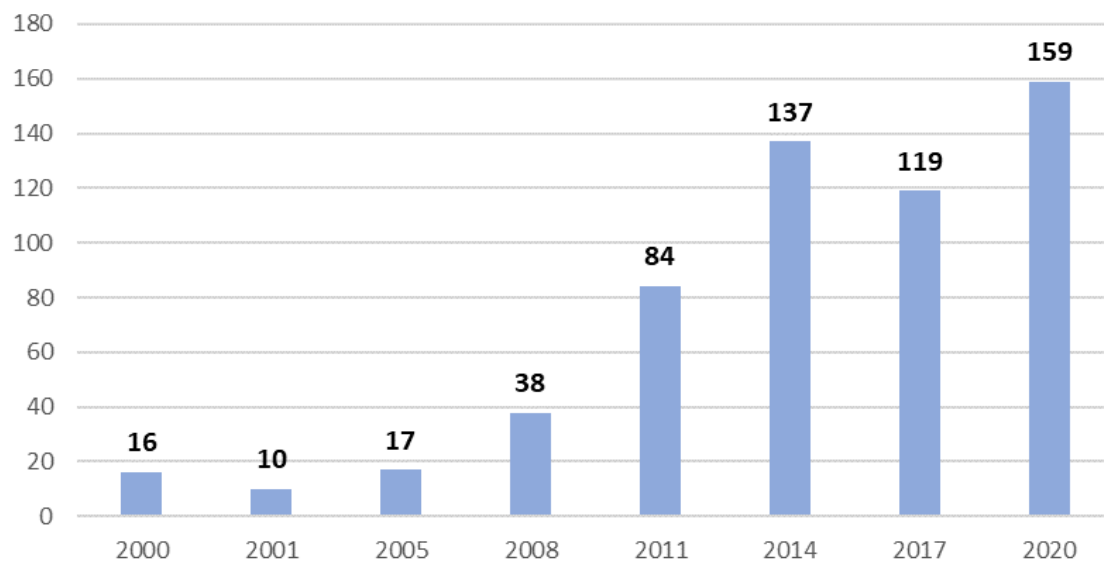


Abb. 122: Entwicklung der Anzahl der bewerteten Arbeiten des „Architekturpreises Gebäudeintegrierte Solartechnik“ zwischen 2000 und 2020 (eigene Darstellung; Datenquellen: SeV 2008/2011/2014/2017/2020)

### 4. Preisträger eines Hauptpreises

Berücksichtigt werden alle Preisträger inklusive der Anerkennungspreise, deren Projekte sich dadurch als sehr gut gestaltet ausweisen. Einreichungen, an die Sonderpreise vergeben wurden (z. B. studentische Projekte), werden nicht berücksichtigt, da es sich hier häufig um Prototypen handelt oder die speziellen Umstände ihrer Entwicklung wie z. B. ein studentischer Kontext im Besonderen in die Bewertung miteinfließen. Ausgenommen hiervon ist das Projekt Solarhaus der TU Darmstadt, das 2008 einen regulären Anerkennungspreis gewann, da Sonderpreiskategorien derzeit noch nicht vorgesehen waren.

### 5. Neubau-Projekte

Zudem werden ausschließlich Neubauten betrachtet, da Sanierungen spezielle Zusatzherausforderungen in sich bergen, die die Vergleichbarkeit der Projekte erschweren würde (vgl. Abs. 2.3.1).

### 6. Geographische Lage in Europa

Mit Blick auf die Vergleichbarkeit der gesetzlichen Rahmenbedingungen wird eine geographische Eingrenzung auf Europa vorgenommen.

| #  | Jahr | Platzierung | Projekt   | Standort Europa | Prämiert für PV | Neubau |
|----|------|-------------|---|-----------------|-----------------|--------|
| 1  | 2008 | 1. Preis    | Marché International, Kemptthal (CH)              | x               | x               | x      |
|    | 2008 | Anerk.      | opusHouse, Darmstadt (DE)                         | x               |                 |        |
|    | 2008 | Anerk.      | SIEEB Building, Peking (CN)                       |                 | x               | x      |
| 2  | 2008 | Anerk.      | Solarhaus, Darmstadt (DE)                         | x               | x               | x      |
| 3  | 2008 | Anerk.      | Solar XXI, Lissabon (PT)                          | x               | x               | x      |
| 4  | 2011 | 1. Preis    | Halle design.s, Freising (DE)                     | x               | x               | x      |
|    | 2011 | 2. Preis    | Zero Energy Buildings, Lugano (CH)                | x               |                 | x      |
|    | 2011 | 3. Preis    | Sanierung einer Brauerei, Bad Tölz (DE)           | x               |                 |        |
|    | 2011 | Anerk.      | Hauptverwaltung Energie Steiermark AG, Graz (AT)  | x               | x               |        |
| 5  | 2011 | Anerk.      | SMA Solar Academy, Niestetal (DE)                 | x               | x               | x      |
|    | 2011 | Anerk.      | Veranstaltungszentrum Schloss Montabaur (DE)      | x               | x               |        |
| 6  | 2014 | 1. Preis    | Umweltarena Spreitenbach (CH)                     | x               | x               | x      |
|    | 2014 | Anerk.      | Überdachung Abfallwirtschaft, München (DE)        | x               | x               |        |
|    | 2014 | Anerk.      | Halle Pajol, Paris (FR)                           | x               | x               |        |
| 7  | 2014 | Anerk.      | SwissTech Convention Centre, Lausanne (CH)        | x               | x               | x      |
| 8  | 2014 | Anerk.      | Wohnhaus Glattfelden (CH)                         | x               | x               | x      |
|    | 2014 | Anerk.      | Katholische Kirche, Heiden (CH)                   | x               | x               |        |
|    | 2017 | 1. Preis    | Hof 8, Weikersheim-Schäftersheim (DE)             | x               | x               |        |
| 9  | 2017 | Anerk.      | Aktiv-Stadthaus, Frankfurt a. M. (DE)             | x               | x               | x      |
| 10 | 2017 | Anerk.      | Copenhagen International School, Nordhaven (DK)   | x               | x               | x      |
| 11 | 2017 | Anerk.      | Wohnhaus Schneller Bader, Tamins (CH)             | x               | x               | x      |
|    | 2017 | Anerk.      | Stall B., Tschagguns (AT)                         | x               | x               |        |
|    | 2017 | Anerk.      | Effizienzhaus Plus im Altbau, Neu-Ulm (DE)        | x               | x               |        |
| 12 | 2017 | Anerk.      | Grosspeter Tower, Basel (CH)                      | x               | x               | x      |
| 13 | 2017 | Anerk.      | Kath. Propsteikirche St. Trinitatis, Leipzig (DE) | x               | x               | x      |

Tab. 1: Übersicht Projektauswahl (eigene Darstellung)

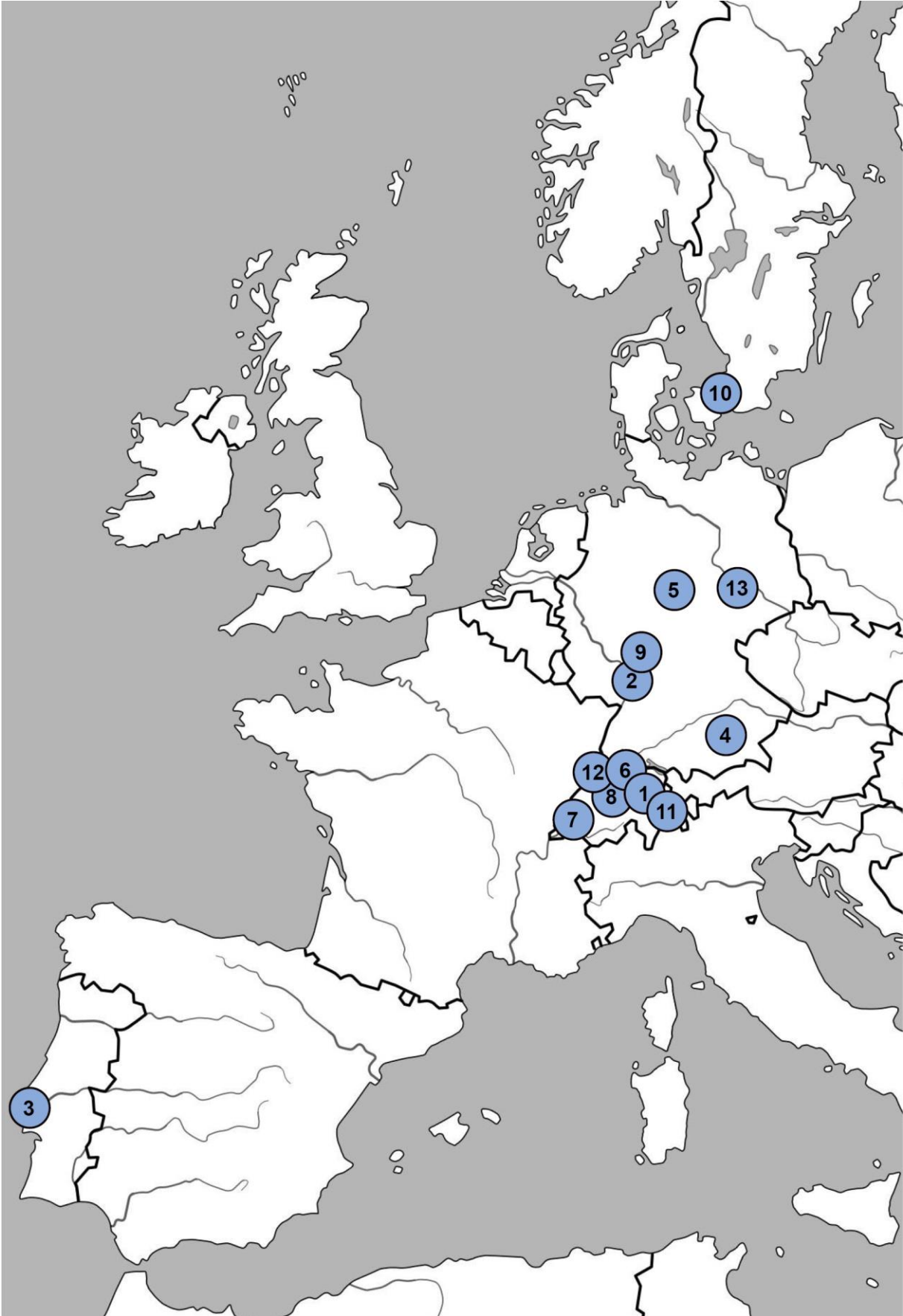


Abb. 123: Übersichtskarte Projektauswahl (eigene Darstellung)

## 5.4 Untersuchungskriterien

Im Folgenden werden die Kriterien dargelegt, nach denen die Projekte untersucht werden.

### 1. Projektdaten


In einer kurzen Übersicht werden die wichtigsten Eckdaten zu Gebäude, Projektbeteiligten, BIPV-Anlage, Veröffentlichungen und Auszeichnungen zusammengestellt und eine knappe Beschreibung vorgenommen (vgl. Tab. 2).

| <b>1 Projektdaten</b>     |  |
|---------------------------|--|
| <b>Projekt</b>            | Name   |
|                           | Standort   |
|                           | Fertigstellung   |
|                           | Gebäudenutzung   |
| <b>Planung</b>            | Bauftrag   |
|                           | Architektur  |
|                           | Fachplanung aus Bereichen wie Photovoltaik, Energie, Gebäudetechnik etc. (Auswahl projektspezifisch) |
| <b>BIPV-System</b>        | Modulart   |
|                           | Anwendungsbereich  |
|                           | Ausrichtung  |
|                           | PV-Belegung (Anteil an der gesamten oberirdischen Gebäudehülle in %)                                 |
|                           | Nennleistung (kWp)   |
|                           | Jahresertrag (kWh/a)   |
|                           | Spezifischer Jahresertrag (kWha/kWp)   |
|                           | Solarer Deckungsgrad (Anteil am gesamten Energiebedarf in %)   |
| <b>Veröffentlichungen</b> |  |
| <b>Wettbewerbe</b>        |  |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |  |

Tab. 2: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 1 Projektdaten (eigene Darstellung)

### 2. Beschreibung des Gestaltungscharakters


Der individuelle Gestaltungscharakter der PV-Integration der einzelnen Projektbeispiele wird anhand von Auszügen aus Jurybewertungen, Artikeln der Fachpresse, Beschreibungen von Beteiligten und anderen Veröffentlichungen aufgezeigt, zusammenfassend beschrieben und dann in einer Skala (dezent-unauffällig, ausgewogen, prägnant-auffällig) eingeordnet (vgl. Tab. 3).

| <b>2 Beschreibung des Gestaltungscharakters</b> |  |
|---|--|
| <b>Beschreibung</b>                             | Textliche Beschreibung des Gestaltungscharakters der BIPV anhand von Literaturrecherchen, Aussagen von Beteiligten und dem Eindruck vor Ort. |
| <b>Skala</b>                                    | Zuordnung anhand einer Skala:<br>                          |

Tab. 3: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 2 Beschreibung des Gestaltungscharakters (eigene Darstellung)

### 3. Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

Die Untersuchung der Gestaltung der BIPV-Anlagen erfolgt anhand der sechs in Abschnitt 4.3 ermittelten Gestaltungskriterien (vgl. Abs. 4.3). Hierbei wird jeweils zu eruieren sein, ob und inwiefern das Kriterium und seine Teilkriterien bei der Gestaltung der BIPV am Gebäude berücksichtigt wurden. Um auch mögliche Zwischenstufen erfassen zu können, wird der Gestaltprägungsgrad fünfstufig in einer Skala (dezent-unauffällig, dezent-unauffällig bis ausgewogen, ausgewogen, ausgewogen bis prägnant-auffällig, prägnant-auffällig) eingeordnet (vgl. Tab. 4).

| <b>3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien</b> |   |
|--|---|
| <b>Beschreibung</b>                                  | <b>Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br><b>Kriterium 2 - Maßstäblichkeit</b><br><b>Kriterium 3 - Korrespondierende Farben</b><br><b>Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien</b><br><b>Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung</b><br><b>Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b> |
| <b>Skala</b>   | Zuordnung anhand einer Skala:<br>   |

Tab. 4: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien (eigene Darstellung)

### 4. Funktionen der BIPV-Anlage

Des Weiteren werden die Projektbeispiele bezüglich der Funktionen untersucht, die von der BIPV erfüllt werden (vgl. Abs. 4.1.2 und Tab. 5). Dabei werden sowohl die Aufgaben ermittelt, die die solaraktiven Bauteile in der Gebäudehülle selbst erfüllen, als auch weitere Funktionen, die sie eventuell unterstützen (wie z. B. Lüftungs-, Kühlungs- oder Heizungssysteme) ebenso wie Funktionen, denen sie eventuell entgegenstehen (wie z. B. passiver Solarenergienutzung, Blickbeziehungen, Tageslichtnutzung).



| 4 Funktionen der BIPV-Anlage |   |     |   |
|------------------------------|---|-----|---|
| 1.                           | <b>Stromproduktion</b>                      | 10. | <b>Elektromagnetische Abschirmung</b>   |
| 2.                           | <b>Statische Leistungsfähigkeit</b>         | 11. | <b>Material- und Personensicherheit</b> |
| 3.                           | <b>Luftdichtheit</b>                        | 12. | <b>Objektsicherheit/Einbruchschutz</b>  |
| 4.                           | <b>Witterungsschutz</b>                     | 13. | <b>Beständigkeit</b>                    |
| 5.                           | <b>Thermischer Schutz</b>                   | 14. | <b>Wartung</b>                          |
| 6.                           | <b>Schallschutz</b>                         | 15. | <b>Ökologische Nachhaltigkeit</b>       |
| 7.                           | <b>Brandschutz</b>                          | 16. | <b>Repräsentation einer CI</b>          |
| 8.                           | <b>Sonnenschutz/Tageslichtregulierung</b>   | 17. | <b>Atmosphärische Effekte</b>           |
| 9.                           | <b>Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz</b> | 18. | <b>Ästhetische Qualität</b>             |

Tab. 5: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 4 Funktionen der BIPV-Anlage (eigene Darstellung)

### 5. Systemtechnik

Zur Untersuchung der Systemtechnik werden verschiedene Daten zu spezifischen, den Ertrag beeinflussenden Eigenschaften der BIPV- Anlage (vgl. Abs. 4.1.1) erhoben (vgl. Tab. 6).


| 5 Systemtechnik |  |              |  |
|-----------------|--|--------------|--|
| 1.              | <b>Standort</b>  |              |  |
| 2.              | <b>Neigung und Orientierung</b>  |              |  |
| 3.              | <b>Verschattung</b>  |              |  |
| 4.              | <b>Leistungsfähigkeit der Anlage</b>                                     |              |  |
|                 |  | Gesamtsystem | Anwendungsbereich                                |
|                 |  |              | PV-Belegung Gebäudeoberfläche (%)                |
|                 |  |              | PV-Belegung Gebäudeoberfläche (m <sup>2</sup> )  |
|                 |  |              | Nennleistung/m <sup>2</sup> (Wp/m <sup>2</sup> ) |
|                 |  |              | Nennleistung (kWp)                               |
|                 |  |              | Jahresertrag (kWh/a)                             |
|                 |  |              | Solarer Deckungsgrad (%)                         |
|                 |  |              | Anschluss  |
|                 |  |              | Anzahl Module                                    |
|                 |  |              | Anzahl Wechselrichter                            |
|                 |  | Module       | Art  |
|                 |  |              | Hersteller                                       |
|                 |  |              | Größe  |
|                 |  |              | Produktbezeichnung                               |
|                 |  |              | Modulwirkungsgrad (%)                            |
|                 |  |              | Nennleistung (Wp)                                |
|                 |  |              | Modulfläche (m <sup>2</sup> )                    |
|                 |  | Zellen       | Art  |
|                 |  |              | Farbe  |
| 5.              | <b>Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               |              |  |
| 6.              | <b>Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> |              |  |
| 7.              | <b>Speicherung</b>   |              |  |

Tab. 6: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 5 Systemtechnik (eigene Darstellung)


## **5.5 Ergebnisse der Projektstudie (Kurzversion)**

Im Folgenden werden die Resultate der Projektstudie in Form einer Kurzversion zusammengefasst. Die vollständige Darstellung in Form einer Langversion der Untersuchung ist im Anhang beigefügt.


### 1. Marché International, Kempththal (CH), 2007

|   |                               |                                     |                |                    |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|----------------|--------------------|
| <b>1.1 Projektdaten</b>   |                               |                                     |                |                    |
|  <p>Abb. 124: Marché International (SAS 2007, Titel)</p>   | Name                          | Marché International                |                |                    |
|   | Standort                      | Kempththal (CH)                     |                |                    |
|   | Fertigstellung                | 2007                                |                |                    |
|   | Gebäudenutzung                | Bürogebäude                         |                |                    |
|   | Architektur                   | Beat Kämpfen - Büro für Architektur |                |                    |
|   | Modulart                      | Dünnschicht Standardmodule          |                |                    |
|   | Anwendungsbereich             | Dach                                |                |                    |
| <b>1.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters</b>   |                               |                                     |                |                    |
| <p>Die Erscheinung der integrierten PV-Anlage wird als „unaufdringlich“, „elegant“ und „ausgewogen“ beschrieben mit einer insgesamt hohen gestalterischen Qualität. Der Generator erscheint wie ein selbstverständliches Element der Gebäudehülle, das mit dieser zu einer optischen Einheit verschmilzt, und ordnet sich ausgewogen in die Gesamtgestaltung ein.</p> |                               | dezent-unauffällig                  | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|   |                               |                                     | x              |                    |
| <b>1.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien</b>  |                               |                                     |                |                    |
| <p><b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br/>                 Maß- und Mengenverhältnisse sind hinsichtlich aller Teilkriterien sorgsam aufeinander abgestimmt, insbesondere hinsichtlich der Flächenintegrität und der Formprägung.</p>  |                               | dezent-unauffällig                  | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|   |                               |                                     | x              |                    |
| <p><b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br/>                 In ihrer Maßstäblichkeit ist die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle und bauübliche Maßstäbe abgestimmt.</p>  |                               | dezent-unauffällig                  | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|   |                               |                                     | x              |                    |
| <p><b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br/>                 Farblich wurde die BIPV sowohl auf Modulebene als auch auf Gebäudeebene abgestimmt.</p>  |                               | dezent-unauffällig                  | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|   |                               |                                     | x              |                    |
| <p><b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br/>                 In der materiellen Komposition hebt sich der Generator in seinen Eigenschaften deutlich von der Holzfassade ab. Glatte, leicht glänzende Glasoberflächen stehen matten Holzoberflächen gegenüber.</p>   |                               | dezent-unauffällig                  | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|   |                               |                                     | x              |                    |
| <p><b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br/>                 Bezüge zur Umgebung wurden insbesondere farblich und im Hinblick auf die Dachform geschaffen, lediglich das Material hebt sich leicht ab.</p>  |                               | dezent-unauffällig                  | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|   |                               |                                     | x              |                    |
| <p><b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br/>                 In ihrer diskreten, symbolischen Wirkung ist die BIPV auf das restliche Gebäude und dessen Nutzung abgestimmt.</p>   |                               | dezent-unauffällig                  | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|   |                               |                                     | x              |                    |
| <b>1.4 Funktionen der BIPV-Anlage</b>   |                               |                                     |                |                    |
| Funktionen: 2 (Stromproduktion, Witterungsschutz)   |                               |                                     |                |                    |
| <b>1.5 Systemtechnik</b>  |                               |                                     |                |                    |
| Ausrichtung   | 12 °, Süd                     | Jahresertrag                        | 40.000 kWh/a   |                    |
| PV-Belegung   | 485 m <sup>2</sup> / ca. 26 % | Spez. Jahresertrag                  | 896,9 kWha/kWp |                    |
| Nennleistung  | 44,6 kWp                      | Solarer Deckungsgrad                | 100 %          |                    |


## 2. Solarhaus, Darmstadt (DE), 2007

| 2.1 Übersicht Projektdaten  |                               |   |                  |                    |
|---|-------------------------------|---|------------------|--------------------|
|  <p>Abb. 125: Solarhaus (TU Darmstadt/Thomas Ott)</p>  | Name                          | Solarhaus   |                  |                    |
|   | Standort                      | Darmstadt (DE)  |                  |                    |
|   | Fertigstellung                | 2007  |                  |                    |
|   | Gebäudenutzung                | Wohngebäude (Wettbewerbsbeitrag zum Solar Decathlon 2007)   |                  |                    |
|   | Architektur                   | Team Deutschland der TU Darmstadt                           |                  |                    |
|   | Modulart                      | Monokristalline Standardmodule und Dünnschicht Sondermodule |                  |                    |
|   | Anwendungsbereich             | Dach und Fassade  |                  |                    |
| 2.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters  |                               |   |                  |                    |
| <p>Die Wirkung der integrierten Anlage wird als „gestalterisch schlüssig“, „[in ihrer Transparenz] anpassbar“, besonders „integrativ“ und „angepasst“ beschrieben. Alle drei Anlagen-Teile des Gesamtgenerators fügen sich diskret und unauffällig in die Gestaltung ein.</p> |                               | dezent-unauffällig  | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
|   |                               | x   |                  |                    |
| 2.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien   |                               |   |                  |                    |
| <p><b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br/>In ihren Maß- und Mengenverhältnissen sind PV und Gebäude bezüglich aller Teilkriterien sorgsam aufeinander abgestimmt.</p>  |                               | dezent-unauffällig  | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
|   |                               | x   |                  |                    |
| <p><b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br/>Die Maßstäblichkeit der BIPV wurde bewusst gestaltet und auf vielen Ebenen auf die Erscheinung des Gesamtgebäudes abgestimmt.</p>  |                               | dezent-unauffällig  | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
|   |                               | x   |                  |                    |
| <p><b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br/>Durch die starke farbliche Anpassung insbesondere der Fassadenanlage wurde eine monochrom-analoge Farbkomposition geschaffen.</p>   |                               | dezent-unauffällig  | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
|   |                               | x   |                  |                    |
| <p><b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br/>Auch materiell ist die BIPV auf vielen Ebenen bewusst an die Erscheinung des Gebäudes angepasst.</p>   |                               | dezent-unauffällig  | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
|   |                               |   | x                |                    |
| <p><b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br/>K. A. (Eine Reaktion auf einen konkreten räumlichen Kontext war im Wettbewerb nicht gefordert.)</p>   |                               | dezent-unauffällig  | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
|   |                               |   |                  |                    |
| <p><b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br/>Mit ihrer leichten ornamentalen und symbolischen Wirkung ist die BIPV auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle und die Nutzung des Gebäudes abgestimmt.</p>  |                               | dezent-unauffällig  | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
|   |                               |   | x                |                    |
| 2.4 Funktionen der BIPV-Anlage  |                               |   |                  |                    |
| Funktionen: 6 (Stromproduktion, Witterungsschutz, Sonnenschutz/Tageslichtregulierung, Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz, Objektsicherheit/Einbruchschutz, Atmosphärische Effekte)  |                               |   |                  |                    |
| 2.5 Systemtechnik   |                               |   |                  |                    |
| Ausrichtung   | 3°, N&S; 0°; bewegl.          | Jahresertrag  | 12.000 kWh/a     |                    |
| PV-Belegung   | ca. 105 m <sup>2</sup> / 58 % | Spez. Jahresertrag  | 1.090,9 kWha/kWp |                    |
| Nennleistung  | ca. 11 kWp                    | Solarer Deckungsgrad  | > 100 %          |                    |

### 3. Solar XXI, Lissabon (PT), 2006

| 3.1 Übersicht Projektdaten   |                   |                                   |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|--|-------------------|-----------------------------------|----------------------|--|--------------------|------------|--------------------|--|---|---|
|  <p>Abb. 126: Solar XXI (Arkiplus)</p>  | Name              | Solar XXI                         |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Standort          | Lissabon (PT)                     |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Fertigstellung    | 2006                              |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Gebäudenutzung    | Labor- und Bürogebäude            |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Architektur       | P. Cabrito e I. Diniz Arquitectos |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Modulart          | Polykristalline Standardmodule    |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Anwendungsbereich | Fassade                           |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| 3.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters   |                   |                                   |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p>Die PV-Anlage ist deutlich sichtbar in die Hauptfassade des Gebäudes integriert mit großformatigen Modulen und schillernd blauen, polykristallinen Zellen. Sie wird als „rhythmisch“ und „formgenerierend“ beschrieben. Die Architekt/innen unterstreichen in ihrer Projektbeschreibung die Südfassade mit den „kristall-blauen“ Modulen als „herausstechend“ und „emblematisch“, wohingegen das übrige Gebäudedesign eher pragmatisch und neutral sei, um vor allem den demonstrativen Charakter des Gebäudes zu unterstreichen.</p> |                   |                                   |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  |                   | x                                 |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| 3.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien  |                   |                                   |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br/>         Maßliche Bezüge sind vielfältig gestaltet, und auch die Mengenverhältnisse sind sorgfältig aufeinander abgestimmt.</p>   |                   |                                   |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | x                 |                                   |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br/>         Maßstäblich ist die BIPV auf verschiedenen Ebenen bewusst gestaltet und erscheint weder über- noch unterdimensioniert im Vergleich mit anderen Elementen der Gebäudehülle oder bauüblichen Maßen.</p>  |                   |                                   |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  |                   | x                                 |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br/>         Der Farbklang der Gebäudehülle weist zahlreiche Kontraste im Bereich von Farbtönen, -helligkeiten und -sättigungen auf.</p>   |                   |                                   |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  |                   | x                                 |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br/>         Insbesondere die Südfassade des Solar XXI zeigt einen kontrastreichen Materialmix.</p>   |                   |                                   |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  |                   | x                                 |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br/>         Das Gebäude hat insbesondere durch die intensive Farbigkeit der PV-Anlage eine durchaus solitäre Wirkung, ist teilweise aber auch an die heterogene Umgebung angepasst.</p>   |                   |                                   |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | x                 |                                   |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br/>         Abgestimmt auf die übrige Fassade und die Nutzung des Gebäudes geht von der Anlage sowohl eine starke ornamentale als auch eine symbolische Wirkung aus.</p>  |                   |                                   |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  |                   | x                                 |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| 3.4 Funktionen der BIPV-Anlage   |                   |                                   |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| Funktionen: 5 (Stromproduktion, Witterungsschutz, Schallschutz, Repräsentation einer CI, Nutzung thermischer Abwärme)  |                   |                                   |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| 3.5 Systemtechnik  |                   |                                   |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Ausrichtung       | 90 °, Süd                         | Jahresertrag         | 12.000 kWh/a   |                    |            |                    |  |   |   |
|  | PV-Belegung       | 96 m <sup>2</sup> / ca. 7 %       | Spez. Jahresertrag   | 1.004 kWha/kWp   |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Nennleistung      | 12 kWp                            | Solarer Deckungsgrad | 60 - 70 % der elektr. Energie  |                    |            |                    |  |   |   |

### 4. Halle design.s, Freising (DE), 2010

| 4.1 Übersicht Projektdaten  |                   |                                |
|---|-------------------|--------------------------------|
|  <p>Abb. 127: Halle design.s (Deppisch Architekten/Sebastian Schels)</p> | Name              | Halle design.s                 |
|   | Standort          | Freising (DE)                  |
|   | Fertigstellung    | 2010                           |
|   | Gebäudenutzung    | Schreinerei                    |
|   | Architektur       | Deppisch Architekten, Freising |
|   | Modulart          | Dünnschicht Standardmodule     |
|   | Anwendungsbereich | Dach                           |


| 4.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters  |                    |            |                    |
|---|--------------------|------------|--------------------|
| Die Anlage ordnet sich ausgewogen in die Gesamtgestaltung ein. Sie wird als „groß“ und „schimmernd“ beschrieben, aber auch als „homogen“, „wie aus einem Guss“ und „reduziert“. | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
|   |                    | x          |                    |

| 4.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien  |                    |            |                    |
|--|--------------------|------------|--------------------|
| <b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br>Die maßliche und flächenbezogene Abstimmungsarbeit zeigt sich in vielen proportionalen Bezügen, der hohen Qualität der Flächenintegrität, der abgestimmten Formprägung und Dimensionierung des Generators am Gebäude.   | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
|  |                    | x          |                    |
| <b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br>In Bezug auf ihre Maßstäblichkeit ist die PV-Anlage an andere Elemente des Gebäudes, an menschliche Maßstäbe und an bauübliche Maßstäbe angepasst.  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
|  |                    | x          |                    |
| <b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br>Der Farbklang zwischen PV-Anlage und übriger Fassade ist harmonisch abgestimmt. Gewählt wurden monochrome Farbkombinationen und gleiche Farbsättigungsgrade.   | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
|  | x                  |            |                    |
| <b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br>Die Anlage bildet zum übrigen holzverkleideten Teil der Fassade durchaus einen Kontrast, insbesondere hinsichtlich des Glanzgrads und der Oberflächentextur. Innerhalb der Dachfläche sind alle Materialien stark aufeinander abgestimmt, um einheitlich zu erscheinen. | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
|  |                    | x          |                    |
| <b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br>Die Einbettung der Halle design.s bewegt sich im Bereich zwischen bewusster farblicher und materieller Kontrastierung und angepasster Formgestaltung.  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
|  |                    |            | x                  |
| <b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br>Das Gebäude zeigt eine Kombination von nicht explizit ornamentaler Wirkung und einer diskreten symbolischen Wirkung, abgestimmt auf die übrige Fassade und die Nutzung des Gebäudes.   | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
|  | x                  |            |                    |


| 4.4 Funktionen der BIPV-Anlage |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| Funktionen:                    | 2 (Stromproduktion, Witterungsschutz) |

| 4.5 Analyse der Systemtechnik |                                 |                      |                |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------|
| Ausrichtung                   | 10 °, Nord & 10 °, Süd          | Jahresertrag         | 70.000 kWh/a   |
| PV-Belegung                   | 1.200 m <sup>2</sup> / ca. 60 % | Spez. Jahresertrag   | 951,9 kWha/kWp |
| Nennleistung                  | 73,54 kWp                       | Solarer Deckungsgrad | > 100 %        |

## 5. SMA Solar Academy, Niestetal (DE), 2010


| 5.1 Übersicht Projektdaten   |  |                                 |                                     |               |                             |
|--|--|---------------------------------|-------------------------------------|---------------|-----------------------------|
|   | Abb. 128:<br>SMA Solar<br>Academy<br>(HHS) | Name                            | SMA Solar Academy                   |               |                             |
|  |  | Standort                        | Niestetal (DE)                      |               |                             |
|  |  | Fertigstellung                  | 2010                                |               |                             |
|  |  | Gebäudenutzung                  | Schulungsgebäude                    |               |                             |
|  |  | Architektur                     | HHS Planer + Architekten AG, Kassel |               |                             |
|  |  | Modulart                        | Monokristalline Sondermodule        |               |                             |
|  |  | Anwendungsbereich               | Fassade und Dach                    |               |                             |
| 5.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters   |  |                                 |                                     |               |                             |
| Trotz der „Großflächigkeit“ der Integration wird im Zusammenhang mit dem Gesamtgebäudekörper, den die PV-Fassade umhüllt, auch auf deren „fließende Übergänge“ und „Leichtigkeit“ verwiesen. Die integrierte PV-Anlage wird als „weithin sichtbares Gestaltungselement“ charakterisiert, das „sofort ins Auge sticht“. |  |                                 | dezent-<br>unauffällig              | ausgewogen    | prägnant-<br>auffällig<br>x |
| 5.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien  |  |                                 |                                     |               |                             |
| <b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br>Ein strenges, orthogonales Raster, das die gesamte Fassade gliedert, vereinheitlicht Maße und Ordnungslinien von Gebäude und PV-Anlage. Die bündige Integration der solaraktiven Bereiche wahrt die Flächenintegrität des Gebäudes.                             |  |                                 | dezent-<br>unauffällig              | ausgewogen    | prägnant-<br>auffällig<br>x |
| <b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br>Aspekte der Maßstäblichkeit des Generators werden auch auf der Ebene der Modul- und Zellgrößen thematisiert.  |  |                                 | dezent-<br>unauffällig              | ausgewogen    | prägnant-<br>auffällig<br>x |
| <b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br>Der Farbklang zeigt insgesamt eine monochrome bis analoge Farbtönenkombination mit bewusst gesetzten Helligkeitskontrasten.  |  |                                 | dezent-<br>unauffällig              | ausgewogen    | prägnant-<br>auffällig<br>x |
| <b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br>An dem hauptsächlich opaken Gebäude sticht der Fassadenteil der PV-Anlage vor allem durch seine Semitransparenz heraus. Im Übrigen wird bewusst mit der Ähnlichkeit und Glanzgraden und Texturen der Materialien gestaltet.   |  |                                 | dezent-<br>unauffällig              | ausgewogen    | prägnant-<br>auffällig<br>x |
| <b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br>Die BIPV weist zahlreiche farbliche und materielle Bezüge zu ihrer Umgebung auf, über welche sie sich an diese anpasst. Die starke Formprägung führt aber insgesamt zu einer bewusste Solitärwirkung.  |  |                                 | dezent-<br>unauffällig              | ausgewogen    | prägnant-<br>auffällig<br>x |
| <b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br>Die Musterwirkung der Anlage in der Südfassade, ihre starke symbolische Wirkung und die Erlebbarkeit des Energiekonzeptes verleihen der BIPV bewusst eine dem Gebäude und der Nutzung entsprechende starke Zeichenwirkung.   |  |                                 | dezent-<br>unauffällig              | ausgewogen    | prägnant-<br>auffällig<br>x |
| 5.4 Funktionen der BIPV-Anlage   |  |                                 |                                     |               |                             |
| Funktionen: 8 (Stromproduktion, Witterungsschutz, thermischer Schutz, Schallschutz, Sonnenschutz/Tageslichtregulierung, Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz, Repräsentation einer CI, Atmosphärische Effekte)   |  |                                 |                                     |               |                             |
| 5.5 Analyse der Systemtechnik  |  |                                 |                                     |               |                             |
|  | Ausrichtung                                | 78 ° & 5 °, SO/SW               | Jahresertrag                        | 8.500 kWh/a   |                             |
|  | PV-Belegung                                | 1.360 m <sup>2</sup> / ca. 31 % | Spez. Jahresertrag                  | 94,0 kWha/kWp |                             |
|  | Nennleistung                               | 90,4 kWp                        | Solarer Deckungsgrad                | 100 %         |                             |

## 6. Umweltarena Spreitenbach (CH), 2012

| 6.1 Übersicht Projektdaten  |                             |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|---|-----------------------------|--|----------------|--|--------------------|------------|--------------------|---|---|---|
|  <p>Abb. 129: Umweltarena Spreitenbach (R. Schmid Architekten/Michael Egloff)</p>  | Name                        | Umweltarena Spreitenbach                   |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   | Standort                    | Spreitenbach (CH)                          |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   | Fertigstellung              | 2012                                       |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   | Gebäudenutzung              | Ausstellungs- und Eventforum               |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   | Architektur                 | René Schmid Architekten AG, Zürich         |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   | Modulart                    | Monokristalline Standard- und Sondermodule |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   | Anwendungsbereich           | Dach                                       |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| 6.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters  |                             |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p>Die Beschreibungen der BIPV-Gestaltung der Umweltarena betonen überwiegend die formprägende Dominanz des Solardaches, das zu zahlreichen Assoziationen vom „Vogel“ bis hin zum „Tarnkappenbomber“ einlädt. Es wird als „markant“, „auffällig“ und „spektakulär“ beschrieben. Dass das Gebäude eine zukunftsweisende Botschaft „zur Schau trägt“, sogar „provozierend“ wirkt, zeigt den auffälligen Charakter der Gestaltung.</p> |                             |  |                | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   | x |   |
| dezent-unauffällig  | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                         |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   | x                           |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| 6.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien   |                             |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br/>Der hohe Grad an maßlicher und flächenanteilsbezogener Abstimmung ist insbesondere auf den hohen Anteil von Modulen in Sonderformaten zurückzuführen, die sorgfältige Ausgestaltung der Flächenintegrität und das starke Motiv der Formprägung.</p>  |                             |  |                | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   |   | x |
| dezent-unauffällig  | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                         |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   |                             | x  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br/>Die Großmaßstäblichkeit des Generators in Bezug auf die übrigen Teile der Gebäudehülle und auch im Vergleich mit menschlichen und bauüblichen Maßstäben ist fein abgestimmt mit der Kleimaßstäblichkeit seiner Module und Zellen.</p>  |                             |  |                | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   |   | x |
| dezent-unauffällig  | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                         |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   |                             | x  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br/>Die Farbzusammenstellung aller PV-Teile und der übrigen Teile am Gebäude liegt im Bereich monochromer Farbtöne, ähnlicher Farbhelligkeiten und identischer Sättigungen.</p>   |                             |  |                | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig | x |   |   |
| dezent-unauffällig  | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                         |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| x   |                             |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br/>Ähnlich wie hinsichtlich der farblichen Koordination ist die BIPV bezogen auf ihre materielle Einfügung ebenfalls überwiegend einheitlich auf die übrige Gebäudehülle abgestimmt.</p>  |                             |  |                | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   | x |   |
| dezent-unauffällig  | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                         |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   | x                           |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br/>Obwohl vereinzelt farbliche und materielle Ähnlichkeiten zur Umgebung bestehen, ist das PV-Dach formal bewusst objekthaft gesetzt.</p>  |                             |  |                | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   |   | x |
| dezent-unauffällig  | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                         |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   |                             | x  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br/>Die Anlage hat sowohl syntaktisch als auch semantisch eine angemessen auf das übrige Gebäude abgestimmte Wirkung.</p>   |                             |  |                | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   |   | x |
| dezent-unauffällig  | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                         |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
|   |                             | x  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| 6.4 Funktionen der BIPV-Anlage  |                             |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Funktionen: 4 (Stromproduktion, Witterungsschutz, Schallschutz, Repräsentation einer CI)  |                             |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| 6.5 Analyse der Systemtechnik   |                             |  |                |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Ausrichtung   | 6 - 60°, alle Richtung.     | Jahresertrag                               | 540.000 kWh/a  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| PV-Belegung   | 5.300 m <sup>2</sup> / 80 % | Spez. Jahresertrag                         | 733,1 kWha/kWp |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Nennleistung  | 736,62 kWp                  | Solarer Deckungsgrad                       | 203 %          |  |                    |            |                    |   |   |   |



## 7. SwissTech Convention Center, Lausanne (CH), 2012

| 7.1 Übersicht Projektdaten   |                              |  |                |                    |
|--|------------------------------|--|----------------|--------------------|
|  <p>Abb. 130: SwissTech Convention Center (STCC/Adrien Barrant)</p>   | Name                         | SwissTech Convention Center                            |                |                    |
|  | Standort                     | Lausanne (CH)  |                |                    |
|  | Fertigstellung               | 2012   |                |                    |
|  | Gebäudenutzung               | Konferenzzentrum                                       |                |                    |
|  | Architektur                  | Richter Dahl Rocha & Associés Architectes SA, Lausanne |                |                    |
|  | Modulart                     | Grätzel Sondermodule                                   |                |                    |
|  | Anwendungsbereich            | Fassade, additiv                                       |                |                    |
| 7.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters   |                              |  |                |                    |
| <p>Die BIPV wird als „farbig schimmernd“, „geschosshoch“, aber auch „leicht“ und „filigran“ beschrieben. Zudem wird herausgestellt, dass die Anlage von Anfang an als Kunst am Bau und im Kontrast zum Gebäude entworfen wurde, um diesem Farbe und atmosphärische Effekte zu verleihen.</p> |                              | dezent-unauffällig                                     | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|  |                              |  | x              |                    |
| 7.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien  |                              |  |                |                    |
| <p><b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br/>Zwischen schwerem Metaldach und leichter Glasfassade entsteht ein spannungsvoller Kontrast, den die PV um einen weiteren Akzent ergänzt. Zwischen der BIPV und der Gebäudehülle bestehen zahlreiche geometrische Bezüge.</p>      |                              | dezent-unauffällig                                     | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|  |                              |  | x              |                    |
| <p><b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br/>In ihrer Maßstäblichkeit ist die PV-Anlage deutlich auf die übrige Gebäudehülle abgestimmt.</p>   |                              | dezent-unauffällig                                     | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|  |                              |  | x              |                    |
| <p><b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br/>Nach dem Konzept der Künstler Catherine Bolle und Daniel Schlaepfer ist die PV in Rot-Gelb-Grün bewusst in farbllichem Kontrast gestaltet, um gegenüber den in Grau-Beige gehaltenen Bauteilen am Gebäude deutlich zur Geltung zu kommen.</p>    |                              | dezent-unauffällig                                     | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|  |                              |  |                | x                  |
| <p><b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br/>Die Materialien sind sorgsam aufeinander abgestimmt. Dies zeigt sich insbesondere in der Ähnlichkeit der Modulrahmen mit der übrigen Gebäudehülle in Bezug auf die Materialien.</p>   |                              | dezent-unauffällig                                     | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|  |                              | x  |                |                    |
| <p><b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br/>Übergreifende Farb- und Materialbezüge verbinden Kongresszentrum und Studentenwohnheim zu einem Ensemble. Auch die BIPV ist ein Teil dieses Konzepts und zeigt zahlreiche Bezüge zur Umgebung.</p>   |                              | dezent-unauffällig                                     | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|  |                              |  | x              |                    |
| <p><b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br/>In ihrer deutlich wahrnehmbaren ornamentalen und symbolischen Wirkung steht die BIPV im Kontrast zur übrigen Gebäudehülle.</p>   |                              | dezent-unauffällig                                     | ausgewogen     | prägnant-auffällig |
|  |                              |  |                | x                  |
| 7.4 Funktionen der BIPV-Anlage   |                              |  |                |                    |
| Funktionen: 6 (Stromproduktion, Witterungsschutz, Sonnenschutz/Tageslichtregulierung, Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz, Repräsentation einer CI, Atmosphärische Effekte)   |                              |  |                |                    |
| 7.5 Analyse der Systemtechnik  |                              |  |                |                    |
| Ausrichtung  | 90 °, Südwest                | Jahresertrag   | 2.000 kWh/a    |                    |
| PV-Belegung  | 300 m <sup>2</sup> / ca. 3 % | Spez. Jahresertrag                                     | 666,7 kWha/kWp |                    |
| Nennleistung   | 3 kWp                        | Solarer Deckungsgrad                                   | k. A.          |                    |

## 8. Wohnhaus Glattfelden (CH), 2013

### 8.1 Übersicht Projektdaten



Abb. 131: Wohnhaus Glattfelden  
(Mirlo Urbano Architekten)

|                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| Name              | Wohnhaus Glattfelden             |
| Standort          | Glattfelden (CH)                 |
| Fertigstellung    | 2013                             |
| Gebäudenutzung    | Wohngebäude                      |
| Architektur       | Mirlo Urbano Architekten, Zürich |
| Modulart          | Monokristalline Standardmodule   |
| Anwendungsbereich | Dach                             |

### 8.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

Die Integration der PV wird als „elegant“ und „ästhetisch schön“ beschrieben. Dabei werden besonders die Einheitlichkeit der Dachfläche und die Abgestimmtheit von PV, Thermie und Dachfenstern betont sowie der Bezug der Dachform zu umgebenden Bauweisen. Lediglich die optisch deutlich hervortretende Umrandung der Dachfläche fällt teilweise als störend auf. In Bezug auf die Gestaltprägung des Gebäudes erscheint die BIPV insgesamt ausgewogen.

| dezent-<br>unauffällig | ausgewogen | prägnant-<br>auffällig |
|------------------------|------------|------------------------|
|                        | x          |                        |

### 8.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

|  | dezent-<br>unauffällig | ausgewogen | prägnant-<br>auffällig |
|--|------------------------|------------|------------------------|
| <b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br>Durch die Verwendung von Thermie- und Dachfenster-Elementen gleicher Abmessungen sind Maß- und Mengenverhältnisse sorgfältig aufeinander abgestimmt.                                    |                        | x          |                        |
| <b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br>In ihrer Maßstäblichkeit ist die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle sowie auf menschliche und bauübliche Maßstäbe abgestimmt.  |                        | x          |                        |
| <b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br>In ihrer Farbgebung ist die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle abgestimmt, ausgenommen die farblich bezuglose Gestaltung der Dachumrandung.                       |                        |            | x                      |
| <b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br>In der materiellen Komposition hebt sich der Generator in seinen Eigenschaften deutlich von der Holzfassade ab. Glatte, leicht glänzende Glasoberflächen stehen matten Holzoberflächen gegenüber. |                        |            | x                      |
| <b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br>Bezüge zur Umgebung wurden insbesondere farblich und im Hinblick auf die Dachform gestaltet.   |                        | x          |                        |
| <b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br>In ihrer insgesamt zurückhaltenden Zeichenwirkung ist die BIPV schlüssig auf die übrige Hülle des Gebäudes und auf dessen Nutzung als privates Wohnhaus abgestimmt.                                  |                        | x          |                        |


### 8.4 Funktionen der BIPV-Anlage

Funktionen: 2 (Stromproduktion, Witterungsschutz)


### 8.5 Systemtechnik

|              |                             |                      |                  |
|--------------|-----------------------------|----------------------|------------------|
| Ausrichtung  | 45 ° & 30 °, Südost         | Jahresertrag         | 8.000 kWh/a      |
| PV-Belegung  | 40 m <sup>2</sup> / ca. 7 % | Spez. Jahresertrag   | 1.054,0 kWha/kWp |
| Nennleistung | 7,59 kWp                    | Solarer Deckungsgrad | > 100 %          |


## 9. Aktiv-Stadthaus, Frankfurt a. M. (DE), 2015

| 9.1 Übersicht Projektdaten   |                   |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|--|-------------------|--|----------------------|--|--------------------|------------|--------------------|--|---|---|
|   | Name              | Aktiv-Stadthaus                            |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Standort          | Frankfurt a. M. (DE)                       |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Fertigstellung    | 2015                                       |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Gebäudenutzung    | Wohn- und Geschäftsgebäude                 |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Architektur       | HHS Planer + Architekten AG, Kassel        |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Modulart          | Monokristalline Standard- und Sondermodule |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Anwendungsbereich | Dach und Fassade                           |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| Abb. 132: Aktiv-Stadthaus (HHS)  |                   |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| 9.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters   |                   |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p>Das Gebäude wird durchaus als „ungewöhnlich“ und „ganz schöner Brocken“, aber auch als „ästhetisch“ bezeichnet. Die Solarfassade selbst wird als „moderat rhythmisiert“, „sanft gefaltet“, „unaufdringlich“, „geschmeidig“ und „eleganter“ beschrieben. Teilweise wird der fehlende Bezug zur unmittelbaren Umgebung kritisiert. In Bezug auf die Gestaltprägung des Gebäudes erweist sich die BIPV bestimmend für den Gesamtcharakter und dennoch auf Gebäude und Umgebung abgestimmt.</p> |                   |  |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                         |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | x                 |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| 9.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien  |                   |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br/>         Maß- und Mengenverhältnisse der BIPV am Aktiv-Stadthaus wurden sehr sorgfältig und in einem aufwändigen Planungsprozess aufeinander abgestimmt.</p>  |                   |  |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                         |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | x                 |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br/>         Hinsichtlich der Maßstäblichkeit sind die Anlagen den übrigen Teilen der Gebäudehülle entsprechend den Verwendungsbereichen in Dach und Fassade angeglichen.</p>   |                   |  |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                         |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | x                 |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br/>         Das gesamte Gebäude ist bewusst mithilfe von Farben gegliedert. Die BIPV ordnet sich dabei spezifischen Flächen zu.</p>   |                   |  |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                         |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | x                 |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br/>         Innerhalb klar zugeordneter Flächen besteht die Materialkomposition zwischen PV und übrigen Materialien aus überwiegend opaken und glatten Materialien. Bezüglich der Glanzgrade hebt sich insbesondere die Anlage in der Fassade leicht von der Umgebung ab.</p>  |                   |  |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                         |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  |                   | x  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br/>         Insgesamt hebt sich das BIPV-bestückte Gebäude von seiner Umgebung ab. Trotz angepasster Farbgebung führen vor allem Materialität und formale Gestaltung zu einer deutlich auffallenden Form.</p>   |                   |  |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                         |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  |                   | x  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| <p><b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br/>         In ihrer Zeichenwirkung ist die BIPV kontrastreich auf die übrige Gebäudehülle und die Nutzung des Gebäudes abgestimmt.</p>   |                   |  |                      | <table border="1"> <thead> <tr> <th>dezent-unauffällig</th> <th>ausgewogen</th> <th>prägnant-auffällig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </tbody> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |  |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen        | prägnant-auffällig                         |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  |                   | x  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| 9.4 Funktionen der BIPV-Anlage   |                   |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| Funktionen: 3 (Stromproduktion, Witterungsschutz, Schallschutz)  |                   |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
| 9.5 Analyse der Systemtechnik  |                   |  |                      |  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Ausrichtung       | 10 °, Süd; 90 °, Süd                       | Jahresertrag         | 292.000 kWh/a  |                    |            |                    |  |   |   |
|  | PV-Belegung       | ca. 2.400 m <sup>2</sup> / 21 %            | Spez. Jahresertrag   | 800 kWha/kWp   |                    |            |                    |  |   |   |
|  | Nennleistung      | 365 kWp                                    | Solarer Deckungsgrad | 106 %  |                    |            |                    |  |   |   |


### 10. Copenhagen International School, Nordhavn (DK), 2017

|  |                             |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|--|-----------------------------|------------------------------------|--|--|--------------------|------------|--------------------|---|---|---|
| <b>10.1 Übersicht Projektdaten</b>   |                             |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  <p>Abb. 133: Copenhagen International School (DBZ/Adam Mørk)</p>   | Name                        | Copenhagen International School    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Standort                    | Nordhavn (DK)                      |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Fertigstellung              | 2017                               |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Gebäudenutzung              | Schulgebäude                       |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Architektur                 | C. F. Møller Architects, København |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Modulart                    | Monokristalline Sondermodule       |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Anwendungsbereich           | Fassade                            |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <b>10.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters</b>   |                             |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p>Die Beschreibungen des Gebäudes unterstreichen den „lebhaften“, „einzigartigen“, „verspielten“ und „leuchtenden“ Charakter der Fassade, die in zahlreichen, changierenden Farben „schimmert“ und Assoziationen von „Fischschuppen“ über „Wasser“ bis hin zu „Pailletten“ weckt. Gleichzeitig erscheint die eigentliche BIPV-Integration „in den Hintergrund gerückt“, „verdeckt“ und „fast unsichtbar“. Insgesamt sendet die auffällige Fassade „ein starkes Signal“, „weckt Aufmerksamkeit“ und „regt Neugierde an“. Dass es sich um eine BIPV-Integration handelt, lässt sich allerdings erst aus allernächster Nähe erahnen.</p> |                             |                                    | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> |  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig | x |   |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                 |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| x  |                             |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <b>10.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien</b>  |                             |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br/>Die Maß- und Mengenverhältnisse zwischen Generatorflächen und Modulen auf der einen und den Flächen und übrigen Elementen der Gebäudehülle auf der anderen Seite sind exakt aufeinander abgestimmt.</p>   |                             |                                    | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </table> |  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                 |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | x                           |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br/>Die BIPV ist im Verhältnis zu den anderen Bestandteilen der Gebäudehülle ähnlich bis etwas kleinmaßstäblicher gestaltet.</p>  |                             |                                    | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </table> |  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                 |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | x                           |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br/>Das gesamte Gebäude ist bewusst farblich kontrastreich gestaltet. Die BIPV ordnet sich dabei schlüssig spezifischen Flächen zu.</p>  |                             |                                    | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </table> |  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                 |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  |                             | x                                  |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br/>Bezüglich der materiellen Komposition hebt sich der Generator leicht von der übrigen Fassade ab. Glatte, leicht glänzende Glasoberflächen stehen matten Klinker- und Holzoberflächen gegenüber.</p>   |                             |                                    | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </table> |  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                 |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  |                             | x                                  |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br/>Die BIPV weist in ihrer Gestaltung viele farbliche, materielle und formale Ähnlichkeiten mit ihrer näheren Umgebung auf.</p>   |                             |                                    | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </table> |  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                 |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  |                             | x                                  |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br/>Sowohl in ihrer ornamentalen als auch in ihrer symbolischen Wirkung ist die BIPV auf die übrigen, diesbezüglich eher zurückhaltenden Elemente der Fassade und die Nutzung des Gebäudes abgestimmt.</p>   |                             |                                    | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </table> |  | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                  | prägnant-auffällig                 |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | x                           |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <b>10.4 Funktionen der BIPV-Anlage</b>   |                             |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Funktionen: 5 (Stromproduktion, Witterungsschutz, Schallschutz, Atmosphärische Effekte, Unterstützung aktiver Lüftungs-/Kühlungssysteme)   |                             |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <b>10.5 Analyse der Systemtechnik</b>  |                             |                                    |  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Ausrichtung  | 90 °, NO/SO/SW/NW           | Jahresertrag                       | > 200.000 kWh/a  |  |                    |            |                    |   |   |   |
| PV-Belegung  | 6.048 m <sup>2</sup> / 34 % | Spez. Jahresertrag                 | > 277,8 kWha/kWp   |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Nennleistung   | 720 kWp                     | Solarer Deckungsgrad               | > 50 % Strombed.   |  |                    |            |                    |   |   |   |


### 11. Wohnhaus Schneller Bader, Tamins (CH), 2016

|   |                               |                                     |                    |            |                    |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------|------------|--------------------|
| <b>11.1 Übersicht Projektdaten</b>  |                               |                                     |                    |            |                    |
|  <p>Abb. 134: Wohnhaus Schneller Bader (SeV 2017, S. 6)</p>  | Name                          | Wohnhaus Schneller Bader            |                    |            |                    |
|   | Standort                      | Tamins (CH)                         |                    |            |                    |
|   | Fertigstellung                | 2016                                |                    |            |                    |
|   | Gebäudenutzung                | Wohngebäude                         |                    |            |                    |
|   | Architektur                   | Bearth & Deplazes Architekten, Chur |                    |            |                    |
|   | Modulart                      | Monokristalline Standardmodule      |                    |            |                    |
|   | Anwendungsbereich             | Dach                                |                    |            |                    |
|   |                               |                                     |                    |            |                    |
| <b>11.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters</b>  |                               |                                     |                    |            |                    |
| <p>Die verschiedenen Beschreibungen heben insbesondere die „Einfachheit“, „Klarheit“, „Schlichtheit“ und „Ablesbarkeit“ der BIPV-Integration hervor. Das von den Architekten selbst in Schiffs-Analogien beschriebene Konzept erscheint als „leicht und ästhetisch“. Auch das harmonische Zusammenwirken mit den übrigen Materialien der Gebäudehülle und das „schlüssige Einfügen in den Kontext“ werden betont. Insgesamt fügt sich die BIPV gleichberechtigt und ausgewogen ein.</p> |                               |                                     | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
|   |                               |                                     |                    | x          |                    |
| <b>11.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien</b>   |                               |                                     |                    |            |                    |
|   |                               |                                     | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |
| <b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b>   |                               |                                     |                    |            |                    |
| Maß- und Mengenverhältnisse zwischen BIPV und den übrigen Elementen der Gebäudehülle sind sorgfältig aufeinander abgestimmt.  |                               |                                     |                    | x          |                    |
| <b>K2 - Maßstäblichkeit</b>   |                               |                                     |                    |            |                    |
| In ihrer Maßstäblichkeit ist die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle sowie auf menschliche und bauübliche Maßstäbe abgestimmt.  |                               |                                     |                    |            | x                  |
| <b>K3 - Korrespondierende Farben</b>  |                               |                                     |                    |            |                    |
| Bezüglich ihrer Farbgebung erscheint die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle abgestimmt.  |                               |                                     |                    | x          |                    |
| <b>K4 - Korrespondierende Materialien</b>   |                               |                                     |                    |            |                    |
| Materialbezogen entsprechen sich insbesondere das Blechdach, die Holz- und die Betonfassade, während sich Glas- und PV-Flächen mit ihren Eigenschaften leicht kontrastierend ergänzen.  |                               |                                     |                    |            | x                  |
| <b>K5 - Bezug zur Umgebung</b>  |                               |                                     |                    |            |                    |
| Bezüge zur Umgebung wurden insbesondere durch die angepasste Dachform und die materielle Ähnlichkeit gestaltet; farblich hebt sich die BIPV leicht ab.  |                               |                                     |                    | x          |                    |
| <b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b>  |                               |                                     |                    |            |                    |
| In ihrer insgesamt zurückhaltenden Zeichenwirkung ist die BIPV auf die übrige Gebäudehülle und auf die Nutzung als privates Wohnhaus abgestimmt.  |                               |                                     |                    | x          |                    |
| <b>11.4 Funktionen der BIPV-Anlage</b>  |                               |                                     |                    |            |                    |
| Funktionen: 2 (Stromproduktion, Witterungsschutz)   |                               |                                     |                    |            |                    |
| <b>11.5 Analyse der Systemtechnik</b>   |                               |                                     |                    |            |                    |
| Ausrichtung   | 45 °, Süd                     | Jahresertrag                        | 22.800 kWh/a       |            |                    |
| PV-Belegung   | ca. 108 m <sup>2</sup> / 22 % | Spez. Jahresertrag                  | 1.317,9 kWha/kWp   |            |                    |
| Nennleistung  | 17,3 kWp                      | Solarer Deckungsgrad                | 144 %              |            |                    |

## 12. Grosspeter Tower, Basel (CH), 2017

| 12.1 Übersicht Projektdaten  |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|--|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|--|--------------------|------------|--------------------|---|---|---|
|  <p>Abb. 135:<br/>Grosspeter Tower (Detail/Biondo)</p>  | Name                            | Grosspeter Tower               |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Standort                        | Basel (CH)                     |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Fertigstellung                  | 2017                           |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Gebäudenutzung                  | Bürogebäude und Hotel          |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Architektur                     | Burckhardt + Partner AG, Basel |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Modulart                        | Dünnschicht Sondermodule       |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | Anwendungsbereich               | Fassade (zzgl. Dach)           |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| 12.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters  |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p>Die BIPV-Integration wird als „klar“ und „elegant“ beschrieben, sodass sie „höchsten ästhetischen Ansprüchen genügt“. Dabei wird insbesondere die „sorgfältige“ und „ebenmäßige“ Ausführung hervorgehoben, die die Anlage „homogen“ wirken lässt und „als Design- und Architektur-Element uminterpretiert“, das kaum erahnen lässt, dass es sich um PV handelt.</p> |                                 |                                |                 | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig | x |   |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                      | prägnant-auffällig             |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| x  |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| 12.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien   |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b><br/>Insbesondere die Verfügbarkeit von Sonderformaten hat den hohen Grad der Qualität in Bezug auf maßliche und mengenbezogene Abstimmung möglich gemacht.</p>  |                                 |                                |                 | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig | x |   |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                      | prägnant-auffällig             |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| x  |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K2 - Maßstäblichkeit</b><br/>Auch in Bezug auf die Möglichkeiten maßstäblicher Abstimmung ist die Verfügbarkeit von Sonderformaten Haupteinflussgröße für den hohen Grad der Abstimmung der BIPV.</p>  |                                 |                                |                 | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   | x |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                      | prägnant-auffällig             |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  | x                               |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K3 - Korrespondierende Farben</b><br/>Die Möglichkeiten der Dünnschichttechnologie wurden bewusst genutzt, um die gesamte Farbkomposition monochrom anthrazit bis schwarz zu halten. Die BIPV bleibt so fast vollständig unsichtbar.</p>   |                                 |                                |                 | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig | x |   |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                      | prägnant-auffällig             |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| x  |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K4 - Korrespondierende Materialien</b><br/>Bezüglich ihrer Materialität harmoniert die BIPV einheitlich mit den Glas- und Metall-Elementen der übrigen Gebäudeoberfläche.</p>  |                                 |                                |                 | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig | x |   |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                      | prägnant-auffällig             |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| x  |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K5 - Bezug zur Umgebung</b><br/>Bezüge der BIPV zu den Gebäuden der näheren und weiteren Umgebung entstehen durch materiell und formal ähnliche sowie farblich leicht kontrastierende Gestaltung.</p>  |                                 |                                |                 | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>x</td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig |   |   | x |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                      | prägnant-auffällig             |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
|  |                                 | x                              |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| <p><b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b><br/>Auch bezüglich ihrer Zeichenwirkung ist die BIPV-Integration auf das Konzept der nahezu vollständigen Unsichtbarkeit abgestimmt und hat entsprechend der übrigen Gebäudehülle nur eine leichte symbolische Wirkung.</p>  |                                 |                                |                 | <table border="1"> <tr> <td>dezent-unauffällig</td> <td>ausgewogen</td> <td>prägnant-auffällig</td> </tr> <tr> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | dezent-unauffällig | ausgewogen | prägnant-auffällig | x |   |   |
| dezent-unauffällig   | ausgewogen                      | prägnant-auffällig             |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| x  |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| 12.4 Funktionen der BIPV-Anlage  |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Funktionen: 4 (Stromproduktion, Witterungsschutz, Schallschutz, Unterstützung aktiver Lüftungs-/Kühlungssysteme)   |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| 12.5 Analyse der Systemtechnik   |                                 |                                |                 |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Ausrichtung  | 90 ° & ca. 10 °, N/O/S/W        | Jahresertrag                   | 252.000 kWh/a   |  |                    |            |                    |   |   |   |
| PV-Belegung  | 5.570 m <sup>2</sup> / ca. 43 % | Spez. Jahresertrag             | 466,67 kWha/kWp |  |                    |            |                    |   |   |   |
| Nennleistung   | 540 kWp                         | Solarer Deckungsgrad           | 28 %            |  |                    |            |                    |   |   |   |

### 13. Kath. Propsteikirche St. Trinitatis, Leipzig (DE), 2015

|  |                                 |  |                  |                    |
|--|---------------------------------|--|------------------|--------------------|
| <b>13.1 Übersicht Projektdaten</b>   |                                 |  |                  |                    |
|  <p>Abb. 136: Kath. Propsteikirche St. Trinitatis (SeV 2017, S. 10)</p>   | Name                            | Kath. Propsteikirche St. Trinitatis    |                  |                    |
|  | Standort                        | Leipzig (DE)                           |                  |                    |
|  | Fertigstellung                  | 2015                                   |                  |                    |
|  | Gebäudenutzung                  | Kirche                                 |                  |                    |
|  | Architektur                     | Schulz und Schulz Architekten, Leipzig |                  |                    |
|  | Modulart                        | Dünnschicht Standardmodule             |                  |                    |
|  | Anwendungsbereich               | Fassade (zzgl. Dach)                   |                  |                    |
| <b>13.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters</b>   |                                 |  |                  |                    |
| <p>Neben der allgemeinen Würdigung als „ästhetische“ „ressourcensparende Architektur“ wird mit Bezug auf die BIPV vor allem deren „präzise“ und „flächenbündige“ Gestaltung betont, die „wohlproportioniert gliedert“, einen „wirkungsvollen Kontrast“ in der Fassade bildet und damit auch ein bewusstes Zeichen setzt. Insgesamt erscheint die Integration hinsichtlich ihres Gestaltprägnanzgrads ausgewogen.</p> |                                 | dezent-unauffällig                     | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
|  |                                 |  | x                |                    |
| <b>13.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien</b>  |                                 |  |                  |                    |
| <b>K1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b>  |                                 | dezent-unauffällig                     | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
| <p>Maßliche und mengenbezogene Beziehungen wurden auf vielen Ebenen sorgfältig gestaltet. Als hilfreich erwiesen sich dabei die skulpturale Gesamtform des Gebäudes und die Stellung der BIPV als Kunst am Bau.</p>  |                                 |  | x                |                    |
| <b>K2 - Maßstäblichkeit</b>  |                                 | dezent-unauffällig                     | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
| <p>Insgesamt sorgfältig abgestimmt auf verschiedenen Ebenen. Die Großmaßstäblichkeit des gesamten Gebäudes ermöglicht, nicht auf Sondermaße angewiesen zu sein.</p>  |                                 |  | x                |                    |
| <b>K3 - Korrespondierende Farben</b>   |                                 | dezent-unauffällig                     | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
| <p>Die Farbkomposition ist bewusst kontrastreich. Die größere, zusammenhängende Fläche und der erhöhte Betrachtungsabstand begünstigen die homogene Erscheinung der BIPV.</p>  |                                 |  |                  | x                  |
| <b>K4 - Korrespondierende Materialien</b>  |                                 | dezent-unauffällig                     | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
| <p>Intendiert wurde ein materieller Kontrast zwischen den glatten Glas-Modulen und den rauen Steinoberflächen der übrigen Fassade.</p>   |                                 |  |                  | x                  |
| <b>K5 - Bezug zur Umgebung</b>   |                                 | dezent-unauffällig                     | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
| <p>Die Einfügung der BIPV in die Umgebung wurde, wie auch die übrige Gebäudehülle, überwiegend kontrastreich gestaltet.</p>  |                                 |  |                  | x                  |
| <b>K6 - Abgestimmte Zeichenwirkung</b>   |                                 | dezent-unauffällig                     | ausgewogen       | prägnant-auffällig |
| <p>Von der BIPV geht keine explizit ornamentale Wirkung aus; ihre Position und Größe senden aber passend zum übrigen Gebäude und zu dessen Nutzung eine deutliche Symbolwirkung aus.</p>   |                                 |  | x                |                    |
| <b>13.4 Funktionen der BIPV-Anlage</b>   |                                 |  |                  |                    |
| Funktionen: 4 (Stromproduktion, Witterungsschutz, Schallschutz, Repräsentation einer CI)   |                                 |  |                  |                    |
| <b>13.5 Analyse der Systemtechnik</b>  |                                 |  |                  |                    |
| Ausrichtung  | 90 ° und 3 °, Süd               | Jahresertrag                           | ca. 63.500 kWh/a |                    |
| PV-Belegung  | ca. 544 m <sup>2</sup> / 10,8 % | Spez. Jahresertrag                     | 912,36 kWha/kWp  |                    |
| Nennleistung   | 69,6 kWp                        | Solarer Deckungsgrad                   | 40 %             |                    |

## 5.6 Zusammenfassung

Die Durchführung der Studie erwies sich trotz der hohen Anzahl der Projekte und der teilweise weiten Entfernungen als überwiegend unproblematisch. Zu allen Gebäuden waren zahlreiche Daten vorab frei verfügbar; zudem war es in jedem Fall vor Ort möglich, sie aus nächster Nähe zu besichtigen, zu fotografieren und zu dokumentieren. Viele waren auch von innen begehbar oder es wurden dort zusätzlich Informationstafeln, -material oder Führungen zum Thema BIPV angeboten (so z. B. an der SMA Solar Academy, der Umweltarena Spreitenbach, am SwissTech Convention Center und der Copenhagen International School). Restriktionen, die sich aus Reise- und Kontaktbeschränkungen durch die COVID-19-Pandemie ab 2020 ergaben, konnte mit Umplanung und alternativen Kontaktmöglichkeiten und Informationsquellen begegnet werden. Als weniger ergiebig erwiesen sich zusätzliche Anfragen an Planungsbeteiligte aus den Bereichen Architektur und PV-Planung bzw. -Herstellung. Nur wenige der Angesprochenen haben geantwortet, einzelne allerdings sehr umfassend und aufschlussreich (so z. B. zu Solar XXI und Copenhagen International School).

Die Ergebnisse der Studie sind in allen relevanten Bereichen aussagekräftig. Allgemeine Projektdaten waren leicht verfügbar und nur vereinzelt leicht abweichend. In diesen Fällen wurden in der Langversion der Studie mehrfach genannte Daten bzw. Fachliteratur bevorzugt oder auf Abweichungen hingewiesen. Insbesondere Kritiken zur Gestaltungsqualität der Projekte und ihrer BIPV-Integration waren für fast alle untersuchten Gebäude zahlreich vorhanden, da diese in der Fachwelt als (mehrfache) Wettbewerbsgewinner wahrgenommen und aufgegriffen wurden. Auch Auszüge aus Juryentscheidungen anderer Solarwettbewerbe erwiesen sich hier als ergiebig. Für die Untersuchung der Gestaltungskriterien war der Eindruck vor Ort essenziell. Teilweise waren aber auch Interviews oder andere für die Öffentlichkeit bestimmte Äußerungen zielführend, um individuelle Einflüsse und Abwägungen, die für die Planung und letztlich auch für die Gestaltung im Ergebnis bestimmend waren, in die Darstellung einbeziehen zu können. Dies betrifft auch den jeweiligen Umgang mit technischen und funktionalen Wechselwirkungen. Um die flächenmäßigen Anteile der BIPV-Anlagen am Gebäude nachzuvollziehen, war es nötig 3D-Modelle auf Basis der Plandateien digital zu rekonstruieren, da Daten zur Gesamtoberfläche der Projekte in der Regel nicht zur Verfügung standen. Für die ergänzende Darstellung der verwendeten Systemtechnik waren teilweise Einzeldaten nicht verfügbar, z. B. zum Gesamtenergiebedarf der Gebäude oder zu Details der Verschaltung und weiterer Systemkomponenten. In Einzelfällen konnten Moduldatenblätter nicht zur Verfügung gestellt werden, da es sich hierbei um interne Daten kundenspezifischer Produkte handelte. Einzelne Daten, z. B. zum solaren Deckungsgrad, konnten daher nicht erhoben werden. Dies hat aber keine übergeordnete Relevanz für die übrigen Schlussfolgerungen oder die Ergebnisse der Studie im Ganzen.

Die Zielsetzung der Projektstudie, die im Rahmen der analytischen Recherche ermittelten BIPV-Gestaltungskriterien anhand von allgemein als gelungen angesehenen Projektbeispielen zu untersuchen und zu verifizieren, konnte umgesetzt werden. Daten, Anschauungsmaterial und insbesondere die Untersuchungen vor Ort am Gebäude boten eine umfassende Grundlage zur Beurteilung der Zusammenhänge gestalterischer Abstimmung zwischen photovoltaischen Bauteilen und den übrigen Elementen der jeweiligen Gebäudehülle. An vielen



der Projektbeispiele war dabei ablesbar, dass Gestalter/innen und Planer/innen ähnlichen Herausforderungen in der Berücksichtigung der Kriterien sowie bezüglich der jeweiligen Umsetzung gegenüberstanden. Auch die spezifische Ausprägung der Gestaltung im Hinblick auf Gestaltungsziele zwischen ausgewogener Integration der PV und deren besonderer Unauffälligkeit bzw. Auffälligkeit konnten beschrieben und zugeordnet werden. Dies gilt auch für den Gestaltprägungsgrad der PV auf der Ebene einzelner Kriterien, für dessen Beschreibung sich eine Verfeinerung der Skala als hilfreich erwies.

## 6 Synthese

Im Rahmen der Synthese werden nun die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und verknüpft. Theoretische Erkenntnisse der analytischen Recherche (Kap. 3 und 4) und Ergebnisse der Projektstudie (Kap. 5) werden zusammengeführt, Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Hinblick auf die übergeordnete Problemstellung herausgearbeitet und Kernaussagen synthetisiert.

Dies erfolgt auf den Ebenen der einzelnen Gestaltungskriterien (Abs. 6.1), der unterschiedlichen Zielsetzungen der Projekte (Abs. 6.2) sowie der Wechselwirkungen mit funktionalen und technischen Anforderungen (Abs. 6.3). Außerdem werden weitere Faktoren berücksichtigt, die sich im Rahmen der Projektstudie als relevant herausgestellt haben für die Beantwortung der gestellten Forschungsfrage (Abs. 2.2.2).

Das Kapitel schließt mit Schlussfolgerungen aus grundsätzlichen Überlegungen der Arbeit, der abschließenden Beantwortung der zu Beginn der Arbeit gestellten Forschungsfragen sowie deren kritischer Diskussion bezgl. einer Verifizierung der aufgestellten Thesen und der Erreichung des Ziels des gesamten Vorhabens (Abs. 6.4).

### 6.1 BIPV-Gestaltungskriterien

Die Bewertung und Synthese der Ergebnisse der analytischen Recherche (Kap. 3 und 4) und der Untersuchung der „best practice“-Beispiele im Rahmen der Projektstudie (Kap. 5 und Anhang) erfolgt zunächst bzgl. der ermittelten Gestaltungskriterien.

#### Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse

Im Rahmen der analytischen Recherche zeigte sich, dass abgestimmte Maßverhältnisse bzgl. der Anordnung und Dimension zwischen den Teilen der PV-Anlage und den übrigen Teilen des Gebäudes, mit denen sie interagieren, dafür entscheidend sind, ob sich eine PV-Anlage optisch in ein Gebäude einfügt. Die Ähnlichkeit der Maßverhältnisse und die Ausgewogenheit der Mengenverhältnisse beeinflussen dabei, wie stark die BIPV die Erscheinung des Gebäudes prägt. Anhand der Beispiele der Projektstudie hat sich gezeigt, dass die untersuchten Projekte diesem Kriterium durchweg in hohem Maße gerecht werden. Im Hinblick auf Maß und Menge wurden bei sämtlichen Projekten zahlreiche Bezüge gestaltet, und zwar auf der Ebene des Generators, z. B. im Vergleich zu anderen Flächen, auf der Ebene der Module, z. B. zu anderen Elementen der Gebäudehülle, und teilweise auch auf Zellebene. Verschiedene Teilkriterien waren hierfür relevant.

Häufig wurden **proportionale Bezüge** oder auch übereinstimmende Ordnungslinien genutzt (z. B. bei Projekten wie der Solar Academy und dem Solar XXI, vgl. Abb. 137). Einzelne Gebäudehüllen unterliegen einem umfassenden orthogonalen Raster (Grosspeter Tower) bis hin zu vollständig modularisierten Entwürfen, wie z. B. an der Copenhagen School.

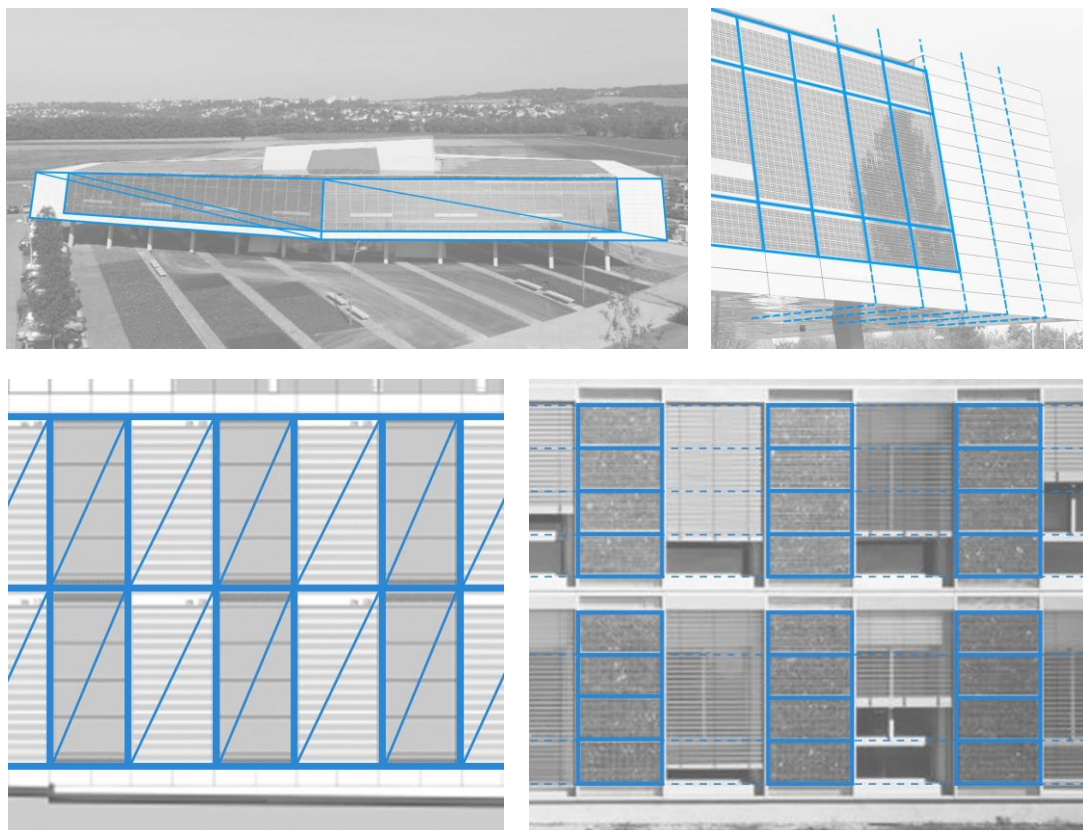


Abb. 137: Projekte mit zahlreichen Maßbezügen: die Solar Academy (oben) und das Solar XXI (unten)  
(eigene Darstellungen)

Auch die Wahrung der **Flächenintegrität** erwies sich als ein wichtiges Teilkriterium. Die BIPV erscheint optisch integriert, wenn sie ihr gewidmeten Flächen eindeutig zugeordnet ist. Dabei entscheidet die Eigenständigkeit der Flächenformulierung über den Grad der von der BIPV ausgehenden Gestaltprägung. Sie erscheint umso unauffälliger, je homogener die Flächengeometrie ausgefüllt ist, wenn also Kanten und Rastereffekte möglichst dezent gehalten sind und auf Flächenbündigkeit geachtet wird. Alle Projekte zeigen in Bezug auf diese Fragen einen sorgsamsten Umgang. Besonders gut erfüllt wird die Flächenintegrität in allen Aspekten z. B. am Marché International. Die Fläche ist vollständig und bündig belegt, ohne Durchdringungen und mit nur dezent sichtbaren Anschluss- und Befestigungsteilen. Eine eher eigenständig ausformulierte PV-Fläche hat das Haus Schneller Bader. Sie ist deutlich sichtbar und überkragend gestaltet.

Auch der Aspekt der gegenseitigen **Formprägung** wurde bei vielen Projektbeispielen sorgsam abgewogen. Es zeigten sich sowohl BIPV-Integrationen, bei denen das Gebäude in seiner Form oder Gestaltung auf die Ausrichtung oder Größe der Anlage abgestimmt ist (Marché International, Halle design.s, Solar Academy, Umweltarena) als auch Beispiele einer deutlichen Anpassung der PV-Anlage an das Gebäude bzw. die Gebäudehülle (Copenhagen School, Grosspeter Tower).

Bei der Betrachtung der **Abstimmung der Flächenanteile** der BIPV bilden die Projekte ein breites Spektrum ab mit Anteilen der PV an der gesamten Gebäudeoberfläche zwischen 3 und 80 % (vgl. Abb. 138).

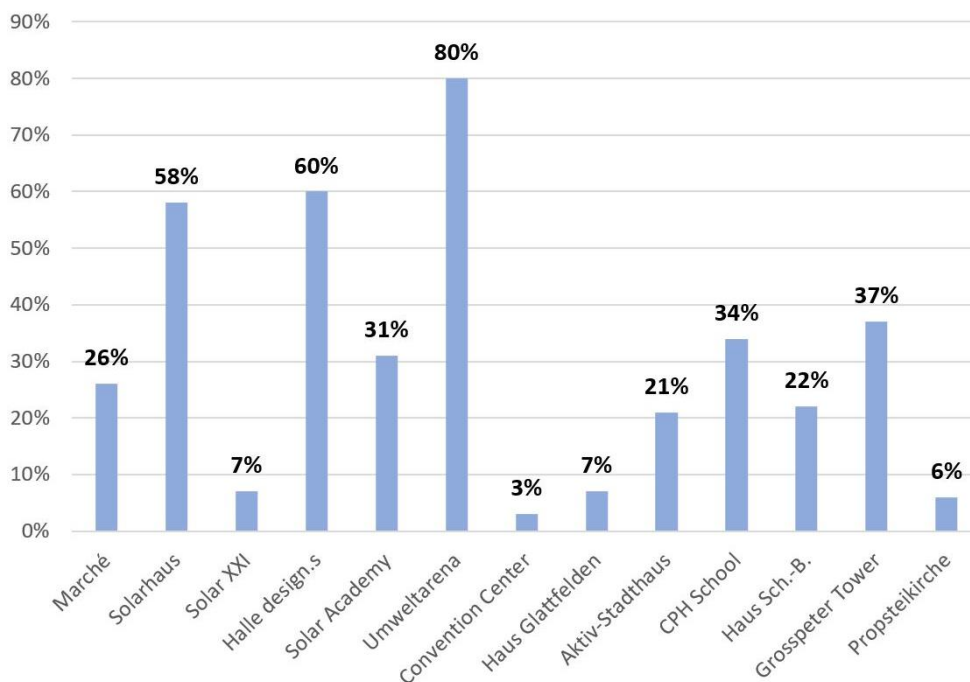


Abb. 138: Flächenanteile der BIPV an der gesamten Gebäudeoberfläche im Vergleich (eigene Darstellung)

Insgesamt weisen alle Projekte einen hohen Grad an maßlicher und mengenbezogener Abstimmung auf. Dabei zeigen einige zahlreiche Bezüge auf vielen Ebenen bis hin zu vollständiger Modularität, während andere hauptsächlich den Generator im Ganzen auf andere Flächen abstimmen. Das Teilkriterium der Flächenintegrität erscheint bei allen Projekten besonders wichtig; insbesondere gilt das für die sorgfältige Gestaltung der Flächen. Alle Projekte verraten hier beträchtlichen Planungsaufwand, wobei die Verfügbarkeit von Sonderformaten vor allem für Fassadenprojekte und für unregelmäßige Flächengeometrien wichtig war. Lediglich zwei der untersuchten Projekte arbeiten mit Standardmodulen im Fassadenbereich (Solar XXI und Propsteikirche). Die Projektuntersuchung stützt im Allgemeinen die Annahmen aus Kapitel 4. Bei den rechnerischen Flächenanteilen können keine Gesetzmäßigkeiten festgestellt werden; eventuell würde aber eine Fokussierung nur auf gut sichtbare Flächen diesen Aspekt schärfen. Insgesamt ist das Kriterium 1 grundsätzlich gut solarisierbar, vor allem bei großen Dachflächen. Als aufwändiger und in höherem Maße abhängig von der Verfügbarkeit von Sonderformaten stellen sich Fassaden-Integrationen dar.

### Kriterium 2 - Maßstäblichkeit

Maßstäblichkeit als wichtiges Kriterium für Qualität in der architektonischen Gestaltung spielt auch im Bereich der BIPV-Integration eine wichtige Rolle. Eine BIPV-Anlage erscheint am Gebäude optisch integriert, wenn sie als Ganze und in ihren Einzelteilen großformatig auf das Gebäude abgestimmt ist. Dabei entscheiden Entsprechung, Ähnlichkeit oder bewusste Unterschiede darüber, wie stark die BIPV die Erscheinung des Gebäudes prägt. Drei Teilkriterien haben sich als relevant erwiesen.

Durch den starken Fokus auf Flächenintegrität und abgestimmte Bauteilmaße ergeben sich viele Überschneidungen zu Anlagen, die auch auf **Größen des Gebäudes** abgestimmt sind.

Insbesondere der Generator entspricht oft in seiner Größe anderen Flächen am Gebäude (Marché International, Halle design.s, beide hier behandelten Wohnhäuser), während einzelne Module oft anderen Elementen der Fassade entsprechen (Solar XXI, Solarhaus, Solar Academy, Aktiv-Stadthaus). Teilweise werden bei der PV-Integration auch Bezüge zwischen Dach und Fassade hergestellt (Solar Academy, Haus Schneller Bader, Umweltarena).

Abwägungen bzgl. der Abstimmung auf **menschliche Maßstäbe** lassen sich hauptsächlich in der Binnengliederung von PV-Flächen ablesen. Dabei sind Dachflächen aufgrund ihrer geringen Sichtbarkeit weniger relevant. Diesbezügliche Überlegungen lassen sich z. B. am Solarhaus und an der Solar Academy zurückverfolgen. Bei Letzterer ermöglicht die PV-Anlage Durchblicke auf Sichthöhe. Die Berücksichtigung menschlicher Maßstäbe kam auch bei der Planung der Fassade der Copenhagen School zum Tragen, die kleinteilig auf die Maße von Kindern und Jugendlichen abgestimmt ist. Besonders großformatig sind hier Solar XXI und das Convention Center (vgl. Abb. 139).



Abb. 139: Auf menschliche Maßstäbe abgestimmte BIPV-Gestaltung: gezielt kleinteilig am Solarhaus (o. l.: Solardecathlon/TU Darmstadt) und an der Solar Academy (o. r.: Energiezukunft/Joschua Katz), aber auch großdimensioniert am Solar XXI (u. l.: Gasper Stegnar) und am Convention Center (u. r.: eigene Aufnahme)

Ein weiterer wichtiger Aspekt zeigte sich in der Abstimmung der Maße der BIPV **mit bauüblichen Maßen**. Bei Dachprojekten wurde bewusst auf kleinteilige Formate gesetzt. Durch die Entfernung zum Betrachter funktionieren dort nämlich vergleichsweise kleine Formate bereits gut (Marché International: 120 x 60 cm, Halle design.s: 130 x 110 cm, Umweltarena: 130 x 87,5 cm, Haus Glattfelden: 156 x 80 cm, Haus Schneller Bader: 130 x 88 cm). Maßstäblich besonders unauffällig angepasst an übliche Größen ist z. B. die Anlage des Grosspeter Tower in Basel. Die Bauteilgrößen der Solarmodule sind exakt auf die vertikalen Fensterelemente

und auf die horizontalen Elemente auf Höhe der Geschossdecken abgestimmt, und die gesamte Fassade erscheint maßstäblich wie eine übliche Bürofassade.

Insgesamt kommt der Maßstäblichkeit bei Fassaden-Integrationen deutlich höheres Gewicht zu. Auch hier spielt die Verfügbarkeit von Sonderformaten eine wichtige Rolle. Doch auch die Ablesbarkeit von Zellen wurde eingesetzt, um maßstäbliche Bezüge herzustellen. Große Formate bieten aber auch die Chance, bewusst auffallend zu gestalten. Entsprechend der BIPV-spezifischen Schwierigkeit bzgl. der Rahmung, die häufig einen großen Einfluss hat auf die maßstäbliche Wirkung bzw. Rasterwirkung (vgl. Abs. 4.3.2), vermeiden alle Beispiele einer unauffälligen oder ausgewogenen Einfügung Rahmungen bzw. versuchen im Gegensatz zu auffälligen Integrationen, die Rahmenwirkung deutlich zu reduzieren (vgl. Abb. 139, unten). Bauüblichen Rastern oder Normen entsprechende Bauteile werden gar nicht verwendet. Bzgl. der Umsetzbarkeit gestalterischer Qualität bezogen auf die Maßstäblichkeit einer PV-Integration erweisen sich diese insbesondere bei Dachintegrationen als einfacher mit im Vergleich maßstäblich größeren Bauteilen.

### Kriterium 3 - Korrespondierende Farben

Auch das dritte Kriterium gestalterischer Integration von BIPV hat sich im Rahmen der Projektstudie als relevant erwiesen. Der abgestimmte Farbklang zwischen den Teilen der PV-Anlage und den übrigen Teilen der Gebäudehülle ist ein wesentlicher Faktor für eine gelingende visuelle Einbindung der Ersteren. Analoge Kombinationen führen dabei zu ausgewogenen Kompositionen, monochrome zu unauffälligen und komplementäre zu auffälligen Integrationen. Dies kann beispielsweise an den Projekten Marché International und Haus Schneller Bader sehr gut nachvollzogen werden, da dort jeweils einheitlich in Anthrazit gehaltene Dachanlagen mit hellen Fassaden kombiniert sind. Eine besonders kontrastreiche farbliche Einbindung ist am Convention Center, realisiert. Dort sind die PV-Zellen in einem triadischen Farbklang gestaltet, und in Kombination mit der Gebäudehülle entsteht sogar ein tetradischer Farbklang. Verschiedene Teilkriterien wurden dabei auf den Ebenen Generator, Modul und Zellen berücksichtigt.

**Farbtöne** wurden bei allen Projekten sorgsam **abgestimmt**. Die Farbtonkombinationen liegen bei den Projekten in den Bereichen Blau-Anthrazit-Schwarz mit Holz (Marché International, Haus Glattfelden, Haus Schneller Bader), Blau-Anthrazit-Schwarz-Weiß (Solar XXI, Solar Academy, Aktiv-Stadthaus), monochromes Anthrazit-Schwarz (Halle design.s, Umweltarena, Grosspeter Tower), monochromes Braun (Solarhaus) oder komplementäre Farbverknüpfungen (Convention Center, Copenhagen School, Propsteikirche).

Unter dem Aspekt der **Abstimmung von Farbhelligkeiten** hat sich gezeigt, dass an den Projekten überwiegend sehr dunkle Zellen und Module integriert sind. Im Dachbereich führt dies häufig zu Kombinationen dunkler Dächer mit helleren Fassaden (Marché International, Haus Glattfelden, Aktiv-Stadthaus, Haus Schneller Bader). Bei monochromen Strategien hat diese Präferenz zur Folge, dass die übrigen Teile der Fassade ebenfalls entsprechend dunkel gestaltet sind (Halle design.s, Umweltarena).

**Abgestimmte Farbsättigungen** stellen zumeist bei anthrazit-schwarzen Zellen keine Herausforderung dar. Lediglich bei Zellen in Blau entstehen auch Farbsättigungskontraste zu den

übrigen Materialien der Gebäudehülle. Diese werden dann durchaus auch bewusst genutzt in Kombination mit Farben niedriger Sättigung (Solar XXI). Ähnliches gilt auch für die bunten Grätzel-Zellen am Convention Center.

Der vergleichende Blick auf die Projekte zeigt, dass bei der Wahl der Farben verschiedene spezifische Ton-, Sättigungs- und Helligkeiten-Kombinationen wiederkehrend auftreten. Insbesondere unter Berücksichtigung der bewusst kontrastreich zusammengestellten Kombinationen. Bei vielen Projekten wurden die farblichen Optionen im Planungsprozess abgewogen und auch im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit von Farbvarianten thematisiert. Insbesondere auf Modulebene wurde bewusst darauf geachtet, Module farblich einheitlich zu gestalten, etwa indem Leiterbahnen, Rahmen oder Befestigungsteile eingefärbt werden, wie z. B. am Marché International. Das Convention Center geht diesbezüglich sogar noch einen Schritt weiter, indem dort ein dezidiertes Farbkonzept für die Solarzellen von Künstlern eigens entworfen wurde. Insgesamt kann die farbliche Integration von PV in die Gebäudehülle eine Herausforderung darstellen, da Solarelemente mit vielen übrigen Elementen einen Kontrast bilden. Dieser fällt weniger ins Gewicht, wenn er zwischen Dach und Fassade entsteht oder wenn Gebäudehüllen bewusst monochrom gestaltet werden. Bezüglich der Verwendung von Holzmaterialien bieten sich sowohl Möglichkeiten harmonischer Kontraste (Marché International, Haus Glattfelden, Haus Schneller Bader) als auch solche monochromer Gestaltung (Solarhaus). Polykristallin-blaue Zellen werden eher selten verwendet.

#### Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien

Ähnliches wie über den abgestimmten Farbklang lässt sich auch in Bezug auf die Kompatibilität der Materialien sagen. Eine materielle Ähnlichkeit zwischen BIPV-Anlage und den übrigen Teilen der Gebäudehülle hat einen entscheidenden Einfluss auf deren wahrgenommene optische Integration. Die meisten Wettbewerbsgewinner der Projektstudie binden die Anlage ganz bewusst über ihre materiellen Eigenschaften ein, und zwar auf sämtlichen Ebenen von der Gesamtfläche über Dach-/Fassadenflächen und Einzelflächen bis hin zum PV-Bauteil.

In Bezug auf **abgestimmte Transparenzen/Opazitäten** sind die PV-Flächen meist eindeutig opaken oder transparenten Flächen zugeordnet. Insbesondere opake Dachflächen sind häufig (Marché International, Halle design.s, Umweltarena, Haus Glattfelden, Aktiv-Stadthaus, Haus Schneller Bader). Die Rolle von Dachfenstern in gleichem Format spielt dabei sowohl bei der Umweltarena als auch in Glattfelden eine wichtige Rolle.

Der **Abstimmung von Glanz-/Reflexionsgraden** kommt eine hohe Bedeutung zu. Bei allen prämierten BIPV-Anlagen handelt es sich um glasabgedeckte Module, die mit Oberflächen aus unterschiedlichen Materialien kombiniert sind. Verwendung fanden dafür Holz (an sechs Projektbeispielen), Putz, Beton und Klinker (an vier Projektbeispielen), Metall (an zwei Projektbeispielen) und Glas (an neun Projektbeispielen). Glanzgrade wurden teilweise leicht angepasst. Die Anpassung des Glanzgrades der PV-Bauteile ist insbesondere bei ausgewogenen und unauffälligen Integrationen von Interesse.

**Abgestimmte Oberflächentexturen** spielen bei den „best practice“-Beispielen eine untergeordnete Rolle, obwohl die Grundlagenforschung zur BIPV-Technik gerade in diesem Bereich einen ihrer Schwerpunkte hat (vgl. Abs. 4.1.3). Die Abstimmung hinsichtlich dieses Teilkriteri-

ums läuft deshalb darauf hinaus, bewusst zu kombinieren, entweder ebenfalls mit glatten Oberflächen aus Glas oder Metall (Solar Academy, Umweltarena, Convention Center, Copenhagen School, Grosspeter Tower) oder, im Gegenteil, mit bewusst rauen Materialien wie Holz (Marché International, Solarhaus, Halle design.s, Haus Glattfelden, Haus Schneller Bader) oder Putz, Beton und Klinker (Solar XXI, Aktiv-Stadthaus, Propsteikirche). Auch hier fällt eine Anordnung der PV im Dach nicht so stark ins Gewicht wie dies bei der Fassade der Fall wäre, in der häufiger bewusst glatte Oberflächen kombiniert werden.

Häufige Materialkombinationen sind Glas und Holz (sechs der Projektbeispiele), meist zwischen Dach und Fassade, und Glas-PV mit anderen Glas-Elementen (zehn der Projektbeispiele). Zwei Projekte weisen eine annähernd hundertprozentige Glas-Gebäudehülle auf. Außerdem haben wenige Projekte Oberflächenkombinationen aus mehr als zwei Materialien (nur die Solar Academy, die Copenhagen School und das Haus Schneller Bader). Insgesamt werden die PV-Bauteile ähnlich Glas-Elementen oder sogar Glasflächen verwendet. Ausnahmen sind das Solarhaus, das Ähnlichkeit zu einer Holz-Optik sucht, und die Copenhagen School, an der die PV teilweise leicht metallisch wirkt. Überwiegend sind die Anlagen an den Gebäuden materiell auf allen Ebenen einheitlich gestaltet. Bei der Umsetzung einer guten Gestaltung bezogen auf die materielle Einfügung solaraktiver Bauteile zeigt sich somit ein hohes Bewusstsein für die Thematik; die gewählten Strategien sind dabei in ihrer Diversität eher überschaubar und beziehen sich in Ermangelung anderer in Frage kommender Verbundmaterialien oder überzeugender optischer Erscheinungen stark auf die Verwendung der PV als Glas-Bauteil.

#### Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung

Neben der optischen Einfügung in das Gebäude ist auch der Bezug des bestückten Gebäudes zur Umgebung ein wichtiges Kriterium für eine gelungene Gestaltung von BIPV. In Betracht kommen dabei materielle, farbliche oder formale Bezugnahmen, die von starker Nachahmung über Interpretationen und Ähnlichkeiten bis hin zu bewusster Kontrastierung reichen können.

An allen Projektbeispielen wurden **farbliche Bezüge** zur Umgebung bewusst hergestellt. Teilweise birgt dies Schwierigkeiten bei Integrationen im Dach hinsichtlich des Verhältnisses zu benachbarten Dächern, wenn die PV sehr dunkel erscheint (Marché International, Halle design.s, Umweltarena, Haus Glattfelden, Haus Schneller Bader). Bei Fassaden-Integrationen bestehen die Bezüge farblich meist zu Fenster-Elementen der Umgebung, wie z. B. am Aktivhaus. Da die meisten Anlagen aber eine geringe Sättigung haben, erweist sich die Einfügung als überwiegend problemlos. Allerdings finden sich in den prämierten Projekten auch solche PV-Anlagen, die natürliche Farben der Umgebung aufgreifen (Convention Center, Copenhagen School).

**Materielle Bezüge** bestehen bei Fassaden-Integrationen meist zu Fenster-Elementen der Umgebung, analog zum Kriterium der farblichen Einfügung. Bei den Glasdächern der Projektbeispiele zeigt sich die materielle Abstimmung meist in den Bemühungen um eine matte Optik (Marché International, Halle design.s, Umweltarena, Haus Glattfelden, Aktiv-Stadthaus, Haus Schneller Bader). Glasfassaden hingegen fügen sich gut in den Kontext einer Nachbarbebauung, in der ebenfalls Glasfassaden vorhanden sind (Solar Academy, Umweltarena, Con-



tion Center, Grosspeter Tower). Darüber hinaus können materiell aber auch freie Analogien gestaltet werden wie z. B. bei der Copenhagen School.

Was **formale Bezüge** anbelangt, zeigen sich im Umgang mit der Einpassung in die Umgebung meist Abwägungsprozesse hinsichtlich der Dachform und der Optimierung ihrer Ausrichtung und Dimensionierung. Sowohl Pultdächer (Marché International, Aktiv-Stadthaus) als auch angepasste Dachformen (Halle design.s, Haus Glattfelden) kommen den Dachformen der Umgebung aber immer noch so weit entgegen, dass Bezüge zu erkennen sind.

Es zeigt sich an allen Beispielen, dass Bezüge zur Umgebung nicht nur für das PV-bestückte Gebäude relevant sind, sondern auch die Anlage selbst, die stets, auch wenn ihr Flächenanteil gering ist, mit der Umgebung in Kontakt tritt. Auszunehmen ist hiervon nur das Solarhaus, das als einziges Projekt nicht für einen bestimmten Ort entwickelt wurde. Insbesondere für Fassaden zeigt sich in diesem Zusammenhang, dass die Verfügbarkeit von unterschiedlichen Farben (auch sehr hellen Farben) entscheidend ist; im Dachbereich spielt dagegen die materielle Erscheinung die Hauptrolle.

#### Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung

Der Zeichenwirkung ihrer Materialität kann sich die Photovoltaik nicht entziehen. Dabei entscheiden auch die Abstimmung der syntaktisch-ornamentalen Wirkung und der semantisch-symbolischen Wirkung über das Gelingen oder Misslingen der Einfügung der BIPV-Anlage in die Gebäudehülle. In diesem Punkt haben sich zwei Teilkriterien als relevant erwiesen.

Im Zusammenhang mit einer **abgestimmten syntaktischen Wirkung** zeigen sechs der Projektbeispiele eine stärkere ornamentale Wirkung. Die meisten PV-Anlagen sind aber nicht gezielt als Muster eingesetzt und entfalten auch keine unbewusste Musterwirkung. Wenn eine leichte ornamentale Wirkung entsteht, dann sowohl auf Zell-Ebene (Solarhaus) als auch auf Modul-Ebene (Umweltarena). Ebenso bei den Projekten mit stärkerer Musterwirkung (Modul-Ebene: Solar XXI, Convention Center, Zell-Ebene: Solar Academy, Aktiv-Stadthaus). Die ornamentale Wirkung ist also annähernd gleich auf Zell- und Modul-Ebene verteilt. Wenn eine Musterwirkung entsteht, dann bewusst z. B. als übergeordnetes Konzept. In dieser Wirkung ist die PV überwiegend auch auf die übrige Hülle abgestimmt, sowohl bei den Fassaden mit allgemeiner Musterwirkung als auch bei denen mit sonst bewusst keiner Musterwirkung.

Bei den untersuchten Projektbeispielen wurde die PV häufig bewusst **abgestimmt hinsichtlich ihrer semantischen Wirkung**. Sechs der Projekte haben eine deutliche symbolische Wirkung, vier sogar eine sehr starke (Solar XXI, Solar Academy, Umweltarena, Convention Center). Dabei hängt die symbolische Wirkung nicht zuletzt von der Erkennbarkeit der PV als solche ab und von ihrer Sichtbarkeit von bestimmten Betrachtungsstandpunkten aus. In dieser Wirkung erscheint die BIPV häufig auf die übrige Hülle abgestimmt, indem sie z. B. mit anderen nachhaltigen Materialien kombiniert wurde, wie z. B. Holz, mit anderen nachhaltigen Technologien, wie solarthermischen Bauteilen, oder mit anderen hochwertigen Materialien, wie Aluminium-, Glas-, oder Naturstein-Fassaden. Außerdem ist die symbolische Wirkung meist auch auf die Nutzung des Gebäudes abgestimmt, bzw. mit spezifischen Inhalten der Auftraggeber verknüpft.

Die Ergebnisse der Studie bezüglich des Kriteriums ergänzen die im Zuge der analytischen Recherche herausgearbeiteten. Der bewusste symbolische Einsatz von BIPV z. B. an Kirchen und Schule wurde bereits aufgezeigt, und entsprechende Beispiele sind auch unter den Wettbewerbsgewinnern zu finden, ebenso Firmen, die PV zu Repräsentationszwecken nutzen. Ergänzend sind hier auch Beispiele von Forschungseinrichtungen relevant. Einige Projekte, wie das Marché International, die Halle design.s oder das Haus Glattfelden, setzen bewusst auf die symbolische Wirkung einer BIPV-Anlage, um Inhalte wie Nachhaltigkeit, Umweltfreundlichkeit oder den Einsatz innovativer Techniken zu transportieren, ohne dabei allerdings besonders auf eine ornamentale Musterwirkung der Anlage zu setzen. In deutlichem Gegensatz hierzu stehen Projekte wie das Solar XXI, von dessen polykristallin schillernder Anlage eine starke ornamentale Wirkung ausgeht, die Solar Academy mit ihrem „Pixel-Druck“ oder das Convention Center, dessen Anlage vor allem durch ihr buntes Farbmuster charakterisiert ist. Diese Projekte verdeutlichen insbesondere, wie sich auch Anlagen mit deutlich ornamentalem, schmückendem Effekt in die Gebäudehülle integrieren können. Im Bereich der auffälligen Gestaltung kann durchaus auch der Wunsch bestehen, eine Unternehmensphilosophie durch eine PV-Anlage zu demonstrieren. Hierbei kann festgestellt werden, dass die leichte Erkennbarkeit von Proportionen oder Formen des Corporate Designs, die Einbindung des Firmenlogos oder, im speziellen Fall der PV-Bauteile, eine direkte Einbindung von Firmenprodukten es ermöglicht, Unternehmensinhalte anhand der BIPV-Anlage abzulesen.

### Zusammenfassung

Anhand der prämierten „best practice“-Beispiele konnte gezeigt werden, dass die allgemeingültigen Kriterien architektonischer Qualität grundsätzlich auch für den Bereich der Gestaltung von BIPV gelten. Auch hierbei handelt es sich um eine Aufgabe der Koordination und Kombination von Elementen der Gebäudehülle, die mit der Integration anderer spezifischer Baustoffe oder Bauteile vergleichbar ist. Im Transfer auf den Bereich der BIPV liegt der Schwerpunkt hauptsächlich darauf, die solaraktiven Teile mit den übrigen Teilen der Gebäudehülle abzustimmen und abzuwägen, welche Elemente jeweils in welchem Maße an die anderen anzupassen sind.

Was die Gewichtung der einzelnen BIPV-Kriterien betrifft, lassen sich an den untersuchten Beispielen der Projektstudie kaum Unterschiede in der Relevanz feststellen. Zu allen Kriterien ließen sich Daten erheben, da alle Projekte eine umfassende Auseinandersetzung mit der jeweiligen Thematik verraten. Eine Ausnahme bildet hier lediglich das Kriterium „Bezug zur Umgebung“ beim Projekt Solarhaus, das für keinen speziellen lokalen Kontext geplant wurde. Auf der Ebene der Teilkriterien konnte aufgezeigt werden, dass diese bei jedem Projekt berücksichtigt sind und auch hier, je nach Gestaltungsintention, alle gleich relevant sind.

Interessante Ergebnisse konnten bei der Betrachtung der Frage notiert werden, welche der Kriterien, die als Voraussetzung für eine gute Gestaltung im Sinne einer optischen Integration angesehen werden, sich an den Projektbeispielen als leichter bzw. schwerer umsetzbar erweisen. Dies hängt stark davon ab, ob es sich um eine Dach- oder eine Fassadenintegration handelt, denn innerhalb dieser Kategorien können jeweils deutliche Gemeinsamkeiten in der Vorgehensweise aufgezeigt werden. So liegen ähnliche gestalterische Dachintegrationsstra-

tegien bei der Umsetzung der Kriterien beim Marché International, bei der Halle design.s, dem Haus Glattfelden, der Dachintegration am Aktiv-Stadthaus und dem Haus Schneller Bader vor. Ähnliche gestalterische Fassadeintegrationsstrategien zeigen sich entsprechend bei der Umsetzung der Kriterien am Solar XXI, der Solar Academy und am Aktiv-Stadthaus.

## 6.2 Gestaltungsziele

Die Beurteilung der Qualität einer Lösung zur Integration von PV in die Gebäudehülle ist immer abhängig vom konkreten Kontext und der individuellen Zielsetzung des Projektes. Es ist also häufig durchaus möglich, einzelne Projekte zu bewerten hinsichtlich der Schlüssigkeit der konkreten Lösung. Genauso legitim sind aber auch projektspezifische Lösungen, die individuell eine besonders unauffällige (z. B. Einfügung in den Kontext) oder besonders auffällige Wirkung (z. B. bewusstes Kontrastieren des Kontextes) anstreben. Anhand der „best practice“-Beispiele der Projektstudie zeigt sich, dass es möglich ist, projektspezifische Gestaltungscharaktere zu unterscheiden, und zwar abhängig vom Grad der Gestaltprägung durch die integrierte PV. Überwiegend verfolgen die untersuchten Projekte der Studie bei der Integration der PV in die Gebäudehülle ein ausgewogenes Gestaltungsziel (insgesamt acht von 13 BIPV-Anlagen), drei Beispiele liegen im Bereich der dezent-unauffälligen Zielsetzung und lediglich zwei im Bereich prägnant-auffällig (vgl. Abb. 140). Dies stimmt auch mit der im Rahmen der analytischen Recherche formulierten Annahme überein, dass der überwiegende Teil der BIPV-Integrationen eine ausgewogene Gestaltprägung durch diese anstrebt.

| #  | Projekt                             | Gestaltprägungscharakter |            |           |
|----|-------------------------------------|--------------------------|------------|-----------|
|    |                                     | unauffällig              | ausgewogen | auffällig |
| 1  | Marché International                |                          | x          |           |
| 2  | Solarhaus                           | x                        |            |           |
| 3  | Solar XXI                           |                          |            | x         |
| 4  | Halle design.s                      |                          | x          |           |
| 5  | Solar Academy                       |                          |            | x         |
| 6  | Umweltarena Spreitenbach            |                          | x          |           |
| 7  | SwissTech Convention Center         |                          | x          |           |
| 8  | Wohnhaus Glattfelden                |                          | x          |           |
| 9  | Aktiv-Stadthaus                     |                          | x          |           |
| 10 | Copenhagen International School     | x                        |            |           |
| 11 | Wohnhaus Schneller Bader            |                          | x          |           |
| 12 | Grosspeter Tower                    | x                        |            |           |
| 13 | Kath. Propsteikirche St. Trinitatis |                          | x          |           |

Abb. 140: Übersicht über den individuellen Gestaltungscharakter der in der Projektstudie untersuchten Wettbewerbsgewinner (eigene Darstellung)

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, wie sich das jeweils individuelle Gestaltungsziel in der Summe der Ausprägungen auf Ebene der sechs Einzel-Gestaltungskriterien widerspiegelt. Dabei kann sich ein ausgewogenes Integrationsziel sowohl als Summe von relativ ausgewogenen Ausprägungen der Einzelkriterien zeigen, wie z. B. beim Projekt Haus Schneller Bader (vgl. Abb. 141), als auch als Summe durchaus stark abweichender Ausprägungen der Einzelkriterien, wie z. B. beim Projekt Umweltarena Spreitenbach (vgl. Abb. 142).

| Projekt 11 - Wohnhaus Schneller Bader        | Gestaltungscharakter |            |           |
|--|----------------------|------------|-----------|
|  | unauffällig          | ausgewogen | auffällig |
| Gestaltungscharakter                         |                      | x          |           |
| Kriterium 1 - Abgest. Maß- & Mengenverhältn. |                      | x          |           |
| Kriterium 2 - Maßstäblichkeit                |                      |            | x         |
| Kriterium 3 - Korrespondierende Farben       |                      | x          |           |
| Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien  |                      |            | x         |
| Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung             |                      | x          |           |
| Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung     | x                    |            |           |

Abb. 141: Wohnhaus Schneller Bader - Ausprägung des Gestaltungsziels im Vergleich mit den Ausprägungen der Einzelkriterien (eigene Darstellung)

| Projekt 6 - Umweltarena Spreitenbach         | Gestaltungscharakter |            |           |
|--|----------------------|------------|-----------|
|  | unauffällig          | ausgewogen | auffällig |
| Gestaltungscharakter                         |                      | x          |           |
| Kriterium 1 - Abgest. Maß- & Mengenverhältn. |                      |            | x         |
| Kriterium 2 - Maßstäblichkeit                |                      |            | x         |
| Kriterium 3 - Korrespondierende Farben       | x                    |            |           |
| Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien  |                      | x          |           |
| Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung             |                      |            | x         |
| Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung     |                      |            | x         |

Abb. 142: Umweltarena Spreitenbach - Ausprägung des Gestaltungsziels im Vergleich mit den Ausprägungen der Einzelkriterien (eigene Darstellung)

Die Projekte mit einem ausgewogenen Charakter der BIPV-Integration bezogen auf deren Gestaltungsgrad setzen bezüglich der Abstimmung der PV-Bauteile auf Ähnlichkeit, Ausgeglichenheit und Ausgewogenheit bei gleichzeitiger Erkennbarkeit der PV als solcher. Dabei zeigen die Beispiele ausgewogener Integrationszielsetzungen hohe Übereinstimmungen mit

übergeordneten ähnlichen Zielsetzungen des Gebäudes, wie z. B. denjenigen, ökologischen Überlegungen Ausdruck zu verleihen (Marché International), Funktionalität und Effizienz zu veranschaulichen (Halle design.s), Vorbildhaftigkeit zu demonstrieren (Umweltarena), ein atmosphärisches Kunsterlebnis zu bieten (Convention Center) oder Beispielhaftigkeit und Einfachheit für häufige Gebäude-Typologien aufzuzeigen (die Wohnhäuser Glattfelden und Schneller Bader).

Bei Projekten mit spezifisch unauffälligem Gestaltungsziel, wie dem Grosspeter Tower, oder mit spezifisch auffälligem Gestaltungsziel, wie z. B. dem Solar XXI, sind dementsprechend die Ausprägungen der Einzelkriterien überwiegend am linken oder rechten Rand der Skala abzulesen (vgl. Abb. 143 und Abb. 144).

| Projekt 12 - Grosspeter Tower                | Gestaltungscharakter |            |           |  |
|--|----------------------|------------|-----------|--|
|  | unauffällig          | ausgewogen | auffällig |  |
| Gestaltungscharakter                         | x                    |            |           |  |
| Kriterium 1 - Abgest. Maß- & Mengenverhältn. | x                    |            |           |  |
| Kriterium 2 - Maßstäblichkeit                |                      | x          |           |  |
| Kriterium 3 - Korrespondierende Farben       | x                    |            |           |  |
| Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien  | x                    |            |           |  |
| Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung             |                      |            | x         |  |
| Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung     | x                    |            |           |  |

Abb. 143: Grosspeter Tower - Ausprägung des Gestaltungsziels im Vergleich mit den Ausprägungen der Einzelkriterien (eigene Darstellung)

Wie Abb. 143 veranschaulicht, setzen also Entwürfe mit eher unauffälligem Charakter der BIPV-Integration bei der Abstimmung der PV-Bauteile auf Anpassung, Nachahmung und Unterordnung und darauf, dass die PV als solche nicht auf den ersten Blick erkennbar ist. Darin zeigen sie hohe Übereinstimmungen mit übergeordneten Zielsetzungen des Gebäudes, wie z. B. den Fokus auf den skulpturalen Charakter des Gebäudes (Solarhaus), das einzigartige Design der Gebäudehülle (Copenhagen School) oder die nüchterne Eleganz der Fassade (Grosspeter Tower) zu lenken. Eine besonders dezente Gestaltung der BIPV aus Gründen der Anpassung an einen bestehenden spezifischen Kontext stand bei keinem der untersuchten Projekte im Vordergrund. Bei Objekten mit einer deutlich auffälligen BIPV-Integration unterstreicht der gestaltprägende Einsatz von Solarmodulen Aspekte wie z. B. demonstrativ die Nutzung erneuerbarer Energien am Gebäude zu unterstützen (Solar XXI) oder weithin sichtbar unternehmensspezifische Inhalte zu kommunizieren (Solar Academy).

| Projekt 3 - Solar XXI                        | Gestaltungscharakter |            |           |   |   |
|--|----------------------|------------|-----------|---|---|
|  | unauffällig          | ausgewogen | auffällig |   |   |
| Gestaltungscharakter                         |                      |            |           |   | x |
| Kriterium 1 - Abgest. Maß- & Mengenverhältn. |                      |            | x         |   |   |
| Kriterium 2 - Maßstäblichkeit                |                      |            |           |   | x |
| Kriterium 3 - Korrespondierende Farben       |                      |            |           |   | x |
| Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien  |                      |            |           |   | x |
| Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung             |                      |            |           | x |   |
| Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung     |                      |            |           | x |   |

Abb. 144: Solar XXI - Ausprägung des Gestaltungsziels im Vergleich mit den Ausprägungen der Einzelkriterien (eigene Darstellung)

### 6.3 Funktionale und technische Wechselwirkungen

Funktionale und technische Anforderungen beeinflussen die Gestaltung von BIPV. Diese Einflüsse in Form von vielfachen Wechselwirkungen zu berücksichtigen ist eine spezielle Herausforderung dieser Arbeit. Es ist möglich, diese Wechselwirkungen herauszustellen und aufzuzeigen, wie ihre Berücksichtigung zu guter Gestaltung führt. Dies kann auch anhand der Projektstudie aufgezeigt werden.

#### Funktionale Wechselwirkungen

Dass BIPV-Bauteile neben der Stromproduktion viele zusätzliche Funktionen am Gebäude übernehmen können, hat sich auch anhand der untersuchten „best practice“-Beispiele im Rahmen der Projektstudie gezeigt (vgl. Tab. 7). Alle Anlagen übernehmen mindestens eine weitere Funktion.

Symbiotische Wechselwirkungen entstehen dabei z. B. zwischen Stromproduktion und Witterungsschutz. Letztere zusätzliche Funktion erfüllen alle Anlagen. Sehr häufig ist eine Kombination von Stromerzeugung und Witterungsschutz bei den hinterlüfteten Dachanlagen (Marché International, Halle design.s, Umweltarena, Haus Glattfelden und Haus Schneller Bader). Darauf folgen die Kaltfassaden-Anlagen an Solar XXI, Solar Academy, Aktiv-Stadthaus, Copenhagen School und Grosspeter Tower, die zusätzlich eine Schallschutz-Funktion erfüllen. Semitransparente Fassadenanlagen an den untersuchten Projekten wie dem Solarhaus, der Solar Academy und dem Convention Center zeigen zudem oft symbiotische Effekte in der Funktionskombination mit Sicht- und Sonnenschutz und bieten dabei die Möglichkeit, atmosphärische Effekte in Form von Licht- und Schattenspielen zu gestalten. Auch die Repräsentation unternehmensspezifischer Inhalte ist eine Funktion, die an den „best practice“-Beispielen mehrfach symbiotisch mit der Integration von PV kombiniert ist. Bei einzelnen Projekten unterstützt die BIPV-Integration in Zeiten höchster Sonneneinwirkung auch die Funktion aktiver Lüftungs- und Kühlungs-systeme (Copenhagen School und Grosspeter Tower).

| #  | Projekt          | Stromproduktion | Passive Solarenergienutzung | Witterungsschutz | Privatsphäre/Sichtschutz | Blickbeziehungen | Sonnenschutz/Tageslichtregulierung | Tageslichtnutzung | Thermischer Schutz | Atmosphärische Effekte | Objektsicherheit/Einbruchschutz | Nutzung thermischer Abwärme | Unterstützung aktiver Lüftung/Kühlung | Schallschutz | Repräsentation einer CI |    |
|----|------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|--------------|-------------------------|----|
| 1  | Marché Internat. | ja              |                             | ja               |                          |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       |              |                         |    |
| 2  | Solarhaus        | Fass.           | ja                          | nein             | ja                       | ja               | nein                               | ja                | nein               |                        | ja                              | ja                          |                                       |              |                         |    |
|    |                  | Dach            | ja                          |                  | ja                       |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       |              |                         |    |
|    |                  | Veran.          | ja                          | nein             | ja                       |                  |                                    | ja                | nein               |                        | ja                              |                             |                                       |              |                         |    |
| 3  | Solar XXI        | ja              |                             | ja               |                          |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 | ja                          |                                       | ja           | ja                      |    |
| 4  | Halle design.s   | ja              |                             | ja               |                          |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       |              |                         |    |
| 5  | Solar Academy    | Fass.           | ja                          | nein             | ja                       | ja               | nein                               | ja                | nein               | ja                     | ja                              |                             |                                       |              | ja                      | ja |
|    |                  | Dach            | ja                          |                  | ja                       |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       |              |                         |    |
| 6  | Umweltarena      | ja              | nein                        | ja               |                          | nein             |                                    | nein              |                    |                        |                                 |                             |                                       | ja           | ja                      |    |
| 7  | Convention Cen.  | ja              | nein                        | ja               | ja                       | nein             | ja                                 | nein              |                    | ja                     |                                 |                             |                                       |              | ja                      |    |
| 8  | Haus Glattfelden | ja              |                             | ja               |                          |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       |              |                         |    |
| 9  | Aktiv-Stadthaus  | Fass.           | ja                          |                  | ja                       |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       |              | ja                      |    |
|    |                  | Dach            | ja                          |                  | ja                       |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       |              |                         |    |
| 10 | CPH School       | ja              |                             | ja               |                          |                  |                                    |                   |                    | ja                     |                                 |                             | ja                                    | ja           |                         |    |
| 11 | Haus Schn. B.    | ja              |                             | ja               |                          |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       |              |                         |    |
| 12 | Grossp. Tower    | ja              |                             | ja               |                          |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             | ja                                    | ja           |                         |    |
| 13 | Propsteikirche   | ja              |                             | ja               |                          |                  |                                    |                   |                    |                        |                                 |                             |                                       | ja           | ja                      |    |

Tab. 7: Funktionen der BIPV an den untersuchten Projekten (eigene Darstellung)

Situationen konkurrierender Funktionen bei der Integration von PV entstehen insbesondere im Bereich der Fassadenintegrationen (Solarhaus, Solar Academy, Convention Center) und tiefgezogenen Dachintegrationen (Umweltarena), bei denen die BIPV einerseits Sichtschutz, Sonnenschutz und atmosphärische Lichtspiele ermöglicht, andererseits aber der passiven Solarenergienutzung, Blickbeziehungen und der Tageslichtnutzung entgegensteht.

### Technische Wechselwirkungen

Auch im Bereich der technischen Einflüsse können bestimmte Spezifikationen symbiotische oder hemmende Auswirkungen auf die Gestaltung der BIPV haben, wie der Vergleich der systemtechnischen Daten der untersuchten „best practice“-Beispiele im Rahmen der Projektstudie zeigt (vgl. Tab. 8).

| #  | Projekt          | Anwendungsbereich [Dach: D, Fassade: F, Veranda: V] | Flächenanteil [%] | Zelltechnik [Kristallin: K, Dünnschicht: D, Organisch: O] | Nennleistung/m <sup>2</sup> [Wp/m <sup>2</sup> ] | Anzahl Module Standard-/Sondermaße | Modulgröße [Angabe der Standardmodulgröße in cm] | Modulfarbe | Individuelle Farbwahl/-anpassung | Oberflächenanpassung |
|----|------------------|---|-------------------|---|--|------------------------------------|--|------------|----------------------------------|----------------------|
| 1  | Marché Internat. | D   | 26                | D   | 92   | 660/0                              | 120 x 60   | Anthraz.   | nein                             | nein                 |
| 2  | Solarhaus        | D   | 31                | K   | 153  | 40/0                               | 156 x 80   | Schwarz    | nein                             | nein                 |
|    |                  | F   | 19                | D   | 57   | 0/1 k                              | k. A.  | Braun      | ja                               | nein                 |
|    |                  | V   | 8                 | K   | 54   | 0/6                                | k. A.  | Schwarz    | nein                             | nein                 |
| 3  | Solar XXI        | F   | 7                 | K   | 125  | 76/0                               | 165 x 78   | Blau       | nein                             | nein                 |
| 4  | Halle design.s   | D   | 60                | D   | 61   | 714/0                              | 130 x 110  | Anthraz.   | nein                             | nein                 |
| 5  | Solar Academy    | D   | 70                | K   | 65   | 142/50                             | k. A.  | Dunkelbl.  | nein                             | nein                 |
|    |                  | F   | 15                | K   | 102  | 0/135                              | k. A.  | Dunkelbl.  | nein                             | nein                 |
| 6  | Umweltarena      | D   | 80                | K   | 140  | 4 k/1 k                            | 130 x 88   | Anthraz.   | nein                             | nein                 |
| 7  | Convention Cen.  | F   | 3                 | O   | 57   | 0/1,4 k                            | 50 x 35  | Diverse    | ja                               | nein                 |
| 8  | Haus Glattfelden | D   | 7                 | K   | 185  | 33/0                               | 156 x 80   | Dunkelbl.  | nein                             | nein                 |
| 9  | Aktiv-Stadthaus  | D   | 13                | K   | 165  | 769/0                              | 167 x 115  | Dunkelbl.  | nein                             | nein                 |
|    |                  | F   | 8                 | K   | 124  | 0/348                              | 211 x 130  | Schwarz    | ja                               | nein                 |
| 10 | CPH School       | F   | 34                | K   | 119  | 0/12 k                             | 70 x 70  | Grünblau   | ja                               | ja                   |
| 11 | Haus Schn. B.    | D   | 22                | K   | 160  | 96/0                               | 130 x 88   | Anthraz.   | nein                             | nein                 |
| 12 | Grossp. Tower    | D   | 6                 | k. A.   | 130  | 630/0                              | k. A.  | Dunkelbl.  | nein                             | nein                 |
|    |                  | F   | 37                | D   | 110  | 0/10 k                             | 284 x 58   | Anthraz.   | ja                               | ja                   |
| 13 | Propsteikirche   | D   | 8                 | K   | 156  | 208/0                              | 167 x 100  | Blau       | nein                             | nein                 |
|    |                  | F   | 3                 | D   | 108  | 195/0                              | 120 x 60   | Anthraz.   | nein                             | nein                 |

Tab. 8: Systemtechnik der BIPV an den untersuchten Projekten (eigene Darstellung)



Ein hoher Wirkungsgrad solaraktiver Bauteile ermöglicht eine hohe Nennleistung pro m<sup>2</sup> und senkt den Flächenbedarf. Projekte mit leistungsstarken Modulen, wie z. B. die Dachintegrationen am Haus Glattfelden, am Aktiv-Stadthaus oder an der Propsteikirche, liegen gleichzeitig alle unter 15 % Flächenanteil an der jeweiligen Gebäudeoberfläche. Die Verfügbarkeit von freien Maßen sowohl in Bezug auf Solarmodule als auch in Bezug auf Zellformen bietet eine hohe Flexibilität in der Gestaltung. Sieben von 13 Projekten (Solarhaus, Solar Academy, Umweltarena, Convention Center, Aktiv-Stadthaus, Copenhagen School und Grosspeter Tower) weisen eine hohe Anzahl von Modulen in Sondermaßen auf. Interessant ist auch, dass an insgesamt nur zwei Anlagen (an der Dachanlage der Solar Academy und an der Umweltarena) sowohl Module in Standardmaßen als auch solche in Sondermaßen kombiniert wurden. Letztere sind gleichzeitig auch die einzigen Module in nicht rechteckiger Form. Auch die freie Farbgestaltung sowohl in Bezug auf die generelle farbliche Erscheinung der Anlage als auch auf die Möglichkeiten des Einfärbens von Leiterbahnen, Hintergrundfolien und Gläsern, Rahmen und Befestigungen erleichtern die Integration von PV in die Gebäudehülle. Die genauere Betrachtung von Projekten, deren Anlagen farblich frei gestaltet wurden, zeigt, dass diese Option meist genutzt wurde, um deutliche farbliche Unterschiede in Richtung braun (Solarhaus), rot, gelb, grün (Convention Center) oder grünblau (Copenhagen School) zu erreichen. Es finden sich aber unter den prämierten Projekten auch zwei Fassadenintegrationen, bei denen die Möglichkeit farblicher Anpassungen genutzt wurde, um die schwarze bzw. anthrazite Erscheinung der Module zu homogenisieren (Aktiv-Stadthaus und Grosspeter Tower). Insgesamt wurden farbliche Anpassungen nur bei Fassaden-Integrationen vorgenommen. Zwei der farbangepassten Fassaden-Integrationen sind zusätzlich auch die einzigen Beispielen oberflächenbehandelter Anlagen.

Zahlreiche Anlagen in den untersuchten Projekten sind nur mit Modulen in Standardmaßen gestaltet (zehn Einzelanlagen von insgesamt 19). Bis auf zwei Ausnahmen (Solar XXI und Propsteikirche) handelt es sich hierbei um Dachintegrationen mit meist nur einer einzelnen, geometrisch einfachen Fläche. Auch daraus, dass eine BIPV-Integration an komplexeren Fassaden wie z. B. dem Grosspeter Tower ohne Sondermaße gar nicht hätte stattfinden können, lässt sich ersehen, dass die fehlende Verfügbarkeit von freien Modulmaßen eine PV-Integration erschweren oder sogar verhindern kann. Sind BIPV-Farben nicht beeinflussbar und sollen Gebäude aber homogen gestaltet werden, zeigt sich, dass dann häufig monochrome Lösungen in Anthrazit oder Schwarz gewählt werden, um Kontraste zu vermeiden und dennoch PV zu integrieren, wie z. B. bei den Projekten Halle design.s, Umweltarena oder Grosspeter Tower.

## 6.4 Zusammenfassung in Form eines Kriterienkatalogs

Es zeigt sich, dass auf Grundlage der **Gesetzmäßigkeiten der (visuellen) Wahrnehmung**, die vorrangig auf einfache Informationsverarbeitung und Komplexitätsreduzierung ausgerichtet sind, gute und stimmige Architektur vor allem Sicherheit, Orientierung und ein angenehmes Gefühl bei ihrer Betrachtung bieten sollte. Dies konnte bereits eingangs dieser Arbeit anhand der Theorien ästhetischer Architekturgestaltung in den unterschiedlichsten Epochen nachvollzogen werden. Der einschlägige Diskurs war immer stark vom jeweiligen gesellschaftlich-wirt-

schaftlichen und politisch-kulturellen Kontext geprägt und drehte sich dennoch wiederkehrend um zentrale Aspekte architektonischer Qualität, wie z. B. proportionale Gliederung, Maßstäblichkeit oder Kontextualität. Die Relevanz dieser Kriterien lässt sich durch zahlreiche Mittel und Theorien veranschaulichen. Die Harmonie stimmiger Architektur ist erreicht, wenn die einzelnen Kriterien aufeinander abgestimmt sind und sich einem gemeinsamen Konzept unterordnen.

Der **Transfer dieser allgemeingültigen Gestaltungskriterien** auf den Bereich der Gestaltung von BIPV veranschaulicht, dass sich die Prinzipien der architektonischen Komposition insbesondere aus dem Bereich der Gebäudehülle im Zusammenhang mit der Integration von solaraktiven Bauteilen auf Aspekte der Abstimmung, Koordination und des In-Beziehung-Setzens beziehen. So lauten die Kriterien für die Gestaltung von BIPV: Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse, Maßstäblichkeit, korrespondierende Farben, korrespondierende Materialien, Bezug zur Umgebung und abgestimmte Zeichenwirkung. Die Ergebnisse der Projektstudie deuten zusätzlich darauf hin, dass bei der Abstimmung hauptsächlich zu klären ist, welche Elemente jeweils stärker an die anderen angepasst werden sollen. Abgesehen von dem bereits erwähnten, bewusst kontextlosen Projekt Solarhaus, lassen sich an den untersuchten Beispielen bezüglich einer unterschiedlichen Gewichtung der BIPV-Kriterien keine Abweichung feststellen. An sämtlichen Projekten ist eine Auseinandersetzung mit jedem einzelnen Kriterium nachweisbar. Dies gilt auch für die Ebene der Teilkriterien. Ergänzend waren ähnliche „Vorgehensstrategien“ bei der Integration von PV in Dach- bzw. Fassadenbereiche deutlich zu erkennen.

Eine wichtige Rolle spielt hierbei auch das Gestaltungsziel im Hinblick auf den Grad der **Gestaltprägung durch die PV**. Auch die Ergebnisse der Projektstudie zeigen für alle Kriterien eine Skala, auf der der Grad der Anpassung bzw. der bewussten Kontrastierung über die Stärke der Gestaltprägung entscheidet. Dennoch entscheiden alle Kriterien in ihrem Zusammenwirken über die Qualität, und es zeigten sich nur wenige Beispiele der gezielten Priorisierung einzelner Kriterien oder ihrer Irrelevanz. Lediglich das Projekt Solarhaus, das als Prototyp für einen Wettbewerb entwickelt wurde, ist ein Beispiel einer bewussten Kontextlosigkeit. Ähnliches zeigte sich jeweils auch in Bezug auf den übergeordneten, projektspezifischen Gestaltungscharakter. Dass die Mehrheit der untersuchten „best practice“-Beispiele bei der Integration der PV in die Gebäudehülle ein ausgewogenes Gestaltungsziel anstrebt, stimmt auch mit der bereits bei der analytischen Recherche formulierten Annahme überein. Dabei spiegelt sich das jeweilige individuelle Gestaltungsziel sowohl in der Summe der Ausprägungen auf der Ebene der sechs Einzel-Gestaltungskriterien wider als auch in hohen Übereinstimmungen mit übergeordneten ähnlichen Zielsetzungen des Gebäudes. Diese übergeordneten Ziele konnten, wie bereits erwähnt, beispielsweise darin bestehen, Vorbildhaftigkeit oder ökologische Aspekte zu demonstrieren (ausgewogene PV-Integration), Skulpturalität oder einzigartiges Design zu unterstreichen (unauffällige PV-Integration), sowie auch in der Demonstration erneuerbarer Energien oder der Kommunikation unternehmensspezifischer Inhalte (auffällige PV-Integration). Interessanterweise zeigte keines der untersuchten Beispiele eine besonders dezente Gestaltung der BIPV aus Gründen der Anpassung an einen bestehenden spezifischen Kontext.

Bezüglich der **Beeinflussung der Gestaltung durch technische und funktionale Aspekte**, konnte gezeigt werden, dass solaraktive Bauteile als Bestandteile der Gebäudehülle zahlreiche Anforderungen zu erfüllen haben und die Herausforderung umso größer ist, je tiefer die Bauteile konstruktiv integriert sind. Und auch der derzeitige Stand der Systemtechnik bzgl. der Herstellbarkeit, Anpassbarkeit und Verfügbarkeit spezifischer PV-Bauteile für architektonische Anwendungen kann eine Herausforderung sein. Gleichzeitig hat sich aber sowohl im Rahmen der analytischen Recherche als auch in den Untersuchungen der Projektstudie herausgestellt, dass vor allem die Multifunktionalität der PV und die innovativen Forschungsansätze zur Bauteilsituation ein beträchtliches Potenzial für die Akzeptanz und Verbreitung der BIPV-Technologie bieten. Die differenzierte Betrachtung funktionaler und technischer Einflüsse verdeutlicht, dass diese für die Gestaltung bestimmend sein können und sich als vielseitige Wechselwirkungen darstellen, die sowohl symbiotischen als auch hemmenden Charakter haben können.

**Symbiotische Wechselwirkungen** ließen sich erwartungsgemäß in Funktionskombinationen mit Witterungsschutz (hinterlüftete Dachanlagen), Schallschutz (Fassadenanlagen) sowie Sicht- und Sonnenschutz (Warmfassaden und semitransparente PV-Anlagen) aufzeigen. Die Erzeugung atmosphärischer Effekte und die Repräsentation unternehmensspezifischer Inhalte war bei den untersuchten Beispielen ein überraschend häufiges Motiv. Im Bereich technischer Wechselwirkungen waren es insbesondere der hohe Wirkungsgrad, der einen niedrigen Flächenbedarf ermöglichte, und die Verfügbarkeit freier Maße und individueller Farben, die die Integration von PV erleichterte oder überhaupt erst ermöglichte. Einzelne Aspekte symbiotischer Wechselwirkungen konnten jeweils nur an einem einzigen Beispiel aufgezeigt werden. Dies ist etwa bei der Unterstützung von aktiven Lüftungs- (Copenhagen School), Kühlungs- (Grosspeter Tower) oder auch Heizungssystemen (Solar XXI) durch die BIPV der Fall. Hier besteht Bedarf an weiterer Forschung darüber, inwieweit Strategien systematisiert werden können.

Der Einsatz solaraktiver Bauteile in der Gebäudehülle kann auch zu **Funktionskonkurrenzen** führen, z. B. zwischen Stromproduktion und Tageslichtnutzung, zwischen der Ermöglichung von Ausblicken aus dem Gebäude und passiver Solarenergienutzung. Auch die Untersuchungen der Projektstudie zeigen hierfür Beispiele. Insbesondere Fassadenintegrationen oder die Umweltarena mit ihrem tief heruntergezogenen Dach zeigen, wie diese Hemmnisse gestalterisch ganz bewusst mit den Vorteilen von Sichtschutz, Sonnenschutz und atmosphärischen Lichtspielen kompensiert werden. Limitierende systemtechnische Voraussetzungen zeigten sich überwiegend in Bezug auf den Aspekt der Standardmodulformate. Zahlreiche Beispiele sind nur mit Standardformaten versehen. Gestalterisch wurde diesem Umstand meist mit einer Verwendung in geometrisch einfachen Dächern begegnet. Auch am Umgang mit der Verwendung farblich nicht individuell angepasster PV-Bauteile sind gestalterische Strategien ablesbar, wie z. B. die vollständig analoge bis monochrome Gestaltung eines Gebäudes.

Die Kriterien für die Gestaltung von BIPV in der Wechselwirkung mit funktionalen und technischen Einflüssen, die im Rahmen der analytischen Recherche und der Projektstudie erarbeitet werden konnten, lassen sich zusammenfassend in Form eines **Kriterienkatalogs** darstellen (vgl. Abb. 145 - Abb. 150):

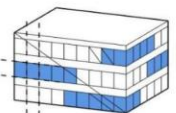
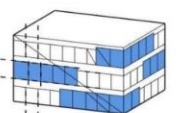
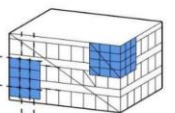



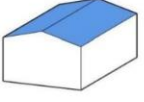
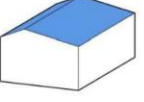




| Projekt-spezifisches Ziel                         | Dezent-unauffällige Integration   | Ausgewogene Integration  | Prägnant-auffällige Integration  |
|---|---|--|--|
| <b>Kriterium</b>                                  |   |  |  |
| <b>1. Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse</b> |   |  |  |
| <b>1.1 Proportionale Bezüge</b>                   |   |  |  |
|   | <p>Weitgehend identische Proportionen und Ordnungslinien</p> <p>Generator/Module/Zellen sind in ihrer Anordnung und Dimension mit anderen Teilen des Gebäudes, mit denen sie interagieren, bzw. dem ganzen Gebäude weitgehend identisch.</p>   | <p>Ähnliche Proportionen und Ordnungslinien</p> <p>Generator/Module/Zellen sind in ihrer Anordnung und Dimension anderen Teilen des Gebäudes, mit denen sie interagieren, bzw. dem ganzen Gebäude ähnlich.</p>                | <p>Bewusst abweichende Proportionen und Ordnungslinien</p> <p>Generator/Module/Zellen weichen in ihrer Anordnung und Dimension von anderen Teilen des Gebäudes, mit denen sie interagieren, bzw. vom ganzen Gebäude deutlich ab.</p>  |
| <b>1.2 Flächenintegrität</b>                      |   |  |  |
|   | <p>PV-Flächen sind kantenbündig mit den Flächen des Gebäudes</p> <p>Die Generatorfläche bzw. einzelne seiner Teilflächen sind kantenbündig mit den Flächen des Gebäudes, denen sie zugeordnet sind.</p>   | <p>PV-Flächen sind annähernd kantenbündig mit den Flächen des Gebäudes</p> <p>Die Generatorfläche bzw. einzelne seiner Teilflächen sind annähernd kantenbündig mit den Flächen des Gebäudes, denen sie zugeordnet sind.</p>  | <p>PV-Flächen sind nicht kantenbündig mit den Flächen des Gebäudes</p> <p>Die Generatorfläche bzw. einzelne seiner Teilflächen sind bewusst nicht kantenbündig mit den Flächen des Gebäudes, denen sie zugeordnet sind.</p>          |
| <b>1.3 Formprägung</b>                            |   |  |  |
|   | <p>Deutliche Formprägung der BIPV durch das Gebäude</p> <p>Der Generator oder einzelne seiner Bestandteile sind deutlich von der Form des Gebäudes geprägt.</p>    | <p>Ausgewogene, gegenseitige Formprägung</p> <p>Die gegenseitige Formprägung zwischen dem Generator oder einzelnen seiner Bestandteile und dem Gebäude ist ausgewogen.</p>    | <p>Deutliche Formprägung des Gebäudes durch die BIPV</p> <p>Vom Generator oder einzelnen seiner Bestandteile geht eine deutliche Formprägung des Gebäudes aus.</p>    |
| <b>1.4 Abgestimmte Flächenanteile</b>             |   |  |  |
|   | <p>Niedriger Flächenanteil PV</p> <p>Bzgl. des Gesamtflächenverhältnisses zwischen PV-Anlage und übriger Gebäudeoberfläche ist der Anteil der PV deutlich niedriger.</p>   | <p>Ausgeglichene Flächenanteile</p> <p>Das Gesamtflächenverhältnis zwischen der PV-Anlage und der übrigen Gebäudeoberfläche ist ausgewogen.</p>   | <p>Hoher Flächenanteil PV</p> <p>Bzgl. des Gesamtflächenverhältnisses zwischen PV-Anlage und übriger Gebäudeoberfläche ist der Anteil der PV deutlich höher.</p>    |
| <b>Funktionale Wechselwirkungen</b>               |   |  |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eine große Dimensionierung der Anlage führt evtl. zu einer Unverträglichkeit der Proportionen am Gebäude, erhöht aber den Ertrag.</li> <li>- Eine optimale Ausrichtung der PV-Anlage geht evtl. mit einer starken Baukörperanpassung einher, erhöht dafür den Ertrag.</li> <li>- Die Verwendung von Dummies kann eine Fläche inhomogen erscheinen lassen und senkt den Ertrag.</li> <li>- Dünnschichtmodule erscheinen allgemein homogener, da keine einzelnen Zellen ablesbar sind; dafür ist ihr Ertrag im Vergleich niedriger.</li> <li>- Die Funktion eines Sonnenschutzes erfordert keine oder nur geringfügige Anpassungen am Gebäude, wenn erforderliche Elemente substituiert werden.</li> </ul> |  |  |
| <b>Technische Wechselwirkungen</b>                |   |  |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ein höherer Modulwirkungsgrad senkt den Flächenbedarf am Gebäude und erhöht die Verträglichkeit mit der Gebäudeform.</li> <li>- Die Verfügbarkeit freier Maße der Module/Zellen hat Einfluss darauf wie kompatibel sie mit der Gliederung des Gebäudes sind.</li> <li>- Die Modularität der PV-Technik kann zu Unverträglichkeiten bzgl. der homogenen Flächenauslegung unregelmäßiger Geometrien führen.</li> <li>- Standardmodul-Aufbauten (Rahmen) können eine starke Rasterwirkung haben und die Flächenhomogenität beeinflussen.</li> <li>- Verfügbarkeit von optisch passenden Anschluss- und Befestigungsteilen hat Einfluss auf die homogene Gestaltung von Flächen.</li> </ul>                  |  |  |

Abb. 145: Kriterienkatalog - Kriterium 1 (eigene Darstellung)



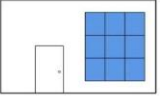
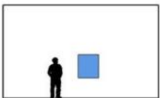
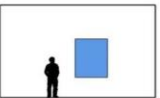
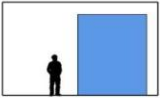
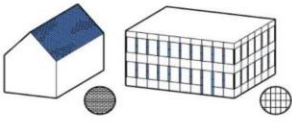
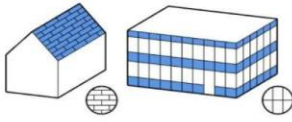
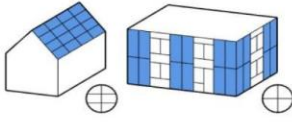
| Projekt-spezifisches Ziel   | Dezent-unauffällige Integration   | Ausgewogene Integration  | Prägnant-auffällige Integration  |
|---|---|--|--|
| <b>Kriterium</b>  |   |  |  |
| <b>2. Maßstäblichkeit</b>   |   |  |  |
| <b>2.1 Mit Größen des Gebäudes abgestimmt</b>   |   |  |  |
|   | Dem allgemeinen Maßstab entsprechend<br>Generator/Module/Zellen entsprechen in ihren Dimensionen anderen Elementen der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.<br> | Dem allgemeinen Maßstab ähnlich<br>Generator/Module/Zellen sind in ihren Dimensionen anderen Elementen der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren, maßstäblich ähnlich.<br> | Vom allgemeinen Maßstab abweichend<br>Generator/Module/Zellen weichen in ihren Dimensionen von anderen Elementen der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren, deutlich ab.<br> |
| <b>2.2 Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt</b>  |   |  |  |
|   | Menschlichen Maßstäben entsprechend<br>Generator/Module/Zellen entsprechen weitgehend menschlichen Maßstäben.<br>   | Menschlichen Maßstäben ähnlich<br>Generator/Module/Zellen sind menschlichen Maßstäben ähnlich.<br>   | Von menschlichen Maßstäben abweichend<br>Generator/Module/Zellen weichen deutlich von menschlichen Maßstäben ab.<br>   |
| <b>2.3 Mit bauüblichen Maßstäben abgestimmt</b>   |   |  |  |
|   | Bauüblichen Maßstäben entsprechend<br>Generator/Module/Zellen entsprechen weitgehend bauüblichen Rastern und Normen.<br>   | Bauüblichen Maßstäben weitgehend angeglichen<br>Generator/Module/Zellen entsprechen weitgehend bauüblichen Rastern und Normen.<br>   | Von bauüblichen Maßstäben abweichend<br>Generator/Module/Zellen weichen deutlich von bauüblichen Rastern und Normen ab.<br>   |
| <b>Funktionale Wechselwirkungen</b>   |   |  |  |
| - Eine Verkleinerung der Module zum Zweck maßstabsgetreuer Einfügung kann mit einer Minderung des Ertrags einhergehen.  |   |  |  |
| <b>Technische Wechselwirkungen</b>  |   |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eine kleinmaßstäbliche Gliederung der Anlage kann zu einem hohen Verschaltungsaufwand führen.</li> <li>- Herstellungsbedingt quadratische kristalline Solarzellen mit 45° Ecken wirken in ihrer Maßstäblichkeit baufremd.</li> <li>- Standardmodulmaße haben evtl. keinen Bezug zu den bekannten Baumaßen und können im Vergleich maßstablos oder überdimensioniert erscheinen.</li> </ul> |   |  |  |

Abb. 146: Kriterienkatalog - Kriterium 2 (eigene Darstellung)

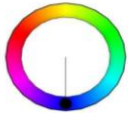

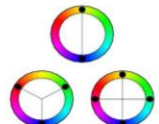






| Projekt-spezifisches Ziel               | Dezent-unauffällige Integration  | Ausgewogene Integration   | Prägnant-auffällige Integration  |
|---|--|---|--|
| <b>Kriterium</b>                        |  |   |  |
| <b>3. Korrespondierende Farben</b>      |  |   |  |
| <b>3.1 Abgestimmte Farbtöne</b>         |  |   |  |
|   | <p>Monochrome Farbkombinationen</p> <p>Monochrome Farbtöne zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>                                       | <p>Analoge Farbkombinationen</p> <p>Analoge Farbtöne zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>            | <p>Kontrastierende Farbkombinationen</p> <p>Komplementäre, triadische oder tetradische Farbtöne zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>  |
| <b>3.2 Abgestimmte Farbhelligkeiten</b> |  |   |  |
|   | <p>Gleiche Farbhelligkeiten</p> <p>Gleiche Farbhelligkeiten zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>                                     | <p>Ähnliche Farbhelligkeiten</p> <p>Ähnliche Farbhelligkeiten zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>  | <p>Kontrastierende Farbhelligkeiten</p> <p>Kontrastierende Farbhelligkeiten zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>                     |
| <b>3.3 Abgestimmte Farbsättigungen</b>  |  |   |  |
|   | <p>Gleiche Farbsättigungen</p> <p>Gleiche Farbsättigungen zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>                                      | <p>Ähnliche Farbsättigungen</p> <p>Ähnliche Farbsättigungen zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>   | <p>Kontrastierende Farbsättigungen</p> <p>Kontrastierende Farbsättigungen zwischen den Farben der PV-Anlage und den übrigen Farben der Gebäudehülle, mit denen sie interagieren.</p>                      |
| <b>Funktionale Wechselwirkungen</b>     |  |   |  |
|   | <p>- Je heller die Farbe, desto geringer der Wirkungsgrad/Ertrag je nach Verwendung in eher hellen (Fassade) oder eher dunkleren Bereichen (Dach).</p>   |   |  |
| <b>Technische Wechselwirkungen</b>      |  |   |  |
|   | <p>- Eingefärbte Leiterbahnen, Rahmen, Modulrücksichten, Befestigungen etc. können zu einer Verbesserung der farblichen Einfügung führen.<br/>                 - Die spezifische Zelltechnik hat einen großen Einfluss auf die Möglichkeiten des Einfärbens (Zellfarbe, Bedrucken etc.).</p> |   |  |

Abb. 147: Kriterienkatalog - Kriterium 3 (eigene Darstellung)


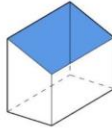





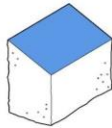

| Projekt-spezifisches Ziel                       | Dezent-unauffällige Integration  | Ausgewogene Integration   | Prägnant-auffällige Integration  |
|---|--|---|--|
| <b>Kriterium</b>                                |  |   |  |
| <b>4. Korrespondierende Materialien</b>         |  |   |  |
| <b>4.1 Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten</b> |  |   |  |
|   | <p>Gleiche Transparenzen/Opazitäten</p> <p>Materielle Anlehnung oder Nachahmung bezüglich Transparenz/Opazität auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>   | <p>Ähnliche Transparenzen/Opazitäten</p> <p>Materielle Ähnlichkeit bezüglich Transparenz/Opazität auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>     | <p>Kontrastierende Transparenzen/Opazitäten</p> <p>Materielle Kontraste bezüglich Transparenz/Opazität auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>     |
| <b>4.2 Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade</b>   |  |   |  |
|   | <p>Gleiche Glanz-/Reflexionsgrade</p> <p>Materielle Anlehnung oder Nachahmung bezüglich Glanz-/Reflexionsgrad auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>   | <p>Ähnliche Glanz-/Reflexionsgrade</p> <p>Materielle Ähnlichkeit bezüglich Glanz-/Reflexionsgrad auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>     | <p>Kontrastierende Glanz-/Reflexionsgrade</p> <p>Materielle Kontraste bezüglich Glanz-/Reflexionsgrad auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>     |
| <b>4.3 Abgestimmte Oberflächentexturen</b>      |  |   |  |
|   | <p>Gleiche Oberflächentexturen</p> <p>Materielle Anlehnung oder Nachahmung bezüglich Oberflächenrelief/-textur auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/ Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>    | <p>Ähnliche Oberflächentexturen</p> <p>Materielle Ähnlichkeit bezüglich Oberflächenrelief/-textur auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/ Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>  | <p>Kontrastierende Oberflächentexturen</p> <p>Materielle Kontraste bezüglich Oberflächenrelief/-textur auf den Ebenen Gesamfläche, Dach-/ Fassadenflächen, Einzelflächen und PV-Bauteil.</p>  |
| <b>Funktionale Wechselwirkungen</b>             |  |   |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Behandlung der Oberfläche zur Verbesserung der materiellen Kompatibilität kann Auswirkungen auf die Effizienz haben.</li> <li>- Unterschiedlich transparente Module im Fensterbereich ermöglichen Ein-/Ausblicke unterschiedlicher Stärke.</li> <li>- Unterschiedlich transparente Module im Fensterbereich ermöglichen Sonnenschutz/Tageslichtlenkung unterschiedlicher Stärke.</li> </ul> |   |  |
| <b>Technische Wechselwirkungen</b>              |  |   |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die spezifische Zelltechnik hat einen großen Einfluss auf die Möglichkeiten der Oberflächenbehandlung.</li> <li>- Die Verringerung des Glanzgrades reduziert Lichtspiegelungen; dies kann zu einer besseren Kompatibilität mit anderen Materialien führen.</li> </ul>   |   |  |

Abb. 148: Kriterienkatalog - Kriterium 4 (eigene Darstellung)

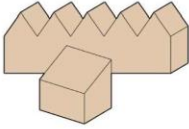
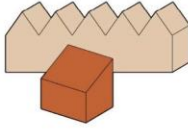
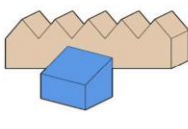
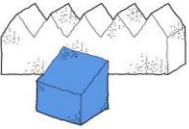
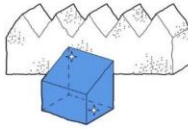
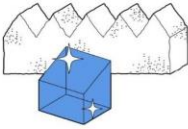
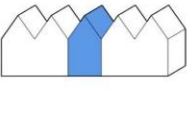
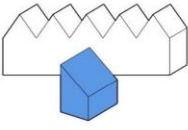
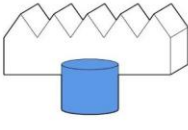
| Projekt-spezifisches Ziel   | Dezent-unauffällige Integration   | Ausgewogene Integration   | Prägnant-auffällige Integration   |
|---|---|---|---|
| <b>Kriterium</b>  |   |   |   |
| <b>5. Bezug zur Umgebung</b>  |   |   |   |
| <b>5.1 Farbliche Bezüge</b>   |   |   |   |
|   | <p><b>Farbliche Entsprechung</b></p> <p>Die Anlage passt sich farblich stark an Farben der Umgebung an, indem sie diese nachahmt oder imitiert, und strebt eine Ensemblewirkung an.</p>                                    | <p><b>Farbliche Ähnlichkeit</b></p> <p>Die Anlage passt sich farblich an Farben der Umgebung an, indem sie diese interpretiert.</p>                                    | <p><b>Farbliche Kontrastierung</b></p> <p>Die Anlage setzt sich farblich stark von Farben der Umgebung ab, indem sie diese bewusst kontrastiert, und strebt eine Solitärwirkung an.</p>                                    |
| <b>5.2 Materielle Bezüge</b>  |   |   |   |
|   | <p><b>Materielle Entsprechung</b></p> <p>Die Anlage passt sich in ihrer Materialität stark an Materialien der Umgebung an, indem sie diese nachahmt oder imitiert, und strebt eine Ensemblewirkung an.</p>                | <p><b>Materielle Ähnlichkeit</b></p> <p>Die Anlage passt sich in ihrer Materialität an Materialien der Umgebung an, indem sie diese interpretiert.</p>                | <p><b>Materielle Kontrastierung</b></p> <p>Die Anlage setzt sich in ihrer Materialität stark von Materialien der Umgebung ab, indem sie diese bewusst kontrastiert, und strebt eine Solitärwirkung an.</p>                |
| <b>5.3 Formale Bezüge</b>   |   |   |   |
|   | <p><b>Formale Entsprechung</b></p> <p>Die Anlage passt sich in ihrer Form oder Bauweise stark an Formen oder Bauweisen der Umgebung an, indem sie diese nachahmt oder imitiert, und strebt eine Ensemblewirkung an.</p>  | <p><b>Formale Ähnlichkeit</b></p> <p>Die Anlage passt sich in ihrer Form oder Bauweise an Formen oder Bauweisen der Umgebung an, indem sie diese interpretiert.</p>  | <p><b>Formale Kontrastierung</b></p> <p>Die Anlage setzt sich in ihrer Form oder Bauweise stark von Formen oder Bauweisen der Umgebung ab, indem sie diese bewusst kontrastiert, und strebt eine Solitärwirkung an.</p>  |
| <b>Funktionale Wechselwirkungen</b>   |   |   |   |
| - Farbliche oder formale Anpassungen an Strukturen der Umgebung können zu Ertragseinbußen führen.   |   |   |   |
| <b>Technische Wechselwirkungen</b>  |   |   |   |
| - Spezifische Zelltechniken eignen sich besser für Anpassungen an Strukturen der Umgebung ohne Leistungseinbußen. (Dünnschichttechnologie). |   |   |   |

Abb. 149: Kriterienkatalog - Kriterium 5 (eigene Darstellung)



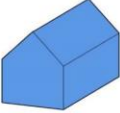

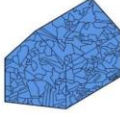
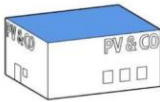
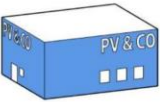

| Projekt-spezifisches Ziel   | Dezent-unauffällige Integration   | Ausgewogene Integration   | Prägnant-auffällige Integration  |
|---|---|---|--|
| <b>Kriterium</b>  |   |   |  |
| <b>6. Abgestimmte Zeichenwirkung</b>  |   |   |  |
| <b>6.1 Abgestimmte syntaktische Wirkung</b>   |   |   |  |
|   | Keine ornamentale Wirkung<br>Die PV-Anlage vermeidet jegliche ornamentale Wirkung.  | Leichte ornamentale Wirkung<br>Die PV-Anlage hat eine leichte ornamentale Wirkung.  | Starke ornamentale Wirkung<br>Die PV-Anlage hat eine deutliche ornamentale Wirkung.  |
|   |    |    |   |
| <b>6.2 Abgestimmte semantische Wirkung</b>  |   |   |  |
|   | Keine symbolische Wirkung<br>Die PV-Anlage versucht sich jeglicher Symbolik zu entziehen, diese zu überspielen oder eine andere Materialität nachzuahmen. | Leichte symbolische Wirkung<br>Die PV-Anlage wirkt erkennbar als Symbol für Fortschritt, Umweltbewusstsein oder andere Inhalte. | Starke symbolische Wirkung<br>Die PV-Anlage wirkt stark als Symbol für Fortschritt, Umweltbewusstsein oder andere (unternehmensspezifische) Inhalte. |
|   |   |   |    |
| <b>Funktionale Wechselwirkungen</b>   |   |   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Symbolwirkung setzt Sichtbarkeit voraus, dies ermöglicht eine hohe Flächenauslegung.</li> <li>- Starke Anpassungen im Hinblick auf die CI können mit Ertragseinbußen einhergehen.</li> <li>- Eine erkennbare CI erfordert hohe Sichtbarkeit und einen starken optischen Effekt. Hierfür eignen sich große Flächenauslegungen, die den Ertrag erhöhen können.</li> </ul>  |   |   |  |
| <b>Technische Wechselwirkungen</b>  |   |   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Symbolwirkung der PV ist häufig an die (poly-)kristalline Technik geknüpft.</li> <li>- PV eignet sich ideal zur ornamentalen Gestaltung in den Bereichen der Zellformen, deren Anordnung im Modul und ihrer Farbigkeit, zur Gestaltung von Leiterbahnen, zum Spiel mit Transparenz und Opazität oder im Bereich der Bedruckung.</li> <li>- Spezifische Zelltechniken eignen sich besser für Anpassungen an Vorgaben aus dem CI ohne Leistungseinbußen. (Dünnschichttechnologie, OPV).</li> </ul> |   |   |  |

Abb. 150: Kriterienkatalog - Kriterium 6 (eigene Darstellung)

## 7 Exkurs: Schnittstellen Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftliche Aspekte mussten eingangs dieser Arbeit von der Untersuchung ausgenommen werden. Aufgrund der hohen Relevanz des Themas für die Praxis soll dennoch in einem kurzen Exkurs auf einige Schnittstellen hingewiesen werden.

Die Nachfrage nach BIPV-Lösungen kann durchaus auch monetär motiviert sein. Positive Entwicklungen in anderen europäischen Ländern, wie z. B. der Schweiz, Frankreich oder Italien, zeigen, dass finanzielle Anreizsysteme deutlichen Einfluss auf den BIPV-Anteil am PV-Markt nehmen. Dort wird Solarstrom aus gebäudeintegrierten Anlagen höher vergütet als der aus aufgeständerten Anlagen, die keine zusätzlichen Aufgaben übernehmen. In diesen Ländern machte BIPV bereits 2010 mehr als ein Drittel des Marktes aus.<sup>679</sup> Während vor einigen Jahren allerdings noch effektive Gewinnabsichten im Zusammenhang mit der Installation von PV-Anlagen und der damit verbundenen Einspeisevergütung für regenerativ erzeugten Strom im Vordergrund standen, hat sich der Fokus inzwischen deutlich auf die Kompensation gestiegener Energiekosten verschoben. Die Strompreisentwicklung zeigt eine Preissteigerung von mehr als 30 % innerhalb von 10 Jahren (vgl. Abb. 151).<sup>680</sup> Auch dies dürfte dazu geführt haben, dass sowohl bei Neu- als auch bei Umbauten mehr Bauherr/innen in solare Energie investieren.

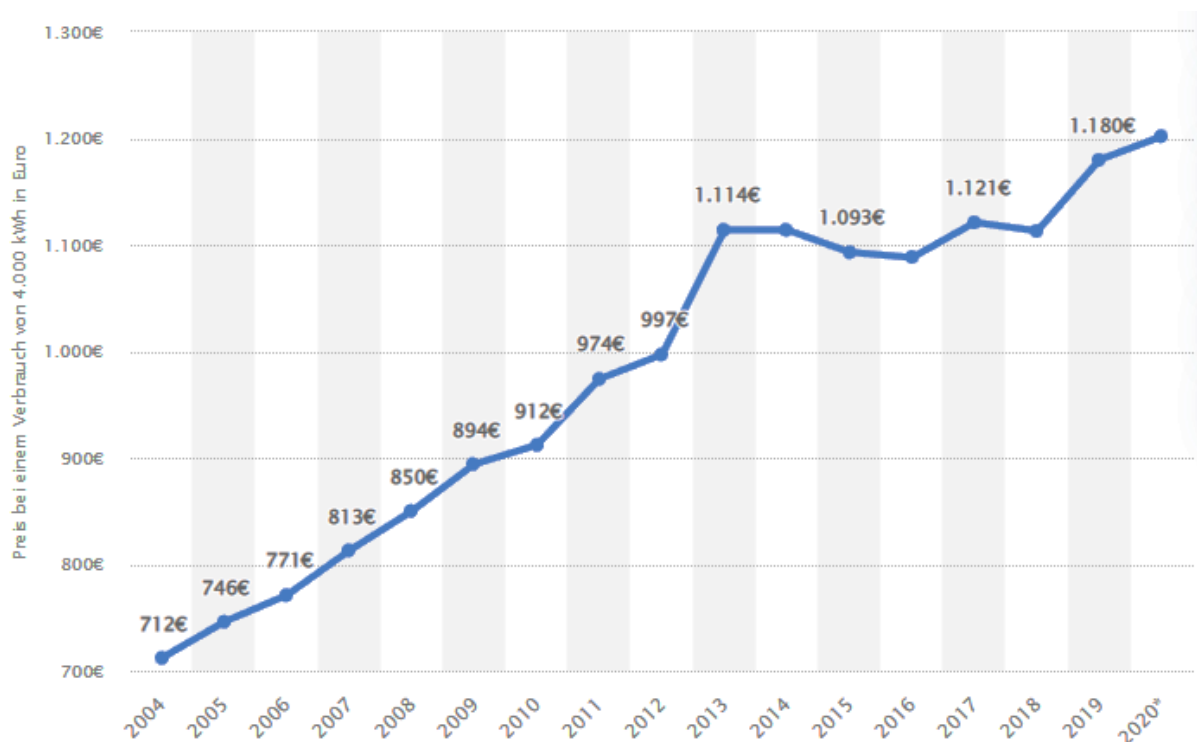


Abb. 151: Strompreisentwicklung am Beispiel eines Privathaushalts in Deutschland mit einem jährlichen Verbrauch von 4.000 kWh (Statista 2022c)

<sup>679</sup> Vgl. EPIA 2010.

<sup>680</sup> Vgl. Statista 2022c.

Zusätzliche finanzielle Sicherheit gibt hierbei das EEG, das seit über 20 Jahren eine staatliche Garantie für die Vergütung eingespeister Kilowattstunden leistet.<sup>681</sup> Zuletzt wurde die Einspeisevergütung durch die Reform des EEG vom 29.07.2022 wieder deutlich erhöht. Bei Volleinspeisung wurde sie ca. verdoppelt auf 13 ct/kWh, bei Eigenverbrauch auf 8,2 ct/kWh und damit immerhin um 25 % gesteigert.

Neben den Stromkosten sind auch die Kosten für Pkw-Kraftstoffe deutlich gestiegen. Dies führt zu einer exponentiell wachsenden Zulassung vollelektrisch angetriebener und hybrider Fahrzeuge (vgl. Abb. 152).<sup>682</sup> Gleichzeitig ist die Nachfrage nach Systemen elektrischer Energieerzeugung gestiegen, die eine Selbstversorgung auch zu Mobilitätszwecken ermöglichen. Durch den geplanten Ausbau der E-Mobilität und fortlaufende Förderungsmaßnahmen wird sich dieser Trend vermutlich weiter fortsetzen und die Symbiose zwischen bauwerkintegrierter PV und Elektromobilität stärken.

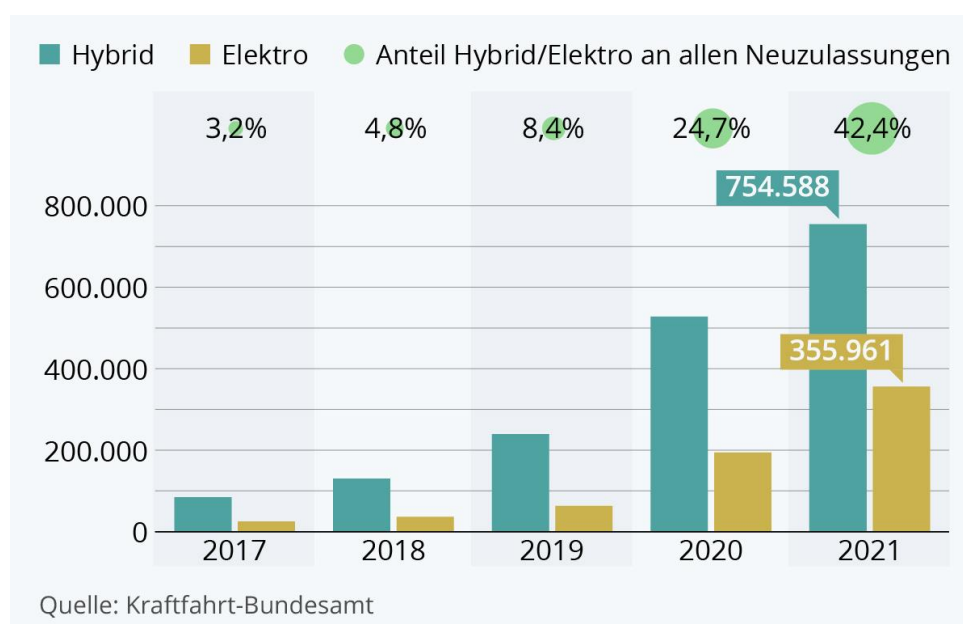


Abb. 152: Neuzulassungen von Hybrid- und Elektroautos in Deutschland 2017 bis 2021 (Statista 2022d)

Finanzielle Aspekte als initiale Entscheidungsfaktoren für BIPV können aber auch direkt die Kosten der verfügbaren solaraktiven Bauteile betreffen. Dabei zeigt die historische Entwicklung der Preise für PV-Module in den letzten 40 Jahren eine Preisreduktion um 25 % bei gleichzeitiger Verdopplung der kumulierten Leistung (vgl. Abb. 153). Weiter sinkende Kosten können so den Kreis der Bauauftraggebenden auch auf solche mit verhältnismäßig geringen finanziellen Mitteln erweitern. Zusätzlich wird es durch die gesunkenen Herstellungskosten, insbesondere bei Glas-Glas-Modulen, ökonomisch immer interessanter, auch nicht optimal ausgerichtete oder geschnittene Flächen zu nutzen.

<sup>681</sup> Vgl. Stiftung Warentest 2022.

<sup>682</sup> Vgl. Statista 2022d.

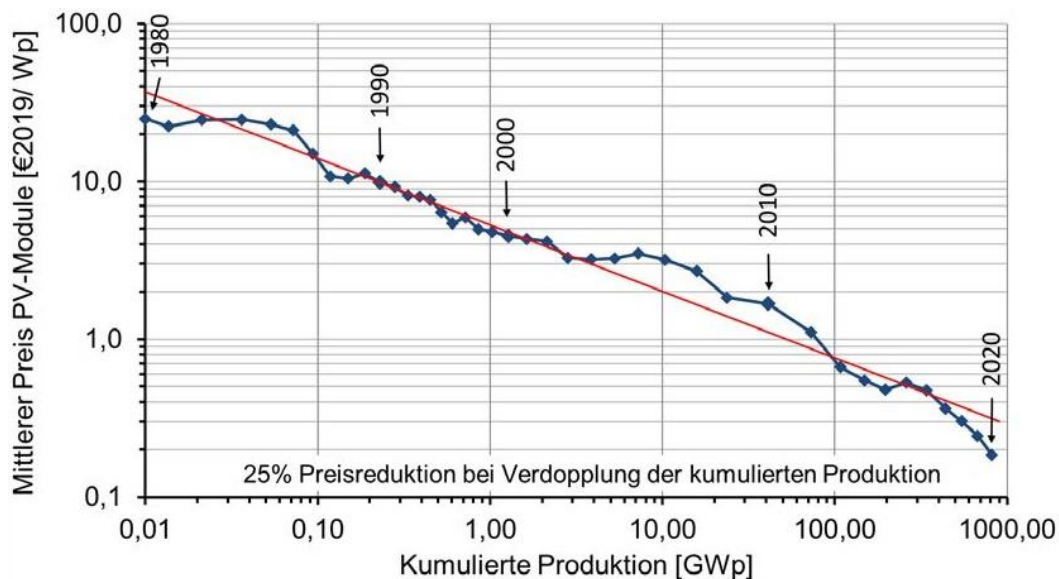


Abb. 153: Historische Entwicklung der Preise für PV-Module (inflationsbereinigt nach EUR-Wert 2019) gemessen an der Leistung pro Wp (Fraunhofer ISE 2022, S. 8)

Neben initial finanziellen Aspekten spielen Kostenfaktoren in der Baupraxis aber auch bezüglich der konkreten Planung und Umsetzung einer BIPV-Integration eine große Rolle. Bereits bei der Zielsetzung der Integration beeinflussen die hierfür bereitgestellten finanziellen Mittel die Gestaltung. Soll eine Anlage repräsentative oder symbolische Aufgaben erfüllen und über die reine Stromproduktion hinaus ein wichtiger Bestandteil des Entwurfskonzepts sein, so erweitert dies den Spielraum für Architekt/innen und Planer/innen. Dabei bietet sich insbesondere im Bereich der Gestaltung einer BIPV-Anlage zur Repräsentation einer Corporate Identity die Möglichkeit, dies als direkte Marketing-Maßnahme anzusehen und auch zu verrechnen. Ein Blick auf die Ergebnisse der Arbeit bezüglich einzelner Gestaltungskriterien zeigt zudem, dass bei der Gestaltung von BIPV einzelne Aspekte ökonomisch leichter umzusetzen sind als andere. Viele der Projektbeispiele arbeiten vor allem im Dachbereich mit Modulen in Standardmaßen, die auch farblich oder oberflächentechnisch nicht individualisiert wurden. Hier lassen sich bei einfachen, geometrischen Flächen ohne Durchdringungen und mit eventuell erhöhten Betrachtungsabständen auch mit Produkten aus Massenproduktion überzeugende Lösungen erreichen.

Das eigentliche ökonomische Potenzial der BIPV-Technik liegt aber insbesondere in ihrer Multifunktionalität. Bauwerkintegrierte PV-Elemente sind in der Lage, zahlreiche Funktionen der Gebäudehülle zu übernehmen, also neben der eigentlichen Stromproduktion weitere Aufgaben anderer Bauteile zu erfüllen. Die hierdurch mögliche Substituierung von Fassaden- und Dachbekleidungen durch PV-Elemente bringt immer auch wirtschaftliche Vorteile mit sich.

Grundsätzlich sollte nicht die Wirtschaftlichkeit der eigenen Anlage im Vordergrund stehen, sondern die Dekarbonisierung der Stromproduktion im Allgemeinen. Dennoch ist es wichtig, hierfür nicht nur die gestalterische, sondern auch die finanzielle Attraktivität von PV-Anlagen durch fortbestehende Förderungen und Gesetzgebungen, aber auch durch Innovationsbemühungen zu erhöhen und so bei Bauherr/innen und Nutzer/innen den Willen zur ökologischen Veränderung zu stärken.

## 8 Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war nicht, allgemeingültig darzulegen, was gute Architekturgestaltung ist. Gestalterische Vorbehalte gegenüber der BIPV waren vielmehr Ausgangs- und Ansatzpunkt dieser Studie. Entgegen der Annahme, mit BIPV lasse sich keine gute Architektur realisieren, bzw. diese lasse sich nur schwer in die Gebäudehülle integrieren, gibt es immer mehr Projektbeispiele, die neben den ökologisch-technischen Vorteilen auch das große ästhetische Potenzial solaraktiver Bauteile aufzeigen.

Mit der Anwendung allgemeiner Prinzipien ästhetischer Architekturgestaltung auf die Gestaltung von BIPV hat diese Arbeit sich einem noch wenig erforschten Gegenstand zugewandt. In Bezug auf die architektonische Integration dieser Zukunftstechnologie konnte sie einen Beitrag zu einer Systematisierung von spezifischen Gestaltungskriterien leisten. Wie für die Architektur allgemeingültige Kriterien ausgemacht werden konnten, bei deren Berücksichtigung hohe Qualität entsteht, konnte systematisch ein Nachweis der Anwendbarkeit dieser Gestaltungskriterien auf die BIPV geführt werden. Diese konnten in einem Katalog als Orientierungs-, Planungs- und Kommunikationswerkzeug erarbeitet werden. Dabei kann immer ein Interpretationsspielraum bleiben zwischen unterschiedlichen Menschen hinsichtlich der Relevanz oder Erfüllung einzelner Kriterien an spezifischen BIPV-Projekten. Im Mittelpunkt aber steht die Konsensfähigkeit einer Architektur, die die fraglichen Kriterien befolgt, auch wenn die dadurch ermöglichte Steigerung des Anwendungspotenzials von gut gestalteten und breit akzeptierten BIPV-Projekten letztlich nur durch die Realisierung solcher Projekte selbst nach diesen Kriterien belegt werden kann.

Auch die Annahme, ästhetisch ansprechende PV-Integration ginge zwangsläufig mit deutlichen Kompromissen im Bereich technischer und funktionaler Effizienz einher, ließ sich nicht bestätigen. Die meisten Kriterien stehen in guter Wechselbeziehung zu Funktion und Technik. Zahlreichen Funktionskombinationen und technischen Synergien stehen nur wenige konkurrierende Funktionen als Herausforderungen gegenüber, für die sich insbesondere an den „best practice“-Beispielen wiederkehrende gestalterische Lösungsstrategien ablesen lassen.

Vor dem Hintergrund der in der vorliegenden Untersuchung erarbeiteten und zusammengetragenen Ergebnisse könnten ergänzende Studien z. B. zu gestalterischen Vorbehalten gegenüber der BIPV, der Relevanz wirtschaftlicher Aspekte oder dem Einfluss gesetzlicher Regulierungen wie der EU-Gebäuderichtlinie zur zukünftigen Entwicklung des Forschungsfeldes beitragen. Weiteres Potential läge auch in der Durchführung einer noch größeren Projektstudie, um bisherige Erkenntnisse zu detaillieren. Das Vorliegen weiterer Wettbewerbsergebnisse könnte es darüber hinaus erlauben, Kriterien für gelungene PV-Integration im Wandel der Jahre zu beobachten, also generell im Abstand einiger Jahre die Frage nach allgemeingültigen BIPV-Kriterien neu zu diskutieren. Dafür dass ein solcher Diskussionsbedarf bestehen wird, spricht schon die gegenwärtige Energiekrise, die eine steigende Akzeptanz erneuerbarer Energien auch unter Skeptikern erwarten lässt.

Gleichzeitig hat sich aber auch gezeigt, dass es noch weitere, spezifische Produkte geben muss. Zusätzlich zu der Fortführung des Trends günstigerer Herstellungskosten bei gleichzeitiger Steigerung der Effizienz sind dies insbesondere Module, die in flexiblen Maßen auch in

kleineren Stückzahlen verfügbar sind. Auch die Entwicklung weiterer Lösungen für matte Oberflächen und helle Farben mit möglichst geringen Effizienzverlusten verbessert die Integrationsfähigkeit photovoltaischer Bauteile insbesondere in opaken Fassadenbereichen. Großes Potenzial besteht auch im Bereich von Sonderteilen für Anbauelemente wie Brüstungen, Technik-Verkleidungen oder auch Lärm- und Sichtschutz sowie Sonnenschutz-Elemente.

Grundsätzlich darf davon ausgegangen werden, dass derzeitige Entwicklungen, wie der Klimawandel oder die Bestrebungen, unabhängiger von Energieimporten zu werden, die Verbreitung von PV-Bauteilen in der Gebäudehülle weiter fördern werden. Die Entwicklung der vormals blau-schillernden, polykristallinen Zellen am Gebäude zeigt dabei deutliche Tendenzen zu derzeit vielen „best practice“-Beispielen mit einem ausbalancierten Gestaltprägungsgrad durch die PV. In Zukunft könnte dieser Trend, ermöglicht z. B. durch glasklare Zellen, noch stärker in Richtung absoluter Unauffälligkeit gehen (vgl. Abb. 154, oben links). Doch auch die bewusst auffällige Inszenierung (weiterer) technischer Innovation und ökologischer Nachhaltigkeit wird eine wichtige Rolle spielen, insbesondere für institutionelle und gewerbliche Bauherr/innen, die diese werbewirksam mit den eigenen (Unternehmens-)Inhalten verknüpfen und so weithin sichtbar machen können (vgl. Abb. 154, rechts). In diesem Zusammenhang bieten auch Ansätze der Kombination von BIPV mit beleuchteten Gebäudeoberflächen und Medien-Fassaden durch die unmittelbare Verknüpfung von Energieerzeugung und -verbrauch erhebliches Potenzial der Dynamisierung und digitalen Inszenierung von Gebäudefassaden (vgl. Abb. 154, unten links).



Abb. 154: Die Zukunft der BIPV: von völliger Unsichtbarkeit wie Salzmolekül-Zellen es ermöglichen könnten (o. I.: Goriber Tech), über die Demonstration neuester OPV-Zelltechnik am Science Tower, Graz (rechts: Markus Pernthaler Architekten) bis hin zur Inszenierung digitaler Dynamik am Novartis Konferenzzentrum in Basel (u. I.: Semiconductor/Laurits Jensen)

Dabei kann es auch Konkurrenzen in der Gebäudehülle zu anderen Nachhaltigkeitsthemen und nachhaltigen Techniken geben, wie z. B. der passiven Solarenergienutzung, der Integration von Solarthermie oder der Begrünung von Fassaden. Gemeinsam ist aber allen Ansätzen, dass der Nutzung regenerativer Energien und insbesondere der BIPV-Technik zu breiterer Anwendung und Akzeptanz verholfen werden kann, indem auch gestalterischen Vorbehalten begegnet wird, sodass weitere Beispiele nachhaltiger und gelungener Architektur entstehen.

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abb. 1: Der Weg der Solarzelle: von der Entdeckung des photovoltaischen Effekts vor über 180 Jahren über Weltraumanwendungen bis in die Gebäudehülle .....  | 7  |
| <a href="http://edu.itp.phys.ethz.ch/fs11/solar/Skript.pdf">edu.itp.phys.ethz.ch/fs11/solar/Skript.pdf</a> [23.02.2020];<br><a href="http://www.si.edu/object/first-solar-PV-cells:nmah_625">www.si.edu/object/first-solar-PV-cells:nmah_625</a> [23.02.2020];<br><a href="http://www1.wdr.de/stichtag/stichtag-viking-eins-mars-100.html">www1.wdr.de/stichtag/stichtag-viking-eins-mars-100.html</a> [23.02.2020]; SeV 2019, S. 5;<br><a href="http://www.solarchoice.net.au/blog/bipv-building-integrated-photovoltaics-the-future-of-pv">www.solarchoice.net.au/blog/bipv-building-integrated-photovoltaics-the-future-of-pv</a> [24.02.2020];<br><a href="http://www.baunetzwissen.de/glas/objekte/bildung/akademie-mont-cenis-in-herne-71486">www.baunetzwissen.de/glas/objekte/bildung/akademie-mont-cenis-in-herne-71486</a> [24.02.2020];<br><a href="http://www.du-diederichs.de/referenzen/referenz/westfaelisches-museum-fuer-archaeologie-herne">www.du-diederichs.de/referenzen/referenz/westfaelisches-museum-fuer-archaeologie-herne</a><br>[30.04.2020]; <a href="http://www.michaelgloff.ch/2747680/umweltarena">www.michaelgloff.ch/2747680/umweltarena</a> [30.04.2020];<br><a href="http://reneschmid.ch/projekte/detail/erstes-energieautarkes-mehrfamilienhaus-bruetten">reneschmid.ch/projekte/detail/erstes-energieautarkes-mehrfamilienhaus-bruetten</a> [30.04.2020];<br><a href="http://archello.com/story/31730/attachments/photos-videos/4">archello.com/story/31730/attachments/photos-videos/4</a> [30.04.2020] |    |
| Abb. 2: Entwicklung des PV-Strom-Anteils am Brutto-Stromverbrauch in Deutschland.....   | 8  |
| Fraunhofer ISE 2022, S. 6   |    |
| Abb. 3: Bewertungsraaster des Technologieberichts für die Akzeptanz von Photovoltaik .....  | 12 |
| Philipps et al. 2017, S. 43   |    |
| Abb. 4: Derzeitige Energieherstellung weltweit .....  | 15 |
| REN21 2021, S. 28   |    |
| Abb. 5: Anteile der erneuerbaren Energien in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr .....  | 15 |
| UBA 2022  |    |
| Abb. 6: Aufbau des Auges (Querschnitt) als Ausgangspunkt für die Formulierung<br>wahrnehmungsphysiologischer Prinzipien .....   | 30 |
| Breedlove/Watson 2016, S. 176   |    |
| Abb. 7: Elektromagnetisches Strahlungsspektrum und für den Menschen sichtbares Farbspektrum..   | 31 |
| <a href="http://www.benq.eu/de-de/knowledge-center/visible-spectrum.html">www.benq.eu/de-de/knowledge-center/visible-spectrum.html</a> [05.07.2020]   |    |
| Abb. 8: Unterschiedlich große Bereiche der Wahrnehmung (Gesichtsfelder) bei Ruhe- und Tastbild.   | 33 |
| Neufert/Kister 2012, S. 48  |    |
| Abb. 9: Die wesentlichen Faktoren der optischen Zusammenhangsbildung nach den wichtigsten<br>Gestaltgesetzen.....   | 34 |
| Metzger 2000, S. 20, 33, 30, 134; Meiss 1994, S. 39; Wagner 2015, S. 50   |    |
| Abb. 10: Farbkonstanz: Reduktion der Vielzahl eingehender Farbreize zu einer einzelnen<br>Gesamtinformation über die Farbe eines Gebäudes .....   | 35 |
| Grütter 2015, S. 321  |    |
| Abb. 11: Bekannte Figur-Grund-Beispiele: Kippfigur nach Metzger und Ausschnitt aus „Himmel und<br>Wasser“ von M. C. Escher .....  | 36 |
| Metzger 2000, S. 3; <a href="http://www.wikiart.org/de/m-c-escher/sky-and-water">www.wikiart.org/de/m-c-escher/sky-and-water</a> [12.09.2020]   |    |
| Abb. 12: Das Gesetz der Erfahrung: Formen werden als Figuren erkannt, auch wenn diese streng<br>genommen nicht da sind .....  | 37 |
| Bühler et al. 2017, S. 30; <a href="http://www.welt.de/reise/staedtereisen/article169545381/New-Yorks-Airport-JFK-Das-spektakulaere-TWA-Terminal-wird-zum-Luxushotel.html">www.welt.de/reise/staedtereisen/article169545381/New-Yorks-Airport-JFK-Das-spektakulaere-TWA-Terminal-wird-zum-Luxushotel.html</a> [12.09.2020]  |    |
| Abb. 13: Die fünf regelmäßigen Körper, von Platon zu den Elementen Feuer, Luft, Erde und Wasser<br>sowie zum Universum in Beziehung gesetzt, dargestellt in Johannes Keplers „Mysterium<br>cosmographicum" .....  | 40 |
| <a href="http://www.matheseminar.jku.at/2017/AgnesYS.pdf">www.matheseminar.jku.at/2017/AgnesYS.pdf</a> [12.09.2020]   |    |
| Abb. 14: Drei Ziele der Architektur nach Vitruv und die drei Hauptkriterien für architektonische<br>Schönheit .....   | 41 |
| Germann 1987, S. 29   |    |
| Abb. 15: Intensive Lichtstimmungen erzeugt von den großen Buntglasfenster am Kölner Dom.....  | 44 |
| <a href="http://www.fotocommunity.de/photo/fenster-im-koelner-dom-wilfried-kuhn/19326765">www.fotocommunity.de/photo/fenster-im-koelner-dom-wilfried-kuhn/19326765</a> [17.03.2021]   |    |
| Abb. 16: Pilasterrelief an Albertis Palazzo Rucellai in Florenz.....  | 46 |
| eigene Aufnahme   |    |



|   |    |
|---|----|
| Abb. 17: Beispielhafte Darstellungen von Palladios Proportionssystem mit genauen Größenverhältnissen für die Säulenordnungen und die volumetrischen Arrangements von Raumformen ..... 48<br>Palladio 1993, S. 51, 59, 69; Palladio 1993, S. 133   | 48 |
| Abb. 18: Vermessung des Pantheons zur Veranschaulichung der Vorbildhaftigkeit antiker Proportionen ..... 50<br>Blondel 1698, S. 750, 752  | 50 |
| Abb. 19: Der Kenotaph, geplant als Grabmal für Isaac Newton: Höhepunkt und Sinnbild der „architecture parlante“ und der utopischen Revolutionsarchitektur ..... 54<br><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Revolutionsarchitektur#/media/Datei:%C3%89tienne-Louis_Boull%C3%A9e_Memorial_Newton_Night.jpg">de.wikipedia.org/wiki/Revolutionsarchitektur#/media/Datei:%C3%89tienne-Louis_Boull%C3%A9e_Memorial_Newton_Night.jpg</a> [12.05.2021]  | 54 |
| Abb. 20: Materialcharakteristische Verwendung von Backstein an der Friedrichswerderschen Kirche und der Bauakademie in Berlin ..... 56<br><a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Friedrichswerdersche_Kirche-Freydanck.JPG">commons.wikimedia.org/wiki/File:Friedrichswerdersche_Kirche-Freydanck.JPG</a> [12.05.2021];<br><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Bauakademie_(Einrichtung)#/media/Datei:Bauakademie_Schinkel_(Eduard_Gaertner).jpg">de.wikipedia.org/wiki/Bauakademie_(Einrichtung)#/media/Datei:Bauakademie_Schinkel_(Eduard_Gaertner).jpg</a> [12.05.2021]   | 56 |
| Abb. 21: Fechners Untersuchung zum „schönsten Rechteck“ ..... 61<br>Naredi-Rainer 1989, S. 193  | 61 |
| Abb. 22: Robie House in Chicago ..... 63<br>Grütter 2015, S. 197  | 63 |
| Abb. 23: Geschäftshaus für die Schneiderei Goldman & Salatsch in Wien ..... 64<br><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Looshaus#/media/Datei:Looshaus_Michaelerplatz.JPG">de.wikipedia.org/wiki/Looshaus#/media/Datei:Looshaus_Michaelerplatz.JPG</a> [12.05.2021]  | 64 |
| Abb. 24: Fassade in der Waldsiedlung Berlin Zehlendorf ..... 65<br><a href="http://www.anja-steinmann.de/portfolio-item/waldsiedlung-onkel-toms-huette">www.anja-steinmann.de/portfolio-item/waldsiedlung-onkel-toms-huette</a> [29.06.2021]  | 65 |
| Abb. 25: Die Torre Velasca in Mailand als eines der ersten Beispiele für eine moderne Bezugnahme auf die historische Tradition einer Stadt ..... 70<br><a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Torre_Velasca_01.jpg">de.wikipedia.org/wiki/Datei:Torre_Velasca_01.jpg</a> [29.06.2021]   | 70 |
| Abb. 26: Vanna Venturi House in Philadelphia ..... 75<br><a href="http://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen_Robert_Venturi_zum_80._Geburtstag.html">www.baunetz.de/meldungen/Meldungen_Robert_Venturi_zum_80._Geburtstag.html</a> [12.07.2021]  | 75 |
| Abb. 27: Dachaufbau der Falkestraße 6 in Wien ..... 77<br><a href="http://www.coop-himmelblau.at/projects/falkestrasse">www.coop-himmelblau.at/projects/falkestrasse</a> [12.07.2021]   | 77 |
| Abb. 28: Architekturikonen des Jahrtausendwechsels: Guggenheim-Museum Bilbao, Seattle Central Library, MAXXI - Museo nazionale delle arti del XXI secolo, Rom, Nationalstadion Peking ..... 79<br><a href="http://www.guggenheim.org/about-us">www.guggenheim.org/about-us</a> [23.04.2021];<br><a href="http://db-bauzeitung.de/allgemein/kunst-kleid-und-kommerz/#slider-intro-5">db-bauzeitung.de/allgemein/kunst-kleid-und-kommerz/#slider-intro-5</a> [23.04.2021];<br><a href="http://www.gettyimages.de/detail/nachrichtenfoto/maxxi-museum-a-foundation-established-by-the-ministry-nachrichtenfoto/529268328">www.gettyimages.de/detail/nachrichtenfoto/maxxi-museum-a-foundation-established-by-the-ministry-nachrichtenfoto/529268328</a> [23.04.2021];<br><a href="http://www.bestourism.com/img/items/big/1077/The-Beijing-National-Stadium_-Bird-Nest-_5467.jpg">www.bestourism.com/img/items/big/1077/The-Beijing-National-Stadium_-Bird-Nest-_5467.jpg</a> [23.04.2021] | 79 |
| Abb. 29: Materialien und Muster als architektonisch wirksame Elemente: Museum Brandhorst, München, Ravensbourne College, London, Museu de Ciències Naturals de Barcelona, Bibliothek der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde ..... 81<br><a href="http://www.sauerbruchhutton.de/de/project/sab">www.sauerbruchhutton.de/de/project/sab</a> [29.04.2021];<br><a href="http://www.e-architect.com/london/ravensbourne-college">www.e-architect.com/london/ravensbourne-college</a> [29.04.2021];<br><a href="http://www.archdaily.com/879651/herzog-and-de-meurons-forum-building-nil-a-photographers-perspective">www.archdaily.com/879651/herzog-and-de-meurons-forum-building-nil-a-photographers-perspective</a> [29.04.2021];<br><a href="http://www.afasiaarchzine.com/2013/07/herzog-de-meuron-20">www.afasiaarchzine.com/2013/07/herzog-de-meuron-20</a> [29.04.2021]  | 81 |
| Abb. 30: Sensualistische Entwürfe, entstanden aus Materialien und Situationen vor Ort: Bruder Klaus Feldkapelle, Mechnich, Writing With Light House, Long Island, Neues Museum, Berlin, CaixaForum Barcelona ..... 83<br><a href="http://www.zumthor.org/project/bruderklaus">www.zumthor.org/project/bruderklaus</a> [11.05.2021];<br><a href="http://www.stevenholl.com/project/writing-with-light-house">www.stevenholl.com/project/writing-with-light-house</a> [11.05.2021];<br><a href="http://www.julianharraparchitects.co.uk/projects/neues-museum">www.julianharraparchitects.co.uk/projects/neues-museum</a> [11.05.2021];<br><a href="http://www.db-bauzeitung.de/architektur/kulturbauten/madrid-caixaforum">www.db-bauzeitung.de/architektur/kulturbauten/madrid-caixaforum</a> [11.05.2021]  | 83 |

- Abb. 31: Beispiele für Entwürfe auf Grundlage ökologischer Konzepte: California Academy of Sciences, San Francisco, Walisisches Parlament, Cardiff..... 84  
[en.wikipedia.org/wiki/California\\_Academy\\_of\\_Sciences#/media/File:California-06239\\_-\\_California\\_Academy\\_of\\_Sciences\\_\(20449900470\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/California_Academy_of_Sciences#/media/File:California-06239_-_California_Academy_of_Sciences_(20449900470).jpg) [14.05.2021];  
[www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano](http://www.archdaily.com/6810/california-academy-of-sciences-renzo-piano) [14.05.2021];  
[www.rsh-p.com/projects/civic/senedd-cymru-welsh-parliament](http://www.rsh-p.com/projects/civic/senedd-cymru-welsh-parliament) [14.05.2021]
- Abb. 32: Beispiele supermoderner Architektur: City of Culture, Santiago de Compostela, Casa da Música, Porto, Simmons Hall, Cambridge, McCormick Tribune Campus Center, Chicago ..... 86  
[archello.com/nl/project/cidade-da-cultura-de-galicia-city-of-culture-of-galicia](http://archello.com/nl/project/cidade-da-cultura-de-galicia-city-of-culture-of-galicia) [05.05.2021];  
[architecturaldesignschool.com/casa-da-musica-oma-27835](http://architecturaldesignschool.com/casa-da-musica-oma-27835) [05.05.2021];  
[de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Simmons\\_Hall,\\_MIT,\\_Cambridge,\\_Massachusetts.JPG](https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Simmons_Hall,_MIT,_Cambridge,_Massachusetts.JPG) [05.05.2021];  
[holabird.com/work/detail/iit-campus-center/living](http://holabird.com/work/detail/iit-campus-center/living) [05.05.2021]
- Abb. 33: Parametrische Architektur entstanden auf der Grundlage von CAD- und 3D-Modelling-Programmen: Mercedes-Benz Museum, Stuttgart, Zaragoza Bridge ..... 87  
[www.wernersobek.com/de/projekte/mercedes-benz-museum](http://www.wernersobek.com/de/projekte/mercedes-benz-museum) [09.06.2021];  
[www.architonic.com/de/project/zaha-hadid-architects-zaragoza-bridge/5100245](http://www.architonic.com/de/project/zaha-hadid-architects-zaragoza-bridge/5100245) [09.06.2021]
- Abb. 34: Die drei Ebenen der ästhetischen Werte nach Peter F. Smith ..... 90  
 Grütter 2015, S. 252
- Abb. 35: Arithmetische Proportionen am Athenatempel in Paestum 510 v. Chr., ausgehend von der Grundeinheit eines dorisch-pheidonischen Fußes (32,8 cm) ..... 92  
[omeka.webspace.tu-dresden.de/omeka-2.6/exhibits/show/dresdeninneapel/item/574](http://omeka.webspace.tu-dresden.de/omeka-2.6/exhibits/show/dresdeninneapel/item/574) [21.04.2021];  
 Naredi-Rainer 1989, S. 153
- Abb. 36: Proportionsverhältnisse nach dem Goldenen Schnitt: geometrisch konstruiert und an Gebäuden, wie z. B. dem Parthenon in Athen 447-432 v. Chr. .... 93  
[www.ime.gr/CHRONOS/05/en/culture/1121acrop\\_parth.html](http://www.ime.gr/CHRONOS/05/en/culture/1121acrop_parth.html) [21.04.2021];  
 Naredi-Rainer, S. 153; Ching 1991, S. 284
- Abb. 37: Die Fibonacci-Folge: harmonische Proportionsverhältnisse sowohl bei Flächenbezügen als auch bei Raumabfolgen ..... 94  
 Ching 1996, S. 110
- Abb. 38: Die Fassade der Unité d'Habitation in Marseille zeigt vielfältige Gliederungsmöglichkeiten auf der Grundlage des Modulors ..... 95  
 Ching 1991, S. 299, 300; [en.wikiarquitectura.com/building/unite-dhabitation-of-marseille/unite-dhabitation-marseille-le-corbusier-wikiarquitectura\\_004-2](http://en.wikiarquitectura.com/building/unite-dhabitation-of-marseille/unite-dhabitation-marseille-le-corbusier-wikiarquitectura_004-2) [21.04.2021]
- Abb. 39: Die Villa Katsura: Beispiel für ein nach dem Ken strukturiertes Gebäude ..... 96  
[de.wikipedia.org/wiki/Katsura-Villa#/media/Datei:Katsura-1999-1.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Katsura-Villa#/media/Datei:Katsura-1999-1.jpg) [21.02.2021];  
 Ching 1991, S. 304
- Abb. 40: Entwicklung des Grundrisses anhand geometrischer Ordnungslinien: Ozenfant Studio ..... 96  
 Jormakka/Schürer/Kuhlmann 2016, S. 31
- Abb. 41: Möglichkeiten proportionaler Gliederung, verdeutlicht anhand eines Kubus auf den Ebenen (1) Baukörper, (2) Flächen, (3, 4) Öffnungen, (5) Raster ..... 98  
 Herrmann et al. 2015, S. 24-25
- Abb. 42: Die Maßstäblichkeit der Fläche erschließt sich aus dem Vergleich mit Objekten bekannter Größe ..... 101  
 Ching 1991, S. 86
- Abb. 43: Unterschiedlich große Fassadenelemente, wie z. B. Fenster, die eine unterschiedliche Maßstäblichkeit an der Fassade erzeugen ..... 103  
 Neufert/Kister 2012, S. 47
- Abb. 44: Der Kanzlerbungalow in Bonn als Beispiel zurückhaltender Maßstäblichkeit ..... 104  
[www.br.de/nachricht/bauhaus-ruf100.html](http://www.br.de/nachricht/bauhaus-ruf100.html) [22.04.2021]
- Abb. 45: Völlige Maßstabslosigkeit der „großen Volkshalle“ der Germania-Planungen im Vergleich zum Reichstagsgebäude ..... 104  
[deu.archinform.net/projekte/4486.htm](http://deu.archinform.net/projekte/4486.htm) [22.04.2021]
- Abb. 46: Die sechs wichtigsten Harmonien analoger und komplementärer Farbklänge ..... 107  
[de.wikipedia.org/wiki/Datei:Farbschemata.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Farbschemata.jpg) [27.04.2021]

|  |     |
|--|-----|
| Abb. 47: Sensuell-haptische Assoziationen, übertragen in ein Farbsystem für Farbhelligkeit, Farbtemperatur und -sättigung.....   | 108 |
| Buether 2014, S. 46  |     |
| Abb. 48: Santa Caterina in Barcelona (2005): farblich-anekdotisch Verstärkung des Ortes durch Übersetzung von Fotos des Marktes in eine 67-farbige Pixelstruktur.....  | 109 |
| Buether 2014, S. 48  |     |
| Abb. 49: Das Farbgewicht und seine Auswirkung auf das empfundene Gewicht von Bauteilen (hier dem jeweiligen Dach der Gebäude).....   | 109 |
| Grütter 2015, S. 328   |     |
| Abb. 50: Impulsivkräfte von Farben und deren Einwirkungen auf das Nervensystem des Menschen.....   | 110 |
| Neufert/Kister 2012, S. 49   |     |
| Abb. 51: Verschiedene Konstruktionen entwickelt aus der individuellen Logik und den spezifischen Eigenschaften des verwendeten Materials .....   | 113 |
| Bielefeld/El Khouli 2011, S. 64  |     |
| Abb. 52: Unterschiedliche Beurteilung von Sichtbeton durch Laien und Expert/innen.....   | 115 |
| Abel/Rudolf 2018, S. 156   |     |
| Abb. 53: Projekte von Francis Kéré: die Gestalt von Gebäuden entsteht nach klimatischen Parametern, aus verfügbaren Baustoffen und Fähigkeiten .....   | 119 |
| Lepik 2016, S. 36, 183   |     |
| Abb. 54: Das Carré d'Arts in Nîmes: Anknüpfung an historische Gebäude der Umgebung durch Formensprache und Materialität.....   | 120 |
| Buchert/Kienbaum 2013, S. 56-57  |     |
| Abb. 55: Die verschiedenen Bedeutungsebenen eines Zeichens am Beispiel der Kreisform .....   | 124 |
| Grütter 2015, S. 336   |     |
| Abb. 56: Das Bergeron Center for Engineering Excellence in Toronto mit ornamental gegliederter Fassade .....   | 124 |
| <a href="http://urbantoronto.ca/news/2017/05/photo-day-bergeron-centre-engineering-excellence">urbantoronto.ca/news/2017/05/photo-day-bergeron-centre-engineering-excellence</a> [06.05.2021]; <a href="http://lassonde.yorku.ca/academics/departments">lassonde.yorku.ca/academics/departments</a> [06.05.2021]   |     |
| Abb. 57: Das Gestaltungskonzept des IIT McCormick Tribune Campus Center, beruhend auf der symbolischen Bedeutung von Piktogrammen .....  | 127 |
| <a href="http://2x4.org/work/iit-mccormick-tribune-campus-center">2x4.org/work/iit-mccormick-tribune-campus-center</a> [17.11.2021]  |     |
| Abb. 58: Die Fassade als Bildträger alltäglicher Szenen aus dem Leben der Menschen: Majolikafries am „Ospedale del Ceppo“ in Pistoia, Italien .....  | 128 |
| Herzog et al. 2016, S. 10  |     |
| Abb. 59: Peter Behrens' „Corporate Identity“ für die AEG 1907-1914 .....   | 129 |
| <a href="http://gco-agentur.de/corporate-design-beispiele">gco-agentur.de/corporate-design-beispiele</a> [22.11.2020]; Buddensieg/Rogge 1979, Titelbild; <a href="http://www.siemens.com/de/de/unternehmen/konzern/geschichte/stories/turbinenhalle.html">www.siemens.com/de/de/unternehmen/konzern/geschichte/stories/turbinenhalle.html</a> [22.11.2020] |     |
| Abb. 60: Übersicht über spezifische Anforderungen bei der Integration von BIPV-Bauteilen in die Gebäudehülle .....   | 133 |
| eigene Darstellung   |     |
| Abb. 61: Einfluss des AM-Faktors auf Strahlungsleistung und -spektrum der Sonne und Globalstrahlungskarte der jährlichen Sonneneinstrahlung auf horizontale Flächen in Deutschland ..  | 134 |
| Weller et al. 2009, S. 12  |     |
| Abb. 62: Jahreszeitlicher Sonnenverlauf bei 50° nördlicher Breite (a: 21. Juni/Sommersonnenwende; b: 21. März/21. September/Tagundnachtgleiche; c: 21. Dezember/Wintersonnenwende) und Einfluss der Ausrichtung auf die jährliche Einstrahlungsmenge für Mitteleuropa .....  | 136 |
| Weller et al. 2009, S. 13; Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 20  |     |
| Abb. 63: Verschattungssituationen infolge ungünstiger Planung.....   | 137 |
| Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 21   |     |
| Abb. 64: Typologie und optische Merkmale der Solarzellen-Generationen .....  | 138 |
| Krippner 2016, S. 31   |     |
| Abb. 65: Übersicht der höchsten bestätigten Wirkungsgrade von Forschungszellen verschiedener Photovoltaik-Technologien von 1976 bis 2022 .....   | 139 |
| NREL 2022  |     |

|  |     |
|--|-----|
| Abb. 66: Einschätzbarkeit der temperaturbedingten Leistungsminderung mithilfe des Temperaturkoeffizienten unterschiedlicher Zelltypen und der Minderung in Abhängigkeit vom Grad der Hinterlüftung .....   | 141 |
| Lenz/Schreiber/Stark 2010, S. 75; Krippner 2016, S. 38   |     |
| Abb. 67: Für PV-Integration geeignete Flächen der Gebäudehülle .....   | 143 |
| Stark/WMBW (Hg.) 2008, S. 18-19  |     |
| Abb. 68: Unterschiedliche Tiefen der konstruktiven Einbindung von PV in die Gebäudehülle .....   | 144 |
| eigene Zusammenstellung mit Abbildungen aus Weller et al. 2009, S. 37-100  |     |
| Abb. 69: Halle Pajol, Paris: Eine vorhandene Stahlkonstruktion, belegt mit PV, dient als Witterungsschutz und Energiedach für ein Quartier aus Holzbauten .....  | 146 |
| www.groupe-legendre.com/realisation/halle-pajol [21.10.2021]   |     |
| Abb. 70: Fassadenintegrierte PV-Module mit Isolierglasaufbau der Turnhalle Burgweinting in Regensburg bieten u. a. Wärmeschutz .....   | 147 |
| www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-21186-Teil%202.pdf [23.10.2021];<br>www.baunetzwissen.de/sonnenschutz/objekte/freizeit---sport/turnhalle-burgweinting-in-regensburg-72938 [23.10.2021]   |     |
| Abb. 71: PV-Anlagen bieten Schallschutz z. B. am Bahnhof Münsingen (CH) und als Structural-Sealant-Glazing-Fassade am Solarzentrum in Freiburg .....   | 147 |
| www.tnc.ch/photovoltaik/#pv-schallschutz [25.10.2021];<br>www.hoelken-berghoff.de/galerie#&gid=1710956311 [26.10.2021]   |     |
| Abb. 72: BIPV in Form von vorgestellten, beweglichen PV-Lamellen am Energy Campus der Firma Stiebel Eltron in Holzminden .....   | 149 |
| www.constantin-meyer.de/project/architekturfotografie-stiebel-eltron [28.10.2021]  |     |
| Abb. 73: PV-Module bieten Sichtschutz in Brüstungselementen an einem Einfamilienhaus in Passail und in Fenstern am Mehrfamilienhaus Solaris in Zürich .....  | 149 |
| www.kupa.at/projekte/kuehn-gelandet [17.05.2021];<br>www.espazium.ch/de/aktuelles/seismograf-des-himmels [28.10.2021]  |     |
| Abb. 74: Abschätzung der Energierücklaufzeiten dach- und fassadenintegrierter PV-Anlagen in Mitteleuropa .....   | 152 |
| Krippner 2016, S. 101  |     |
| Abb. 75: Beispiele einer BIPV-Gestaltung nach Unternehmens-Cl: Omicron Stammsitz in Klaus, PV-Pylon am Porsche Zentrum Berlin-Adlershof, Q-Cells-Standort in Thalheim, Trafostation mit organischen PV-Zellen am Merck-Standort in Darmstadt .....   | 153 |
| www.omicronenergy.com/en/news/details/omicron-waechst-in-zukunftsmarkten [10.11.2021];<br>eigene Aufnahme; www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/top-ten-die-groessten-solarhersteller-der-welt/4290706.html [10.11.2021];<br>www.taiyo-europe.com/de/innovation-und-technologie/forschung-entwicklung [10.11.2021] |     |
| Abb. 76: Beispiele für Farbeffekte auf kristallinen Siliziumzellen, die durch unterschiedliche Dicken der Antireflexbeschichtung erzeugt werden .....  | 154 |
| www.lofsolar.com.tw/LOFSOLAR_ADVANTAGE/Color-Cell.htm [25.20.2021]   |     |
| Abb. 77: Die farbliche Erscheinung von Solarmodulen, an unterschiedlichen Positionen im Modul beeinflusst: auf Hintergrundgläsern am Firmengebäude der WetterOnline GmbH in Bonn und an der Rückseite von Deckgläsern am Mehrfamilienhaus Hofwiesen-/Rothstraße in Zürich .....  | 155 |
| www.sunovation.de/de/produkte/eFORM_color [05.11.2021]; eigene Aufnahmen   |     |
| Abb. 78: Mit mehrfarbigen Mustern und Motiven bedruckte PV-Module .....  | 156 |
| www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/ueber-uns/organisation/kompetenzzentren-und-forschungsgruppen/bau/kompetenzzentrum-gebäudehülle-und-ingenieurbau/gebäudehülle/gebäudeintegrierte-photovoltaik [23.11.2021]   |     |
| Abb. 79: Weiße Module an einem Gebäude in Quzhou im Osten Chinas .....   | 157 |
| www.solaxess.ch/de/erfolge [15.01.2022]; www.solarwende-berlin.de/blog/innovation/farbige-solarmodule-abschied-vom-blauschwarz-alle-farben-moeglich [15.01.2022]   |     |
| Abb. 80: Farbige Module mit an der EPFL entwickelten Farbfiltern für Solargläser am Hauptsitz von Doma Solartechnik in Satteins (AT) .....   | 157 |
| electrek.co/2017/10/30/solar-panel-bling-custom-coloring-at-an-affordable-price-meeting-modern-efficiency-expectations [22.02.2022]; www.swissinso.com/doma [22.01.2022]   |     |

|   |     |
|---|-----|
| Abb. 81: Unterschiedliche Zell- und Modulformen .....<br>Weller et al. 2009, S. 42, 44, eigene Zusammenstellung und Bearbeitung   | 158 |
| Abb. 82: Solaraktive Dachziegel und Schindeln verfügbar in unterschiedlichsten Formen von<br>verschiedenen Herstellern.....<br><a href="http://www.autarq.com/de-de">www.autarq.com/de-de</a> [16.02.2022]; <a href="http://www.nelskamp.de/de/energiedaecher/solarziegel-planum-pv.html">www.nelskamp.de/de/energiedaecher/solarziegel-planum-pv.html</a> [16.02.2022]; <a href="http://www.sunstyle.com/de/solarziegel-wohnhaus/#installation">www.sunstyle.com/de/solarziegel-wohnhaus/#installation</a> [16.02.2022];<br><a href="http://www.3s-solar.swiss/3s-solardach#flair">www.3s-solar.swiss/3s-solardach#flair</a> [16.02.2022]  | 159 |
| Abb. 83: Unterschiedliche Modul-Belegungsichten imitieren ein Blätterdach am Giraffenhaus im<br>Tiergarten Schönbrunn in Wien.....<br><a href="http://www.altbauneu.at/objekte-wien/giraffenhaus-sch%C3%A4tzel">www.altbauneu.at/objekte-wien/giraffenhaus-sch%C3%A4tzel</a> [24.01.2022]   | 160 |
| Abb. 84: Teiltransparenzen durch perforierte Zellen an kristallinen Zellen sowie Dünnschichtzellen<br>Weller et al. 2009, S. 46; Schwarzbürger 2021, S. 69  | 161 |
| Abb. 85: Beispiele selbst transluzenter Zellen: Grätzel-Zellen und Salzmolekül-Zellen.....<br><a href="http://msutoday.msu.edu/news/2017/transparent-solar-technology-represents-wave-of-the-future">msutoday.msu.edu/news/2017/transparent-solar-technology-represents-wave-of-the-future</a><br>[24.01.2022]  | 161 |
| Abb. 86: Durch Sandstrahlen der Deckgläser matt erscheinende Dünnschichtmodule an der Fassade<br>eines Mehrfamilienhauses in Brütten .....<br>Weller et al. 2009, S. 43; <a href="http://www.umweltarena.ch/ueber-uns/architektur-und-bauprojekte/#energieautarkes_mehrfamilienhaus">www.umweltarena.ch/ueber-uns/architektur-und-bauprojekte/#energieautarkes_mehrfamilienhaus</a> [24.04.2022]  | 162 |
| Abb. 87: Gebrochen-spiegelnde Solarmodule mit prismenförmige Rillen-Deckgläsern am Mehr-<br>familienhaus Solaris in Zürich .....<br>Weller et al. 2009, S. 43; <a href="http://www.swiss-architects.com/de/architecture-news/bau-der-woche/beitrag-zur-aktuellen-klimadebatte">www.swiss-architects.com/de/architecture-news/bau-der-woche/beitrag-zur-aktuellen-klimadebatte</a> [24.05.2022]  | 163 |
| Abb. 88: Zusammenhang zwischen Modul-Wirkungsgrad und Flächenbedarf unterschiedlicher<br>Zelltechnologien .....<br>Krippner 2016, S. 38; Weller et al. 2009, S. 22  | 165 |
| Abb. 89: Beispiele gelungener Anschlussdetails im Dachbereich .....<br><a href="http://www.solrif.com">www.solrif.com</a> [26.01.2022]; <a href="http://www.3s-solar.swiss/bildergalerie">www.3s-solar.swiss/bildergalerie</a> [08.04.2021];<br><a href="http://www.solrif.com/anschluesse">www.solrif.com/anschluesse</a> [26.01.2022]   | 166 |
| Abb. 90: Beispiele gelungener Anschlussdetails im Bereich der Fassade .....<br><a href="http://www.baunetzwissen.de/solar/fachwissen/pv-am-gebäude/fassadenkonstruktionen-165758">www.baunetzwissen.de/solar/fachwissen/pv-am-gebäude/fassadenkonstruktionen-165758</a><br>[08.04.2021]; Schwarzbürger 2021, S. 72  | 166 |
| Abb. 91: Prinzipielle Befestigungsmöglichkeiten für Glasmodule: (a) Befestigung der Rahmung, (b)<br>lineare Klemmung, (c) punktuelle Klammerung, (d) Klebung und (e) Bohrung .....<br>Weller et al. 2009, S. 52; Weller et al. 2009, S. 54, 61, 63; Roberts/Guariento 2009, S. 95, 85   | 167 |
| Abb. 92: Regeln für eine ausgewogene Erfüllung technischer, funktionaler und gestalterischer<br>Anforderungen übertragen auf die Integration von PV in die Gebäudehülle .....<br>eigene Darstellung   | 170 |
| Abb. 93: Unterschiedliche Ansätze bei der Gestaltung von BIPV .....<br>eigene Darstellung   | 170 |
| Abb. 94: Projektbeispiele mit einer ausgewogen integrierten PV-Anlage, die sich harmonisch und<br>dennoch erkennbar in das Gebäude und die Umgebung einfügt: Feuerwache, Heidelberg;<br>Effizienzhaus Plus, Berlin; Gemeindeamt Ludesch; Tobias Grau GmbH, Hamburg .....<br><a href="http://www.bauwelt.de/dl/796915/10791305_70a676bb19.pdf">www.bauwelt.de/dl/796915/10791305_70a676bb19.pdf</a> [03.02.2022]; <a href="http://www.dbz.de/artikel/dbz-Wohnen_der_Zukunft_F87_Effizienzhaus_Plus_mit_Elektromobilitaet_Berlin_1404609.html">www.dbz.de/artikel/dbz-Wohnen_der_Zukunft_F87_Effizienzhaus_Plus_mit_Elektromobilitaet_Berlin_1404609.html</a><br>[03.02.2022]; <a href="http://www.baunetzwissen.de/gebäudetechnik/objekte/buero-verwaltung/gemeindezentrum-in-ludesch-a-71716">www.baunetzwissen.de/gebäudetechnik/objekte/buero-verwaltung/gemeindezentrum-in-ludesch-a-71716</a> [08.02.2022]; eigene Aufnahme | 173 |
| Abb. 95: Projektbeispiele mit einer dezent-unauffällig integrierten PV-Anlage, die sich angepasst und<br>zurückhaltend in das Gebäude und die Umgebung einfügt: Ev. Akademie, Meißen; Belgien-Pavillon<br>der Expo 2015; opusHouse, Darmstadt; Katholische Kirche, Heiden.....<br><a href="http://www.pfauarchitekten.de/projekt/ev-akademie-meissen-2">www.pfauarchitekten.de/projekt/ev-akademie-meissen-2</a> [19.07.2021]; <a href="http://www.abitare.it/it/gallery/expo/esposizione/vetri-super-performanti-per-padiglione-belga-gallery/?foto=7">www.abitare.it/it/gallery/expo/esposizione/vetri-super-performanti-per-padiglione-belga-gallery/?foto=7</a> [07.03.2021];<br>SeV 2009, S. 6; SeV 2009, S. 34  | 174 |

- Abb. 96: Projektbeispiele mit prägnant-auffällig integrierten PV-Anlagen, die in ihrer Umgebung dominant und hervorgehoben erscheinen: Kinderkrippe und Jugendfreizeitstätte, München; Collège de la Nativité, Aix-en-Provence; Neubau der Hahn+Kolb Gruppe in Ludwigsburg; Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg ..... 175  
[www.baunetzwissen.de/solar/objekte/kultur-bildung/kinderkrippe-und-jugendfreizeitstaette-in-muenchen-72828](http://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/kultur-bildung/kinderkrippe-und-jugendfreizeitstaette-in-muenchen-72828) [08.02.2022]; [www.sonnenstromfabrik.com/de/news/details/sonnenstromfabrik-liefert-hochtransparente-photovoltaik-module-f%C3%BCr-anspruchsvolle-sonnenschutzkonstruktion](http://www.sonnenstromfabrik.com/de/news/details/sonnenstromfabrik-liefert-hochtransparente-photovoltaik-module-f%C3%BCr-anspruchsvolle-sonnenschutzkonstruktion) [09.02.2022]; [www.hahn-kolb.de/de/hahn\\_kolb/unternehmen/ueber\\_hahn\\_kolb/engagement/engagement.php](http://www.hahn-kolb.de/de/hahn_kolb/unternehmen/ueber_hahn_kolb/engagement/engagement.php) [09.02.2022]; [www.baunetzwissen.de/solar/objekte/wohnen/solarsiedlung-am-schlierberg-in-freiburg-72770](http://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/wohnen/solarsiedlung-am-schlierberg-in-freiburg-72770) [08.02.2022]
- Abb. 97: Unregelmäßige Flächengeometrien und Durchdringungen als Herausforderung bei der geometrischen Abstimmung zwischen PV-Anlage und Gebäude ..... 178  
[www.beispielhaus.de/kompetenzhaus/haus-villa-stadthaus-landhaus-erker-freizeit-og-schlselfertig-6572.html](http://www.beispielhaus.de/kompetenzhaus/haus-villa-stadthaus-landhaus-erker-freizeit-og-schlselfertig-6572.html) [17.02.2022]; [www.wz.de/nrw/krefeld/krefeld-40-millionen-euro-fuer-strom-von-daechern-der-stadt\\_aid-61185139](http://www.wz.de/nrw/krefeld/krefeld-40-millionen-euro-fuer-strom-von-daechern-der-stadt_aid-61185139) [17.02.2022]
- Abb. 98: Rechtwinklige, längliche Formen des Generators mit Bezug zur Gesamtgebäudeform am Getreidesilo der Schapfenmühle, Ulm oder zu anderen Elementen der Fassade an der EWE-Arena in Oldenburg ..... 179  
[www.pul-ingenieure.de/getreidesilo-schapfenmuehle-ulm](http://www.pul-ingenieure.de/getreidesilo-schapfenmuehle-ulm) [15.05.2022]; [www.solarnova.de/de/referenzen.html](http://www.solarnova.de/de/referenzen.html) [15.05.2022]
- Abb. 99: Direkter Bezug zwischen der Binnengliederung des Generatorfelds und der Gliederung der Fassade am Einfamilienhaus Hegelohe ..... 179  
 SeV 2009, S. 25
- Abb. 100: Beispiele gestalterisch scheinbar ohne Verbindung zusammengefügt Gebäudeformen und PV-Generatoren an Gebäuden der Plusenergiesiedlung Suncity in Weiz (AT) und am Heliotrop in Freiburg ..... 181  
 Lüling 2009, S. 30; Lüling 2009, S. 28
- Abb. 101: Beispiele für eine großflächige, sonnenstandorientierte Integration der PV-Anlage, die die Gebäudegestalt dominiert ..... 181  
 Humm/Toggweiler 1993, S. 83
- Abb. 102: Maßstäblichkeit eines großformatigen PV-Dachs im Vergleich zu benachbarten Dachdeckungen, im Vergleich zu anderen Elementen wie Dachfenstern und im Kontext einer Wohnsiedlung ..... 182  
[www.heinze.de/produktserie/ennogie-solardach/21737344/1/#lg=1&slide=19](http://www.heinze.de/produktserie/ennogie-solardach/21737344/1/#lg=1&slide=19) [22.02.2022]; [www.enerix.de/service/photovoltaik-rechner](http://www.enerix.de/service/photovoltaik-rechner) [22.02.2022]; [www.geo.de/wissen/sonnenstrom-von-daechern-koennte-globalen-elektrizitaetsbedarf-decken-30812918.html](http://www.geo.de/wissen/sonnenstrom-von-daechern-koennte-globalen-elektrizitaetsbedarf-decken-30812918.html) [22.02.2022]
- Abb. 103: Maßstäblich ausgewogene Einfügung einer PV-Anlage, durch Ähnlichkeit in der Größe: Bürogebäude Blütenburgstraße 44 in München; Mehrzweckhalle in Preisegg ..... 183  
[www.ap-architekten.de/verwaltungsbau/blutenburgstrasse](http://www.ap-architekten.de/verwaltungsbau/blutenburgstrasse) [05.05.2022]; [www.mueller-polybau.ch/project/mehrzweckhalle-preisegg](http://www.mueller-polybau.ch/project/mehrzweckhalle-preisegg) [05.05.2022]
- Abb. 104: Maßstäblich unauffällige Integration von PV-Modulen durch weitgehende Größenentsprechung: Hauptverwaltung der Energiesteiermark AG in Graz; PV-Fensterläden am Schnitterhaus in Nechlin; Solardachziegel an einem Einfamilienhaus ..... 184  
 eigene Aufnahme; [www.smarthouse-pro.de/photovoltaik/module/kuehler-kopf-dank-solarer-fensterlaeden.131166/seite-2.html](http://www.smarthouse-pro.de/photovoltaik/module/kuehler-kopf-dank-solarer-fensterlaeden.131166/seite-2.html) [03.03.2022]; [www.solar-energiemagazin.com/autarq-solardachziegel/solarenergie-artikel/5009](http://www.solar-energiemagazin.com/autarq-solardachziegel/solarenergie-artikel/5009) [03.03.2022]
- Abb. 105: Maßstäblich auffällige Integration von PV-Modulen durch starke Abweichung in der Größe: Blauhaus Mönchengladbach; Zentrum für Biotechnologie und Umwelt, Berlin; GreenPix Zero Energy Media Wall, Peking ..... 185  
[www.arcguide.de/projekte/behoerde-buero/blauhaus-moenchengladbach](http://www.arcguide.de/projekte/behoerde-buero/blauhaus-moenchengladbach) [03.03.2022]; [www.alamy.es/foto-centro-de-biotechnologia-y-el-medio-ambiente-en-adlershof-parque-de-ciencia-y-tecnologia-parque-en-berlin-alemania-141988159](http://www.alamy.es/foto-centro-de-biotechnologia-y-el-medio-ambiente-en-adlershof-parque-de-ciencia-y-tecnologia-parque-en-berlin-alemania-141988159) [03.03.2022]; [segd.org/greenpix-zero-energy-media-wall-0](http://segd.org/greenpix-zero-energy-media-wall-0) [03.03.2022]
- Abb. 106: Verbreitete Materialien der Gebäudehülle ..... 186  
 eigene Darstellung mit Abbildungen aus Herzog et al. 2016 und Baunetz

- Abb. 107: Beispiele einer ausgewogenen Integration mit analogen und ähnlichen Farben: Sitz der Berufsgenossenschaft Holz und Metall, München; Q-Cells Zentrale in Thalheim ..... 187  
[www.bghm.de/bghm/standorte/metall/muenchen](http://www.bghm.de/bghm/standorte/metall/muenchen) [04.03.2022];  
[www.walluszek.de/portfolio/q-cells-thalheim](http://www.walluszek.de/portfolio/q-cells-thalheim) [04.03.2022]
- Abb. 108: Unauffällige PV-Integration durch Monochromie und gleiche Farbhelligkeit und -sättigung: +e Kita, Marburg; Solar Decathlon Haus 2007, Team TU Darmstadt ..... 187  
[www.dbz.de/artikel/dbz\\_Solarraupe\\_e\\_Kita\\_im\\_Vitosareal\\_Marburg\\_2404025.html](http://www.dbz.de/artikel/dbz_Solarraupe_e_Kita_im_Vitosareal_Marburg_2404025.html) [04.03.2022];  
[www.solardecathlon.tu-darmstadt.de](http://www.solardecathlon.tu-darmstadt.de) [05.03.2022]
- Abb. 109: Optische Hervorhebung von PV-Anlagen durch Komplementärfarben: Museum für Archäologie, Herne; ehemaliges HEW-Schulungszentrum ..... 188  
 Krippner 2016, S. 121; [www.denkmalverein.de/verluste/hew-schulungszentrum](http://www.denkmalverein.de/verluste/hew-schulungszentrum) [15.03.2022]
- Abb. 110: Starke Abweichung der materiellen Eigenschaften solaraktiver Bauteile von denen traditioneller Baustoffe ..... 189  
 eigene Bearbeitung, [www.wohnet.at/energie/strom/photovoltaik-fassade-22111](http://www.wohnet.at/energie/strom/photovoltaik-fassade-22111) [21.05.2022]
- Abb. 111: Beispiele einer ausgewogenen PV-Integration durch materielle Ähnlichkeit: Cité du Design, Saint-Étienne; Q-Cells Zentrale in Thalheim; Deutschland-Pavillon der Expo 2015 ..... 191  
[www.baunetz-architekten.de/lin-architekten-urbanisten/3261183/projekt/3275797](http://www.baunetz-architekten.de/lin-architekten-urbanisten/3261183/projekt/3275797) [05.03.2022];  
[www.coltinfo.ch/klapplaeden-faltladen-schiebelaeden-sonnenschutz.html](http://www.coltinfo.ch/klapplaeden-faltladen-schiebelaeden-sonnenschutz.html) [05.03.2022]; [energy-in-motion.tu-berlin.de/wissen/zukunft-der-energieversorgung/solarzelle-vom-designer](http://energy-in-motion.tu-berlin.de/wissen/zukunft-der-energieversorgung/solarzelle-vom-designer) [05.03.2022]
- Abb. 112: Unauffällige Einfügung der PV-Elemente bei nahezu identischen Materialeigenschaften: Mehrfamilienhaus Brütten; Hauptsitz V-Zug AG, Zug (CH) ..... 191  
[www.tab.de/artikel/tab\\_Photovoltaike\\_robert\\_Fassade\\_2704182.html](http://www.tab.de/artikel/tab_Photovoltaike_robert_Fassade_2704182.html) [12.05.2022];  
[www.baunetzwissen.de/solar/fachwissen/pv-am-gebaeude/gebaeudeintegrierte-photovoltaik-gipv-165754](http://www.baunetzwissen.de/solar/fachwissen/pv-am-gebaeude/gebaeudeintegrierte-photovoltaik-gipv-165754) [12.05.2022]
- Abb. 113: Deutliche Hervorhebung der PV-Bauteile durch bewusste materielle Kontrastierung: Fortbildungsakademie Mont-Cenis, Herne; Ev. Akademie, Meißen; Wohnhaus Nebeniusstraße 20, Frankfurt ..... 192  
 Weller et al. 2009, S. 38; [www.ib-scheffler.de/referenzen/projekte/beherbergung/index.php](http://www.ib-scheffler.de/referenzen/projekte/beherbergung/index.php) [08.03.2022]; [dbz.de/artikel/dbz\\_WDVS\\_mit\\_integrierter\\_Photovoltaik\\_332404\\_3.html](http://dbz.de/artikel/dbz_WDVS_mit_integrierter_Photovoltaik_332404_3.html) [08.03.2022]
- Abb. 114: Ausgewogene Integration von PV-Anlagen durch farbliche, materielle und formale Ähnlichkeiten zu Charakteristiken der Umgebung: Warmbandspaltanlage ThyssenKrupp, Duisburg; Mehrfamilienhaus in Männedorf (CH) ..... 194  
 Weller et al. 2009, S. 40; [www.nzz.ch/zuerich/was-diese-mehrfamilienhaeuser-in-maennedorf-im-sommer-an-strom-einspeisen-holen-sie-in-der-kalten-jahreszeit-als-gas-wieder-zurueck-ld.1563978](http://www.nzz.ch/zuerich/was-diese-mehrfamilienhaeuser-in-maennedorf-im-sommer-an-strom-einspeisen-holen-sie-in-der-kalten-jahreszeit-als-gas-wieder-zurueck-ld.1563978) [07.03.2022]
- Abb. 115: Vollständig unauffällig eingefügte PV-Dächer durch farbliche und materielle Anpassung am opusHouse, Darmstadt und durch regionaltypische formale Ausgestaltung am Glaserhaus im Emmental (CH) ..... 194  
 SeV 2009, S. 6; [www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/objekte/wohnen/glaserhaus-im-emental-5242373](http://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/objekte/wohnen/glaserhaus-im-emental-5242373) [09.03.2022]
- Abb. 116: PV-Dachanlage, die durch gezielte Kontrastierung der farblichen, materiellen und formalen Eigenschaften der Gebäude ihrer Umgebung optisch in den Vordergrund tritt ..... 195  
 eigene Aufnahme
- Abb. 117: Beispiele ausgewogener Integration von PV-Elementen mit zurückhaltender, ornamentaler Wirkung: Taufkapelle Epiphantias, Hannover; Vorschlag für einen Fassadenschmuck für die St. Gertrud Kirche Köln; Christliche Kindertagesstätte, Dresden und Grass Valley Elementary School, Portland (USA) ..... 196  
[www.solarnova.de/de/referenzen.html](http://www.solarnova.de/de/referenzen.html) [20.02.2022]; Rexroth 2005, S. 147;  
[www.glasmalerei.de/internationale-projekte-](http://www.glasmalerei.de/internationale-projekte-) [21.02.2022]
- Abb. 118: Unauffällige Einfügung von optisch stark an Materialien der Umgebung angelehnte Generatoren ohne jegliche PV-typische Zeichenwirkung: Fassade des Mehrfamilienhauses Hofwiesen-/Rothstraße, Zürich; PV-Module mit Schiller-Zitat an der Stadtmauer in Marbach ..... 198  
 eigene Aufnahme; [www.alamy.de/stockfoto-quadrat-der-glasplatten-an-der-stadtmauer-zeigt-ein-zitat-von-deutsche-dichter-friedrich-schiller-92607446.html](http://www.alamy.de/stockfoto-quadrat-der-glasplatten-an-der-stadtmauer-zeigt-ein-zitat-von-deutsche-dichter-friedrich-schiller-92607446.html) [10.03.2022]

|  |     |
|--|-----|
| Abb. 119: Ergebnisse des EU-Projektes „BIMODE - Bi-funktionale PV-Module“: neue künstlerisch-ästhetische Wege der Gebäudeintegration von Solarenergie .....<br><a href="http://www.idw-online.de/de/news18075">www.idw-online.de/de/news18075</a> [21.02.2020]   | 198 |
| Abb. 120: Zusammenhang zwischen ansteigender Transparenz und proportional zunehmender Leistungsminderung .....<br>Rechberger/Moor 2015, S. 2   | 202 |
| Abb. 121: Übersicht über die aus der allgemeinen architektonischen Gestaltungstheorie auf die PV-Integration transferierten Kriterien für gute Gestaltung .....<br>eigene Darstellung  | 208 |
| Abb. 122: Entwicklung der Anzahl der bewerteten Arbeiten des „Architekturpreises Gebäudeintegrierte Solartechnik“ zwischen 2000 und 2020.....<br>eigene Darstellung; Datenquellen: SeV 2008/2011/2014/2017/2020  | 212 |
| Abb. 123: Übersichtskarte Projektauswahl.....<br>eigene Darstellung  | 214 |
| Abb. 124: Marché International .....<br>SAS 2007, Titel  | 219 |
| Abb. 125: Solarhaus .....<br><a href="http://www.architektur.tu-darmstadt.de/portfolio/veranstaltungen_arch/symposien/the_future_of/index.de.jsp">www.architektur.tu-darmstadt.de/portfolio/veranstaltungen_arch/symposien/the_future_of/index.de.jsp</a> [24.03.2022]   | 220 |
| Abb. 126: Solar XXI .....<br><a href="http://www.arkiplus.com/edificios-solares">www.arkiplus.com/edificios-solares</a> [11.07.2021]   | 221 |
| Abb. 127: Halle design.s.....<br><a href="http://www.bipv-bw.de/b-architektur-mit-photovoltaik/b3-gestaltungsvielfalt">www.bipv-bw.de/b-architektur-mit-photovoltaik/b3-gestaltungsvielfalt</a> [11.07.2021]   | 222 |
| Abb. 128: SMA Solar Academy .....<br><a href="http://www.hhs.ag/projekte-Schulbau-solar-akademie.de.html">www.hhs.ag/projekte-Schulbau-solar-akademie.de.html</a> [11.07.2021]   | 223 |
| Abb. 129: Umweltarena Spreitenbach.....<br><a href="http://www.reneschmid.ch/projekte/detail/umwelt-arena-schweiz">www.reneschmid.ch/projekte/detail/umwelt-arena-schweiz</a> [11.07.2021]   | 224 |
| Abb. 130: SwissTech Convention Center.....<br><a href="http://www.stcc.ch/virtual-visit">www.stcc.ch/virtual-visit</a> [11.07.2021]  | 225 |
| Abb. 131: Wohnhaus Glattfelden .....<br><a href="http://www.mirlourbano.ch/projekte/haus-in-glattfelden">www.mirlourbano.ch/projekte/haus-in-glattfelden</a> [11.07.2021]  | 226 |
| Abb. 132: Aktiv-Stadthaus .....<br><a href="http://www.hhs.ag/projekte-wohnen-aktiv-stadthaus-frankfurt.de.html">www.hhs.ag/projekte-wohnen-aktiv-stadthaus-frankfurt.de.html</a> [11.07.2021]   | 227 |
| Abb. 133: Copenhagen International School.....<br><a href="http://www.dbz.de/artikel/dbz_Copenhagen_Inter_natio_nal_School_Kopenhagen_DK_3419295.html">www.dbz.de/artikel/dbz_Copenhagen_Inter_natio_nal_School_Kopenhagen_DK_3419295.html</a> [11.07.2021]  | 228 |
| Abb. 134: Wohnhaus Schneller Bader .....<br>SeV 2017, S. 6   | 229 |
| Abb. 135: Grosspeter Tower .....<br><a href="http://www.detail.de/de/de_de/kraftwerk-in-nadelstreifen-grosspeter-tower-in-basel-32661">www.detail.de/de/de_de/kraftwerk-in-nadelstreifen-grosspeter-tower-in-basel-32661</a> [11.07.2021]  | 230 |
| Abb. 136: Kath. Propsteikirche St. Trinitatis.....<br>SeV 2017, S. 10  | 231 |
| Abb. 137: Projekte mit zahlreichen Maßbezügen: die Solar Academy und das Solar XXI .....<br>eigene Darstellungen   | 235 |
| Abb. 138: Flächenanteile der BIPV an der gesamten Gebäudeoberfläche im Vergleich .....<br>eigene Darstellung   | 236 |
| Abb. 139: Auf menschliche Maßstäbe abgestimmte BIPV-Gestaltung: gezielt kleinteilig am Solarhaus und an der Solar Academy, aber auch großdimensioniert am Solar XXI und am Convention Center .....<br><a href="http://www.solardecathlon.tu.darmstadt.de/media/architektur/fachbereich_alte_medien/oeffentlichkeit/solarhaus/Solarhaus_SD07_05_0x150.jpg">www.solardecathlon.tu.darmstadt.de/media/architektur/fachbereich_alte_medien/oeffentlichkeit/solarhaus/Solarhaus_SD07_05_0x150.jpg</a> [13.05.2022];<br><a href="http://www.energiezukunft.eu/umweltschutz/barcamp-renewables-2016">www.energiezukunft.eu/umweltschutz/barcamp-renewables-2016</a> [11.07.2021];<br><a href="http://pbs.twimg.com/media/CkbrVDWUUAEmAGK?">pbs.twimg.com/media/CkbrVDWUUAEmAGK?</a> [13.05.2020]; eigene Aufnahme | 237 |



|  |     |
|--|-----|
| Abb. 140: Übersicht über den individuellen Gestaltungscharakter der in der Projektstudie untersuchten Wettbewerbsgewinner .....<br>eigene Darstellung  | 243 |
| Abb. 141: Wohnhaus Schneller Bader - Ausprägung des Gestaltungsziels im Vergleich mit den Ausprägungen der Einzelkriterien .....<br>eigene Darstellung   | 244 |
| Abb. 142: Umweltarena Spreitenbach - Ausprägung des Gestaltungsziels im Vergleich mit den Ausprägungen der Einzelkriterien .....<br>eigene Darstellung   | 244 |
| Abb. 143: Grosspeter Tower - Ausprägung des Gestaltungsziels im Vergleich mit den Ausprägungen der Einzelkriterien .....<br>eigene Darstellung   | 245 |
| Abb. 144: Solar XXI - Ausprägung des Gestaltungsziels im Vergleich mit den Ausprägungen der Einzelkriterien .....<br>eigene Darstellung  | 246 |
| Abb. 145: Kriterienkatalog - Kriterium 1 .....<br>eigene Darstellung   | 252 |
| Abb. 146: Kriterienkatalog - Kriterium 2 .....<br>eigene Darstellung   | 253 |
| Abb. 147: Kriterienkatalog - Kriterium 3 .....<br>eigene Darstellung   | 254 |
| Abb. 148: Kriterienkatalog - Kriterium 4 .....<br>eigene Darstellung   | 255 |
| Abb. 149: Kriterienkatalog - Kriterium 5 .....<br>eigene Darstellung   | 256 |
| Abb. 150: Kriterienkatalog - Kriterium 6 .....<br>eigene Darstellung   | 257 |
| Abb. 151: Strompreisentwicklung am Beispiel eines Privathaushalts in Deutschland mit einem jährlichen Verbrauch von 4.000 kWh .....<br>Statista 2022c  | 258 |
| Abb. 152: Neuzulassungen von Hybrid- und Elektroautos in Deutschland 2017 bis 2021 .....<br>Statista 2022d   | 259 |
| Abb. 153: Historische Entwicklung der Preise für PV-Module gemessen an der Leistung pro Wp ....<br>Fraunhofer ISE 2022, S. 8   | 260 |
| Abb. 154: Die Zukunft der BIPV: von völliger Unsichtbarkeit wie Salzmolekül-Zellen es ermöglichen könnten, über die Demonstration neuester OPV-Zelltechnik am Science Tower, bis hin zur Inszenierung digitaler Dynamik am Novartis Konferenzzentrum in Basel .....<br>goriber.tech/why-transparent-solar-panels-are-the-future [08.02.2022];<br>www.pernthaler.at/portfolio-item/smart-city-tower [08.02.2022];<br>www.campus.novartis.com/de/novartis-pavillon/kunstprojekte-pavillon [25.05.2022] | 262 |

## Tabellenverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| Tab. 1: Übersicht Projektauswahl.....   | 213 |
| eigene Darstellung  |     |
| Tab. 2: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 1 Projektdaten .....                       | 215 |
| eigene Darstellung  |     |
| Tab. 3: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 2 Beschreibung des Gestaltungscharakters . |     |
| .....   | 216 |
| eigene Darstellung  |     |
| Tab. 4: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 3 Untersuchung nach BIPV-                  |     |
| Gestaltungskriterien.....   | 216 |
| eigene Darstellung  |     |
| Tab. 5: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 4 Funktionen der BIPV-Anlage .....         | 217 |
| eigene Darstellung  |     |
| Tab. 6: Übersicht Untersuchungskriterien Projektstudie - 5 Systemtechnik .....                      | 217 |
| eigene Darstellung  |     |
| Tab. 7: Funktionen der BIPV an den untersuchten Projekten.....                                      | 247 |
| eigene Darstellung  |     |
| Tab. 8: Systemtechnik der BIPV an den untersuchten Projekten .....                                  | 248 |
| eigene Darstellung  |     |

## Literaturverzeichnis

- Abel, Alexandra/Rudolf, Bernd (2018): Architektur wahrnehmen, Bielefeld.
- Agkathidis, Asterios (2015): Generative design, London.
- Alberti, Leon Battista (2020): Zehn Bücher über die Baukunst, Tegernsee.
- Architekturzeitung (AZ) (2022): Bauwerkintegrierte Photovoltaik, unter: [www.architekturzeitung.com/innovation/101-gebaeudetechnik-haustechnik/4404-bauwerkintegrierte-photovoltaik](http://www.architekturzeitung.com/innovation/101-gebaeudetechnik-haustechnik/4404-bauwerkintegrierte-photovoltaik) [08.06.2022].
- Arnheim, Rudolf (1977): The dynamics of architectural form, Berkeley.
- Arnheim, Rudolf (2000): Kunst und Sehen. Eine Psychologie des schöpferischen Auges, Berlin.
- Baulinks (2019): Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV): Von der Nische zum Massenmarkt, unter: [www.baulinks.de/webplugin/2019/0369.php4](http://www.baulinks.de/webplugin/2019/0369.php4) [02.03.2021].
- Baunetz Wissen (2021): Farbe in der Architektur, unter: [www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/grundlagen/farbe-in-der-architektur-6173590](http://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/grundlagen/farbe-in-der-architektur-6173590) [25.04.2021].
- Becker, Gerd (2016): Physikalische und geometrische Grundlagen, in: Krippner, Roland (Hg.): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, Berlin/München, S. 24-27.
- Bendel, Christian/Hullmann, Heinz (2005): PV + Bau. Gebäudeintegrierte Photovoltaik bei der Sanierung und Modernisierung, Wiesbaden.
- Bendel, Christian (2009): Multifunktionale PV-Bauelemente - eine Antwort und Lösung für PV am Bau, in: OTTI e. V. (Hg.): 1. Orientierungsseminar Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 03.03.2009. Tagungsband, Regensburg, S. 61-72.
- Bense, Max (1971): Zeichen und Design. Semiotische Ästhetik, Baden-Baden.
- Bideau, André (2003): Umprogrammierung des öffentlichen Raums, unter: [www.nextroom.at/building.php?id=3623](http://www.nextroom.at/building.php?id=3623) [02.06.2021].
- Bielefeld, Bert (2013): Basics Entwurf, Basel.
- Bielefeld, Bert/El Khouli, Sebastian (2011): Basics Entwerfen. Entwurfsidee, Basel.
- Blondel, François (1698): Cours D'Architecture Enseigné Dans L'Académie Royale D'Architecture, Paris, digitale Bestände der Universitätsbibliothek Heidelberg, unter: <https://doi.org/10.11588/diglit.1735> [07.04.2022].
- Breedlove, Marc S./Watson, Neil V. (2016): The Mind's Machine. Foundations of Brain and Behavior, Sunderland.
- Breitenmoser, Xavier/Wieland, Béatrice (2016): Strom aus ästhetischen Fassaden. Beitrag zum 19. Status-Seminar: Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt. ETH Zürich, 08./09.09.2016, unter: [www.bauinnovationen.ch/wp-content/uploads/OP-II-1-3\\_108\\_Breitenmoser\\_Energie-aus-aesthetischen-Fassaden.pdf](http://www.bauinnovationen.ch/wp-content/uploads/OP-II-1-3_108_Breitenmoser_Energie-aus-aesthetischen-Fassaden.pdf) [24.01.2017].
- Buchert, Margitta/Kienbaum, Laura (2013): Einfach entwerfen. Wege der Architekturgestaltung, Berlin.
- Bühler, Peter/Schlaich, Patrick/Sinner, Dominik (2017): Visuelle Kommunikation. Wahrnehmung - Perspektive - Gestaltung, Berlin.
- Buether, Axel (2014): Farbe. Entwurfsgrundlagen, Planungsstrategien, visuelle Kommunikation, München.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022a): Erneuerbare Energien: EEG 2023, unter: [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html) [05.11.2022].
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022b): Unsere Energiewende: sicher, sauber, bezahlbar, unter: [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende.html) [05.11.2022].
- Ching, Francis D. K. (1991): Die Kunst der Architekturgestaltung als Zusammenklang von Form, Raum und Ordnung, Augsburg.
- Ching, Francis D. K. (1996): Bildlexikon der Architektur, Frankfurt/Main.

- Cohn, David (2008): Thema Caixa Forum Madrid. Eilige Schnittsequenz, in: Bauwelt 13/2008, unter: [www.bauwelt.de/dl/793980/10817143\\_9df4fe42d4.pdf](http://www.bauwelt.de/dl/793980/10817143_9df4fe42d4.pdf) [10.08.2021].
- Curtis, William J. R. (2010): City of Culture: In die Landschaft radierte Vision, unter: [www.bauwelt.de/themen/bauten/City-of-Culture-Galicien-Peter-Eiseman-2153483.html](http://www.bauwelt.de/themen/bauten/City-of-Culture-Galicien-Peter-Eiseman-2153483.html) [12.08.2021].
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) (Hg.) (2014): Neubau Propsteikirche St. Trinitatis. Abschlussbericht - DBU AZ 28590/01. Unter Mitarbeit von ee concept GmbH, unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28590-01.pdf> [14.11.2018].
- Degheili-Abdallah, Ghanem (1982): Architektonische Aspekte der Integration von Solarzellenanlagen in Wohngebäude, Dissertation, Uni Hannover.
- Drexler, Hans/El Khouli, Sebastian (2012): Nachhaltige Wohnkonzepte. Entwurfsmethoden und Prozesse, München.
- Eco, Umberto (1993): Kunst und Schönheit im Mittelalter, München.
- Eicker, Ursula (2012): Solare Technologien für Gebäude. Grundlagen und Praxisbeispiele, Wiesbaden.
- Energy Research Architecture (ERA) (2011): Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Einbindung von BIPV als eigenständiger Bestandteil des Erneuerbaren-Energien-Gesetz, unter: [docplayer.org/12280211-Gebaeudeintegrierte-photovoltaik.html](http://docplayer.org/12280211-Gebaeudeintegrierte-photovoltaik.html) [09.07.2018].
- Erban, Christof (2016): EN 50583 „Photovoltaics in buildings“ angenommen, in: OTTI e. V. (Hg.): 8. Forum Bauwerkintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 08.03.2016. Tagungsband, Regensburg, S. 41-45.
- Erben, Dietrich (2017): Architekturtheorie. Eine Geschichte von der Antike bis zur Gegenwart, München.
- Ermel, Horst (1999): Grundlagen des Entwerfens, Darmstadt.
- Europäische Kommission (2022): Überarbeitung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, unter: [ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda\\_21\\_6686](http://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_21_6686) [05.11.2022].
- European Photovoltaic Industry Association (EPIA) (2010): Photovoltaik-Dachanlagen und -fassaden könnten bis 2020 bis zu 40 % des EU-Strombedarfs decken, unter: [www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/archiv-2010/epia-photovoltaik-dachanlagen-und-fassaden.html](http://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/archiv-2010/epia-photovoltaik-dachanlagen-und-fassaden.html) [11.06.2018].
- European Photovoltaic Industry Association (EPIA) (2011): Annual Report 2011, unter: [www.ferven.es/EPIA/Annual\\_Report\\_2011.pdf](http://www.ferven.es/EPIA/Annual_Report_2011.pdf) [11.06.2018].
- Evers, Bernd/Thoenes, Christof (2015): Architekturtheorie. Wegweisende Texte zur Architektur von der Renaissance bis heute, Köln.
- Fischer, Julia (2014): Zur Beziehung zwischen Architektur und Ort. Architekturtheoretische Reflexionen zum kontextuellen Entwerfen am Beispiel des herrschaftlichen Profanbaus im 17. und 18. Jahrhundert, Erweiterte Fassung eines Vortrags vom 22.11.2014 zum Internationalen Symposium „Ort und Ortsbezug in der Architektur“, veranstaltet von der Hochschule München, München.
- Fraunhofer ISE (2019): Photovoltaik in Gebäudehüllen: Von der Nische zum Massenmarkt. Solare Bauteile industriell fertigen und in Bauplanungsprozesse integrieren, unter: [www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2019/photovoltaik-in-gebaeudehuelen-von-der-nische-zum-massenmarkt.html](http://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2019/photovoltaik-in-gebaeudehuelen-von-der-nische-zum-massenmarkt.html) [21.04.2020].
- Fraunhofer ISE (2020): Höhere Wirkungsgrade bei Organischer Photovoltaik. Neuer Solarzellenrekord auf 1 cm<sup>2</sup>, unter: [www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2020/hoehere-wirkungsgrade-bei-organischer-photovoltaik-neuer-solarzellenrekord-auf-1cm.html](http://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2020/hoehere-wirkungsgrade-bei-organischer-photovoltaik-neuer-solarzellenrekord-auf-1cm.html) [04.05.2021].
- Fraunhofer ISE (2022): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, unter: [www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf](http://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf) [12.03.2022].
- Gänshirt, Christian (2011): Werkzeuge für Ideen: Einführung ins architektonische Entwerfen, Basel.
- Germann, Georg (1987): Einführung in die Geschichte der Architekturtheorie, Darmstadt.
- Geyer, Dieter (2019): Systemtechnik für PV-Fassaden mit Dünnschichtmodulen, in: Conexio GmbH (Hg.): BIPV-Forum 2019. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 18.-19.03.2019. Tagungsband, Pforzheim, S. 53-59.
- Gleiter, Jörg H. (2008): Architekturtheorie heute, Bielefeld.

- Grandviewresearch (2019): Europe Building-integrated Photovoltaics Market Size, Share & Trends Analysis Report, unter: [www.grandviewresearch.com/industry-analysis/europe-building-integrated-photovoltaics-market](http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/europe-building-integrated-photovoltaics-market) [08.06.2022].
- Grütter, Jörg Kurt (2015): Grundlagen der Architekturwahrnehmung, Wiesbaden.
- Haas, Martin/DGNB (2015): Wie lässt sich gestalterische Qualität objektiv bewerten?, unter: [blog.dgnb.de/gestalterische-qualitaet](http://blog.dgnb.de/gestalterische-qualitaet) [27.10.2017].
- Haas-Arndt, Doris (2000): Ästhetische Qualitäten des ökologischen Bauens und Wohnens. Ein Beitrag zu neuen Denkansätzen in der Architekturkonzeption, Norderstedt.
- Hagemann, Ingo Bert (2002): Gebäudeintegrierte Photovoltaik: Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle, Köln.
- Haselhuhn, Ralf (2016): Technik und Systeme - Photovoltaik, in: Krippner, Roland (Hg.): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, Berlin/München, S. 28-51.
- Hauskeller, Michael (1998): Was ist Kunst? Positionen der Ästhetik von Platon bis Danto, München.
- Hegger, Manfred (2003): Von der passiven Nutzung zu einer smarten Solararchitektur, in: Schittich: Solares Bauen - Strategien, Visionen, Konzepte, Basel, S. 13-25.
- Hegger, Manfred/Drexler, Hans/Zeumer, Martin (2014): Basics Materialität, Basel.
- Heilmeyer, Florian (2021): Baunetz Talk 19: Ben van Berkel/UNStudio, unter: [www.baunetz.de/talk/crystal/pdf/de/talk19.pdf](http://www.baunetz.de/talk/crystal/pdf/de/talk19.pdf) [04.06.2021].
- Hemmerle, Claudia (2016a): BIPV-Module in Verglasungen: Auf dem Weg zum geregelten Bauprodukt, in: OTTI e. V. (Hg.): 8. Forum Bauwerkintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 08.03.2016. Tagungsband, Regensburg, S. 47-56.
- Hemmerle, Claudia (2016b): Ökonomie und Ökologie, in: Krippner, Roland (Hg.): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, Berlin/München, S. 92-103.
- Herrmann, Eva Maria et al. (2015): Wände, Fassade, Dach, Basel.
- Herzog, Thomas/Krippner, Roland/Lang, Werner (2016): Fassadenatlas, München.
- Herzog, Thomas/Kuhnert, Nikolaus/Schnell, Angelika (1995): Energien gestalten, in: arch+ 126/1995, S. 34-42.
- Hestermann, Ulf/Rongen, Ludwig (2015): Baukonstruktionslehre, Wiesbaden.
- Hirschl, Bernd/Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) (2005): Acceptability of Solar Power Systems. A Study on Acceptability of Photovoltaics with Special Regard to the Role of Design, Berlin.
- Hotze, Benedikt (2021): Phaeno! Science-Center von Zaha Hadid in Wolfsburg, unter: [www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Science-Center\\_von\\_Zaha\\_Hadid\\_in\\_Wolfsburg\\_22026.html](http://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Science-Center_von_Zaha_Hadid_in_Wolfsburg_22026.html) [04.06.2021].
- Hullmann, Heinz (1977): Wechselbeziehungen zwischen Solarenergie-Anlagen und Gebäude bei der Integration von Solarkollektoren in Dach- und Wandflächen, Dissertation Uni Hannover.
- Hullmann, Heinz (2014): Grußwort, in: OTTI e. V. (Hg.): 6. Anwenderforum Bauwerkintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 11.03.2014. Tagungsband, Regensburg, S. 1.
- Hullmann, Heinz/Willkomm, Wolfgang (2005): PV + Bau. Gebäudeintegrierte Photovoltaik im historischen Gebäudebestand, Wiesbaden.
- Humm, Othmar/Toggweiler, Peter (1993): Photovoltaics in architecture. The integration of photovoltaic cells in building envelopes, Basel.
- Jencks, Charles (1977): The language of post-modern architecture, New York.
- Jencks, Charles (2015): In what style shall we build?, in: The Architectural Review. Online (12.03.2015), unter: [www.architectural-review.com/8679048.article](http://www.architectural-review.com/8679048.article) [29.07.2017].
- Jonak, Ulf (2015): Architekturwahrnehmung. Sehen und Begreifen, Wiesbaden.
- Jormakka, Kari/Schürer, Oliver/Kuhlmann, Dörte (2016): Methoden der Formfindung, Basel.
- Klotz, Heinrich (1977): Architektur in der Bundesrepublik, Frankfurt.
- Kraft, Simone (2015): Dekonstruktivismus in der Architektur?, Bielefeld.

- Krawietz, Silke (2003): Gebäudeintegration von Photovoltaik. GIPV in Europa, Dissertation, TU Darmstadt.
- Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, Berlin/München.
- Krippner, Roland (2018): Solarenergie und Baukultur - Ausgezeichnete Projekte aus dem SeV-Wettbewerb Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017, in: Conexio GmbH (Hg.): 10. Forum Bauwerkintegrierte Photovoltaik 2018. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 24.04.2018. Tagungsband, Pforzheim, S. 7-14.
- Krippner, Roland (2019): OPV-Fassade für das ZAE-Gebäude in Erlangen - Studentische Entwürfe von multifunktionalen Solarfassaden als Corporate Design, in: Conexio GmbH (Hg.): BIPV-Forum 2019. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 18.-19.03.2019. Tagungsband, Pforzheim, S. 30-41.
- Kruft, Hanno-Walter (1986): Geschichte der Architekturtheorie. Von der Antike bis zur Gegenwart, München.
- Kultermann, Udo (1987): Kleine Geschichte der Kunsttheorie, Darmstadt.
- Küppers, Harald (2000): Harmonielehre der Farben. Theoretische Grundlagen der Farbgestaltung, Köln.
- Lampugnani, Vittorio Magnago (2004): Architekturtheorie 20. Jahrhundert. Positionen, Programme, Manifeste, Ostfildern.
- Lenz, Bernhard/Schreiber, Jürgen/Stark, Thomas (2010): Nachhaltige Gebäudetechnik. Grundlagen, Systeme, Konzepte, München.
- Lepik, Andres (2016): Francis Kéré: Radically Simple, Ostfildern.
- Lüling, Claudia (2009): Energizing architecture. Design and photovoltaics, Berlin.
- Massin, Peter (2021): Zur Konstitution des Ornaments in der Architektur. Historiografie, Gegenwart und Morphologie, Innsbruck.
- Meiss, Pierre von (1994): Vom Objekt zum Raum zum Ort. Dimensionen der Architektur, Basel.
- Menges, Achim/Hensel, Michael (2008): Form- und Materialwerdung. Das Konzept der Materialsysteme, in: arch+ 188/2008, S. 18–23.
- Metzger, Wolfgang (2006): Laws of seeing, Cambridge.
- Munari Probst, Maria Cristina/Roecker, Christian (2012): Solar Energy Systems in Architecture. Integration Criteria and Guidelines, unter: [task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/t41da2-solar-energy-systems-in-architecture-28march20131.pdf](http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/t41da2-solar-energy-systems-in-architecture-28march20131.pdf) [30.05.2020].
- Naredi-Rainer, Paul von (1989): Architektur und Harmonie. Zahl, Mass und Proportion in der abendländischen Baukunst, Köln.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2022): Best Research-Cell Efficiency. 2022, unter: [www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies-rev220126.pdf](http://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies-rev220126.pdf) [05.05.2022].
- Neufert, Ernst/Kister, Johannes (2012): Bauentwurfslehre, Wiesbaden.
- Neumeyer, Fritz/Cepl, Jasper (2002): Quellentexte zur Architekturtheorie. Nachdenken über Architektur, München.
- Oswald, David (2015): Max Bense und die Informationsästhetik, in: David Oswald/Christiane Wachsmann/Petra Kellner (Hg.): Rückblicke. Die Abteilung Information an der hfg ulm, Lemgo, S. 116-122.
- Paal, Gabor/Tagesschau online (2020): Solarstrom besser als Windkraft?, unter: [www.tagesschau.de/wirtschaft/solarenergie-windkraft-erneuerbare-energien-101.html](http://www.tagesschau.de/wirtschaft/solarenergie-windkraft-erneuerbare-energien-101.html) [02.03.2021].
- Palladio, Andrea (1983): Die vier Bücher der Architektur. Zürich.
- Philipps et al. (2017): Technologiebericht 1.3 Photovoltaik, in: Wuppertal Institut/ISI/IZES (Hg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Wuppertal/Karlsruhe/Saarbrücken.
- Photovoltaik.org (2022): Garantie, unter: [www.photovoltaik.org/wissen/garantie](http://www.photovoltaik.org/wissen/garantie) [11.02.2022].
- PV Magazine (2017): Solarwatt ergänzt Produkt- und Leistungsgarantie für Glas-Glas-Module, unter: [www.pv-magazine.de/2017/02/14](http://www.pv-magazine.de/2017/02/14) [11.02.2022].

- PV Magazine (2022): Maxeon verlängert Produkt- und Leistungsgarantie für IBC-Module auf 40 Jahre, unter: [www.pv-magazine.de/2022/02/04](http://www.pv-magazine.de/2022/02/04) [11.02.2022].
- Rauterberg, Hanno (2008): *Worauf wir bauen. Begegnungen mit Architekten*, München.
- Rechberger, Josef/Moor, Dieter (2015): Semitransparente Photovoltaik. Unde venis – quo vadis?, in: OTTI e. V. (Hg.): 7. Forum Bauwerkintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 03.03.2015. Tagungsband, Regensburg, S. 1-9.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2021): *Renewables 2021. Global Status Report*, unter: [www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021\\_Full\\_Report.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf) [03.05.2022].
- Rexroth, Susanne (2005): *Gestaltungspotenzial von Solarpaneelen als neue Bauelemente - Sonderaufgabe Baudenkmal*, Dissertation, UdK Berlin.
- Roberts, Simon/Guariento, Nicolò (2009): *Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Ein Handbuch*, Berlin.
- Roeske, Christian (2017): *Farbige PV-Module – Technologien, Typen und Anwendungen*, in: OTTI e. V. (Hg.): 9. Forum Bauwerkintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 07.03.2017. Tagungsband, Regensburg, S. 41-48.
- Röthlisberger, Peter (2017): *Weißer Module*, in: OTTI e. V. (Hg.): 9. Forum Bauwerkintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 07.03.2017. Tagungsband, Regensburg, S. 57-62.
- Rübel, Dietmar/Wagner, Monika/Wolff, Vera (2005): *Materialästhetik. Quellentexte zu Kunst, Design und Architektur*, Berlin.
- Rullán Lemke, Christina (2009): *ArchitekturForm & SolarEnergie: eine globale Formenstudie zur Untersuchung des Einflusses der Gebäudegeometrie auf Potenziale solarer Energieversorgung über die Gebäudehülle*, Dissertation, TU Hamburg.
- Sauerbruch, Matthias (2013): *Inhalt und Form*, in: Wang, Wilfried (Hg.): *Kultur:Stadt*, Berlin, S. 16-23.
- Sauter, Hanns M./Hartmann, Arno/Katz, Tarja (2011): *Einführung in das Entwerfen. Band 1: Entwurfspragmatik*, Wiesbaden.
- Schittich, Christian (2003): *Solares Bauen - Strategien, Visionen, Konzepte*, Basel.
- Schittich, Christian/Lang, Werner/Krippner, Roland (2012): *Im Detail: Gebäudehüllen*, München.
- Schumacher, Patrik (2009): *Parametrismus - Der neue International Style*, in: *arch+* 195/2009, S. 106-113.
- Schumacher, Patrik (2013): *Parametricism by Patrik Schumacher (Zaha Hadid Architects)*, unter: [www.youtube.com/watch?v=pVHvWUKj1eU&ab\\_channel=MAGICMADE](http://www.youtube.com/watch?v=pVHvWUKj1eU&ab_channel=MAGICMADE) [04.06.2021].
- Schwarzburger, Heiko/Ullrich, Sven (2021): *Sonnenstrom aus der Gebäudehülle. Grundlagen und Praxistipps zur bauwerkintegrierten Photovoltaik (BIPV)*, Berlin.
- Seltmann, Thomas (2016): *Gebäude als Katalysator der Energietransformation*, in: Krippner, Roland (Hg.): *Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie*, Berlin/München, S. 20-23.
- Sick, Friedrich/Erge, Thomas (1996): *Photovoltaics in buildings. A Design Handbook*, London.
- Šik, Miroslav (2002): *Altneue Gedanken Texte und Gespräche 1987-2001*, Luzern.
- Solar Agentur Schweiz (SAS) (2007): *17. Schweizer Solarpreis 2007: Die beste Schweizer Solararchitektur*, Zürich, 2007.
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2008): *Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008: Ergebnisse*, München.
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2009): *Gebäudeintegrierte Solartechnik: Aus den Wettbewerben des SeV*, München.
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2011): *Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011: Ergebnisse des Wettbewerbs*, unter: [www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2018/12/Ergebnisse-Wettbewerb2011.pdf](http://www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2018/12/Ergebnisse-Wettbewerb2011.pdf) [05.03.2018].

- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2014): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014: Ergebnisse des Wettbewerbs, unter: [www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2018/12/Ergebnisse\\_Wettbewerb14.pdf](http://www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2018/12/Ergebnisse_Wettbewerb14.pdf) [05.03.2018].
- Solarenergieförderverein Bayern e.V. (SeV) (2017): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse des Wettbewerbs, unter: [www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2018/12/Ergebnisse\\_Wettbewerb.pdf](http://www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2018/12/Ergebnisse_Wettbewerb.pdf) [05.03.2018].
- Solarenergieförderverein Bayern e.V. (SeV) (2019): Architektur und Solarenergie. Gebäudeintegrierte Solartechnik: Aus den Wettbewerben des Solarenergieförderverein Bayern, unter: [https://www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2019/06/sev\\_br\\_gist\\_2019.pdf](https://www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2019/06/sev_br_gist_2019.pdf) [25.04.2021].
- Solarenergieförderverein Bayern e.V. (SeV) (2020): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2020: Ergebnisse des Wettbewerbs, unter: [www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2020/11/Ergebnis\\_Wettbewerb2020.pdf](http://www.sev-bayern.de/wp-content/uploads/2020/11/Ergebnis_Wettbewerb2020.pdf) [25.04.2021].
- Solarserver (2021a): Photovoltaik: Große Wafer und Hocheffizienzmodule wachsen stark, unter: [www.solarserver.de/2021/04/29/photovoltaik-grosse-wafer-und-hocheffizienzmodule-wachsen-stark](http://www.solarserver.de/2021/04/29/photovoltaik-grosse-wafer-und-hocheffizienzmodule-wachsen-stark) [30.05.2021].
- Solarserver (2021b): Avancis mit Rekord bei Wirkungsgrad für PV-Dünnschicht, unter: [www.solarserver.de/2021/03/03/avancis-mit-rekord-fuer-wirkungsgrad-bei-pv-duennschicht](http://www.solarserver.de/2021/03/03/avancis-mit-rekord-fuer-wirkungsgrad-bei-pv-duennschicht) [30.05.2021].
- Staeck Klaus/Odenthal Johannes (2013): Vorwort, in: Wang, Wilfried (Hg.): Kultur:Stadt, Berlin, S. 8-9.
- Solt, Judit (2017): Es muss nicht immer hässlich sein, in: TEC21 46–47/2017, S. 28-31.
- Stark, Thomas (2004): Untersuchungen zur aktiven Nutzung erneuerbarer Energie am Beispiel eines Wohn- und eines Bürogebäudes, Stuttgart.
- Stark, Thomas/Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (WMBW) (Hg.) (2008): Architektonische Integration von Photovoltaik-Anlagen, Stuttgart.
- Stark, Thomas (2009): Solare Energiekonzepte, in: OTTI e. V. (Hg.): 1. Orientierungsseminar Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 03.03.2009. Tagungsband, Regensburg, S. 21–27.
- Starlinger, Manfred (2019): Energiemanager Fassade: PV-Strom-Gewinnung, Sonnenschutz und Tageslichtsteuerung – Systemlösungen, Spezifika, Erträge und Kosten, in: Conexio GmbH (Hg.): BIPV-Forum 2019. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 18.-19.03.2019. Tagungsband, Pforzheim, S. 15-22.
- Statista (2022a): Photovoltaik - Installierte Leistung in Deutschland bis 2021, unter: [de.statista.com/statistik/daten/studie/13547/umfrage/leistung-durch-solarstrom-in-deutschland-seit-1990](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/13547/umfrage/leistung-durch-solarstrom-in-deutschland-seit-1990) [08.06.2022].
- Statista (2022b): Bruttostromverbrauch in Deutschland bis 2021, unter: [de.statista.com/statistik/daten/studie/256942/umfrage/bruttostromverbrauch-in-deutschland](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/256942/umfrage/bruttostromverbrauch-in-deutschland) [08.06.2022].
- Statista (2022c): Strompreise für Privathaushalte bis 2020, unter: [de.statista.com/statistik/daten/studie/914784/umfrage/entwicklung-der-strompreise-in-deutschland-verivox-verbraucherpreisindex](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/914784/umfrage/entwicklung-der-strompreise-in-deutschland-verivox-verbraucherpreisindex) [27.06.2022].
- Statista (2022d): Neuzulassungen von Hybrid- und Elektroautos in Deutschland, unter: [de.statista.com/infografik/2870/neuzulassungen-von-hybrid-und-elektroautos-in-deutschland](https://de.statista.com/infografik/2870/neuzulassungen-von-hybrid-und-elektroautos-in-deutschland) [12.10.2022].
- Stiftung Warentest (2022): Photovoltaik-Rechner, unter: [www.test.de/Photovoltaik-Rechner-1391893-0](http://www.test.de/Photovoltaik-Rechner-1391893-0) [30.07.2022].
- Stratbücker, Sebastian (2019): Nutzen von BIM Planungstools für fassadenintegrierte PV-Module, in: Conexio GmbH (Hg.): BIPV-Forum 2019. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 18.-19.03.2019. Tagungsband, Pforzheim, S. 42-49.
- Trautz, Martin (2012): Architektur und Wissenschaft, in: RTHW Themen 01/2012, S. 6-7.
- Umweltbundesamt (UBA) (2022): Erneuerbare Energien in Zahlen, unter: [www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick](http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick) [10.06.2022].
- Ungers Archiv für Architekturwissenschaft (UAA) (2021): O. M. Ungers - Morphologie - City Metaphors, unter: [www.ungersarchiv.de/index.php/news-reader/City\\_Metaphors.html](http://www.ungersarchiv.de/index.php/news-reader/City_Metaphors.html) [17.11.2021].
- Ullrich, Sven (2016): Das Modul wird zum Bauteil, in: photovoltaik 10/2016, S. 18-21.



- Valena, Tomáš (2014): Beziehungen. Über den Ortsbezug in der Architektur, Aachen.
- Venturi, Robert (2013): Komplexität und Widerspruch in der Architektur, Gütersloh/Berlin/Basel.
- Vitruvius Pollio, Marcus (1981): Zehn Bücher über Architektur, Darmstadt.
- Wagner, Friedrich Christoph (2015): Basics of Design. Ein Gestaltungshandbuch für Architekten und Designer, Stuttgart.
- Walther, Elisabeth (1980): Semiotikforschung am Stuttgarter Institut, in: Semiosis 1+2/1980, S. 185-191.
- Weller, Bernhard et al. (2009): Photovoltaik - Technik, Produkte, Details, München.
- Willkomm, Wolfgang (2018): Akzeptanz erhöhen durch gut integrierte Solararchitektur im Gebäudebestand mit hoher Wirtschaftlichkeit (BIPV). Vortragsfolien 2018, Energieagentur Nordrhein-Westfalen GmbH, Düsseldorf.
- Wirth, Harry et al. (2021): Potenziale der Integrierten Photovoltaik in Deutschland, in: Conexio GmbH (Hg.): 36. PV-Symposium/BIPV-Forum 2021. Online, 18.-26.05.2021. Tagungsband, Pforzheim, S. 209-228.
- Zumthor, Peter (2006): Architektur denken, Basel.

---

Dissertation, HafenCity Universität Hamburg

Studiengang: Architektur

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Willkomm

Prof. Dr.-Ing. Thomas Stark

### **Impressum**

HafenCity Universität Hamburg

Henning-Voscherau-Platz 1

20457 Hamburg

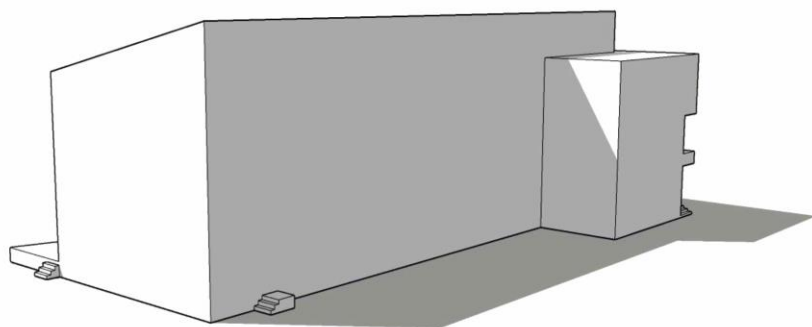
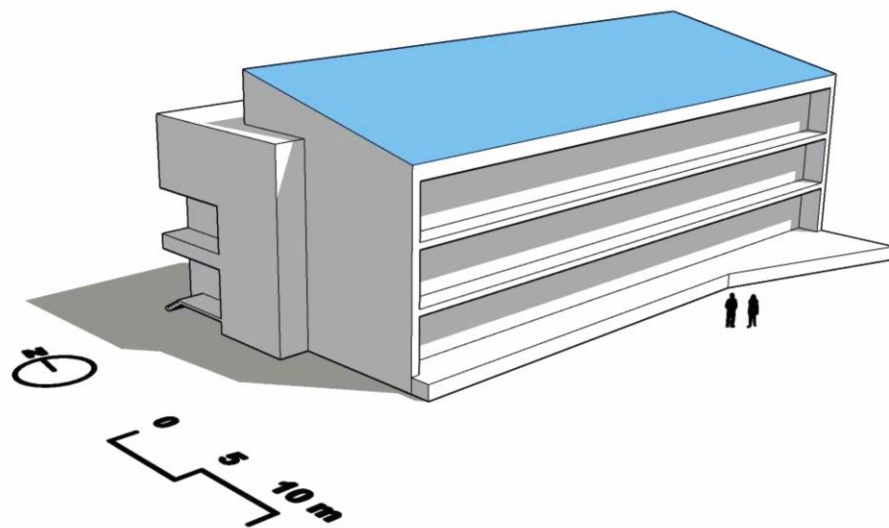
DOI: 10.34712/142.43



## Inhaltsverzeichnis

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>1</b>  | <b>Marché International, Kemptthal (CH), 2007 .....</b>              | <b>3</b>   |
| <b>2</b>  | <b>Solarhaus, Darmstadt (DE), 2007 .....</b>                         | <b>13</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Solar XXI, Lissabon (PT), 2006 .....</b>                          | <b>24</b>  |
| <b>4</b>  | <b>Halle design.s, Freising (DE), 2010.....</b>                      | <b>35</b>  |
| <b>5</b>  | <b>SMA Solar Academy, Niestetal (DE), 2010 .....</b>                 | <b>45</b>  |
| <b>6</b>  | <b>Umweltarena Spreitenbach (CH), 2012 .....</b>                     | <b>56</b>  |
| <b>7</b>  | <b>SwissTech Convention Center, Lausanne (CH), 2012.....</b>         | <b>66</b>  |
| <b>8</b>  | <b>Wohnhaus Glattfelden (CH), 2013 .....</b>                         | <b>76</b>  |
| <b>9</b>  | <b>Aktiv-Stadthaus, Frankfurt a. M. (DE), 2015.....</b>              | <b>86</b>  |
| <b>10</b> | <b>Copenhagen International School, Nordhavn (DK), 2017 .....</b>    | <b>96</b>  |
| <b>11</b> | <b>Wohnhaus Schneller Bader, Tamins (CH), 2016.....</b>              | <b>108</b> |
| <b>12</b> | <b>Grosspeter Tower, Basel (CH), 2017 .....</b>                      | <b>118</b> |
| <b>13</b> | <b>Kath. Propsteikirche St. Trinitatis, Leipzig (DE), 2015 .....</b> | <b>128</b> |

# 1 Marché International, Kempptthal (CH), 2007



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 1.1 Projektdaten



Abb. 1.1: Ansicht

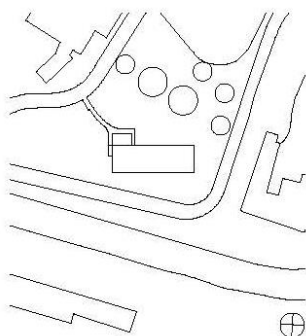


Abb. 1.2: Lageplan

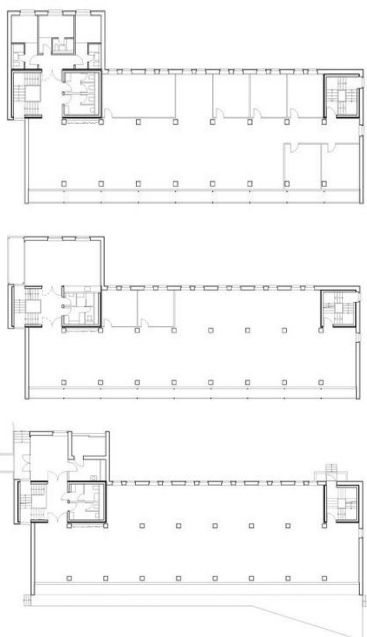


Abb. 1.3: Grundrisse

| <b>Projekt</b>   |   |
|--|---|
| Name   | Marché International  |
| Standort   | Kempththal (CH)   |
| Fertigstellung   | 2007  |
| Gebäudenutzung   | Bürogebäude   |
| <b>Planung</b>   |   |
| Bauftrag   | Marché International AG   |
| Architektur  | Beat Kämpfen - Büro für Architektur   |
| Photovoltaik   | Beat Kämpfen - Büro für Architektur, Naef Energietechnik (Planung), Sun-Technics Fabrisolar AG (Ausführung) |
| <b>BIPV-System</b>   |   |
| Modulart   | Dünnschicht-Glas-Glas Standardmodule, rahmenlos   |
| Anwendungsbereich  | Dach  |
| Ausrichtung  | 12 °, Süd <sup>[3]</sup>  |
| PV-Belegung  | ca. 26 % (485 m <sup>2</sup> von ca. 1.900 m <sup>2</sup> )   |
| Nennleistung   | 44,6 kWp <sup>[3]</sup> <sup>[4]</sup>  |
| Jahresertrag   | 40.000 kWh/a <sup>1</sup> , <sup>[3]</sup> <sup>[4]</sup>   |
| Spezifischer Jahresertrag  | 896,9 kWh/kWp   |
| Solarer Deckungsgrad   | 100 % <sup>[5]</sup> <sup>[6]</sup>   |
| <b>Veröffentlichungen</b>  |   |
| Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik   |   |
| Lenz/Schreiber/Stark (2010): Nachhaltige Gebäudetechnik  |   |
| DETAIL Green 01/2009   |   |
| <b>Wettbewerbe</b>   |   |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008 (1. Preis) <sup>2</sup>  |   |
| National Energy Globe Award Switzerland 2008   |   |
| EuroSolar 2008   |   |
| Schweizer Solarpreis 2007 (Kategorie B Gebäude)  |   |
| <b>Kurzbeschreibung</b>  |   |
| Der Neubau eines Bürogebäudes mit 50 Arbeitsplätzen für die Marché International AG gilt als der erste der Schweiz mit einer tatsächlichen Nullenergiebilanz. Das architektonische Konzept verbindet passive Solarenergienutzung, einen kompakten Baukörper und klare Grundrisse mit innovativer Photovoltaik-Technik. |   |

<sup>1</sup> Prognostizierter Jahresertrag.

<sup>2</sup> Damals unter dem Titel „Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik“.

## 1.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2008): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008: Ergebnisse:

*„Den Architekten gelingt eine unaufdringliche, indes äußerst sorgfältige und elegante Detaillierung des Daches und seiner Ränder. Die geschuppte Ausführung der eher kleinteiligen, anthrazitfarbenen Glas-Glas-Dünnschichtmodule führt zu einer ausgewogen strukturierten, ästhetisch überzeugenden, in ihrer Eleganz vorbildlichen und maßstabsetzenden Dachfläche.“<sup>3</sup>*

Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik:

*„Den Architekten gelingt eine unaufdringliche, aber äußerst elegante Detaillierung des Dachs und seiner Ränder. Die kleinteilige, geschuppte Ausführung lässt eine ausgewogen strukturierte, ästhetisch überzeugende maßstabsetzende Dachfläche entstehen.“<sup>4</sup>*

Schwabe (2009): Hauptsitz der Marché-Restaurants, DETAIL Green 01/2009:

*„Das Gebäude [...] präsentiert sich als schlichter hölzerner Kubus mit flachem Pultdach. Der Eingang wird durch einen mit schwarzen Holzwerkstoffplatten verkleideten kubischen Anbau an der Nordweststrecke betont. Es ist eine Architektur entstanden, die sich in vielen Schichten als Ergebnis ökologischer Überlegungen lesen lässt und daraus ihren Ausdruck und ihre Qualität bezieht. So zeigt der Baukörper in seiner Lage auf dem schmalen Grundstück keinen Bezug zu den umgebenden Straßen, er wurde nach rein solaren Gesichtspunkten exakt nach Süden orientiert. [...] Während die Südfassade [...] Wärmeenergie ins Gebäude holt, dient das mit 12° nach Süden geneigte Pultdach als Stromerzeuger, es ist vollständig mit PV-Dünnschichtzellen belegt. Die anthrazitfarbenen Solarmodule bilden eine geschuppte Dachhaut [...]. Während der Versuch, PV-Elemente in die Gebäudehülle zu integrieren, bei manchen aktuellen Gebäuden einen überinszenierten Eindruck hinterlässt, erreicht diese Maßnahme hier eine hohe gestalterische Qualität. Dies betrifft sowohl die sorgfältige Ausbildung des Dachrandes als auch die Gesamterscheinung des Gebäudes – auch wenn die dezent schimmernde Dachfläche meist außerhalb des Blickwinkels liegt.“<sup>5</sup>*

Die Erscheinung der integrierten PV-Anlage wird als „unaufdringlich“, „elegant“ und „ausgewogen“ beschrieben mit einer insgesamt hohen gestalterischen Qualität. Der Generator erscheint wie ein selbstverständliches Element der Gebäudehülle, das mit dieser zu einer optischen Einheit verschmilzt, und ordnet sich ausgewogen in die Gesamtgestaltung ein.



<sup>3</sup> SeV 2008, S. 3.

<sup>4</sup> Krippner 2016, S. 116.

<sup>5</sup> Schwabe 2009, S. 34, 37.

## 1.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

### 1.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 1.4: Ansicht von Südwesten



Abb. 1.5: Ansicht von Westen

#### Proportionale Bezüge

Die Generatordimension entspricht exakt der Fläche des gesamten Pultdaches. Der Generator ist ebenso rechteckig wie die Nord- und Südfassade, wobei die Längen genau übereinstimmen. Er fügt sich vollständig in eine Fläche der insgesamt klaren, geometrischen Gebäudeform und ist auch für sich betrachtet wohlproportioniert. Die Module haben eine Größe von 120 x 60 cm,<sup>[3]</sup> also ein Seitenverhältnis von 1 zu 2, das in der verkürzten Ansicht allerdings nicht als solches wirksam wird. Deutlich wahrnehmbar ist allerdings die Horizontalität der Gliederung der Dachfläche, die besonders gut mit der horizontalen Gliederung der Fassade und ihrer Holzschalung korrespondiert. Durch die Rahmenlosigkeit der Module ist die Binnengliederung des Generators dezent. Aufgrund der Dünnschicht-Technologie sind keine einzelnen Zellen ablesbar, die als eigenständige Form wirksam werden könnten.

#### Flächenintegrität

Die rechteckige Dachfläche ist vollflächig belegt, ohne Restflächen oder Durchdringungen. Das Dach ist flächenbündig bis zur äußersten Kante und ohne sichtbaren Überstand mit PV-Modulen ausgefüllt. Hierdurch treffen sich Dach- und Fassadenflächen in den Vordergrund treten. Dieses Vorgehen bei der Detaillierung der seitlichen, first- und traufseitigen Dachabschlüsse unterstreicht die klare und einfache Form des Gebäudes.

#### Formprägung

Der Baukörper ist durchaus geprägt von dem nach Süden geneigten PV-Dach, das allerdings gleichermaßen in seiner Kontur auf den Baukörper abgestimmt ist.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Die Flächengröße der PV-Anlage liegt im Verhältnis zur übrigen Fassade bei ca. 26 % und ist damit eher niedrig.

BIPV-Anlage und Gebäude sind hinsichtlich proportionaler Bezüge, der Flächenintegrität und Formprägung und auch in Bezug auf die Flächenverhältnisse Ebenen aufeinander abgestimmt. Insgesamt erscheint die BIPV unauffällig bis ausgewogen.





### 1.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 1.6: Dachansicht



Abb. 1.7: Detailansicht Dach

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Der Gesamtgenerator harmoniert in seiner Größe sehr gut mit den übrigen Flächen des Gebäudes. Er ist maßstäblich anderen Flächen sehr ähnlich. Seine kleinteilige, geschuppte Binnengliederung lässt das Dach feinstrukturiert und kleinmaßstäblich wirken und harmoniert mit der Struktur der Holzfassade.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Allgemein stehen Elemente eines Gebäudes wie sein Dach weniger in direktem Bezug zu körperlichen Voraussetzungen oder funktionalen Anforderungen des Menschen, dennoch kann hier festgestellt werden, dass der Generator mit allen seinen Elementen im Vergleich mit menschlichen Maßen angemessen dimensioniert ist.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Sowohl die Größe des Gesamtgenerators als auch die der einzelnen Module entsprechen den Größen üblicher Dächer und Dachmaterialien.

In ihrer Maßstäblichkeit ist die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle sowie menschliche und bauübliche Maßstäbe abgestimmt und erscheint hinsichtlich ihrer Gestaltprägung insgesamt unauffällig bis ausgewogen.



### 1.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 1.8: Detailansicht Farben PV-Bauteile

#### Abgestimmte Farbtöne

Der Generator in seiner Gesamterscheinung bildet eine komplementäre Farbharmonie zu den holzfarbenen Teilen der Fassade (Anthrazit zu Hellbraun) und eine analoge Farbharmonie zu den übrigen Fassaden des Treppenhauses im Nordwesten und der Verglasung im Süden (Anthrazit zu Dunkelgrau und verschiedenen Metall-Grautönen). Die Module selbst bilden über die Gesamtwirkung des Generators hinaus keine Farbbeziehungen zu anderen Teilen des Gebäudes, da sie insbesondere aus der Entfernung farblich homogen Anthrazit erscheinen, obwohl sie bei genauerer Betrachtung einen feinen silberfarbenen Modulrahmen und -klemmen haben. Zellen sind aufgrund der Dünnschicht-Technologie nicht als solche ablesbar. Modulrahmen und -klemmen sind so fein, dass sie optisch nicht in Erscheinung treten. Auf weitere Einfassungen, Anschlusssteile o.ä. wurde bewusst verzichtet.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Zwischen der Generatorfläche und den Holzoberflächen der Fassade besteht ein hoher Helligkeitskontrast, ebenso zu den transparenten Teilen der verglasten Südfassade.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Die Farbsättigung ist bei allen Materialien gleich niedrig.



Abb. 1.9: Detailansicht Farben Holzfasade und Südfassade

Bezüglich ihrer Farbgebung erscheint die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle abgestimmt. Auch wenn leichte Kontraste im Bereich der Farbtöne und -helligkeiten bestehen, ist dieser Effekt zwischen Dach- und Fassadenflächen üblich und bekannt. Insgesamt erscheint sie hinsichtlich ihrer farblichen Gestaltprägung ausgewogen.



### 1.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 1.10: Glanz und Transparenzen am Gebäude

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Sowohl die Generatorfläche im Ganzen als auch alle Einzelbestandteile der PV-Anlage sind opak. Auch die übrige Gebäudehülle, die zu großen Teilen aus Schalungsbrettern aus Douglasie besteht, ist überwiegend opak. Lediglich die Südfassade besteht zu gleichen Teilen aus transparenter Verglasung und transluzentem PCM.<sup>[2]</sup> Die Verhältnisse opaker und transluzenter Flächenanteile sind ausgewogen und Bauteil-üblich.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Der Vergleich der Glanz- und Reflexionsgrade zeigt, dass die PV-Bauteile leicht glänzend ausgeführt sind (der feine „Rand“ und die Halteklammern sind matt). Die übrige Fassade, insbesondere die Douglasien-Verschalung, erscheint hingegen matt, während die Verglasung spiegelnd ist. Matt glänzend ist die Anlage also vor allem auf die opaken Teile der Gebäudehülle wie die Holzfasade abgestimmt. Die Module fügen sich materiell ausgewogen und harmonisch ein, da sie sich nur in wenigen Charakteristiken von den übrigen Elementen der Fassade unterscheiden (insbesondere hinsichtlich ihres Glanzgrades). Es entsteht insgesamt ein harmonischer Kontrast zwischen Holz, Glas und Metall.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Bezüglich der Oberflächentexturen erscheint die PV-Dachfläche eher glatt gegenüber der Fassade, die überwiegend rau ist, abgesehen von der verglasten Südfassade.



Abb. 1.11: Detailansicht der Giebelkante

In der materiellen Komposition hebt sich der Generator in seinen Eigenschaften bewusst von der Holzfasade ab. Glatte, leicht glänzende Glasoberflächen stehen matten Holzoberflächen gegenüber. Dennoch wirken die Materialien durchaus ausgewogen aufeinander abgestimmt.

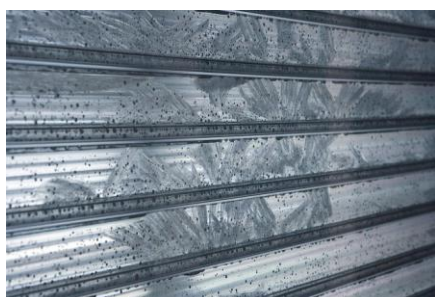


Abb. 1.12: Detailansicht der mit Phasenwechselmaterial (PCM) aus Salzhydrat gefüllten Scheiben

### 1.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 1.13: Einbettung in die Umgebung



Abb. 1.14: Luftaufnahme der umgebenden Nachbarschaft

#### Farbliche Bezüge

Die anthrazite Dachanlage ist auf die Farben der umgebenden Bebauung abgestimmt. Sie passt sich farblich an, um sich harmonisch einzufügen.

#### Materielle Bezüge

Opak, aber dennoch matt glänzend und glatt fügt sich die Anlage harmonisch ein, ohne sich zu stark abzuheben.

#### Formale Bezüge

Die geneigte, rechteckige Form der Dachfläche und ihre kleinteilig gedeckte Struktur, nehmen Bezüge umgebender Bauweisen auf und fügen sich in ähnliche Dächer der Umgebung ein.

Bezüge zur Umgebung wurden insbesondere durch die farbliche Anpassung und die materielle Ähnlichkeit der BIPV gestaltet, lediglich formal hebt sich das Pultdach leicht ab. Bezogen auf den Grad der Gestaltprägung erscheint sie insgesamt ausgewogen.



### 1.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung

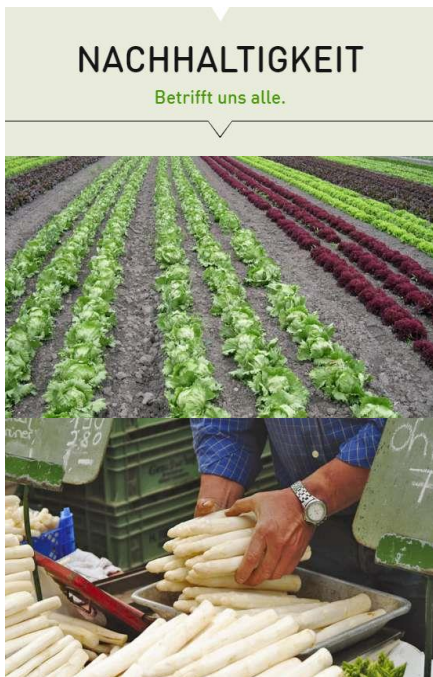


Abb. 1.15: Thematisierung von Nachhaltigkeit durch die Marché International AG



Abb. 1.16: Logo der Marché International AG 2007

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Von der Gestaltung der PV-Anlage geht keine ornamentale Wirkung aus.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Das Gebäude als Hauptverwaltungssitz der Marché International AG dient durchaus als Repräsentanz für Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit. Die Firma selbst wirbt stark mit dem Anspruch an Lieferanten, Partner und die eigene Führungs- und Organisationskultur, ethisch und ganzheitlich nachhaltig zu agieren. In diesem Zusammenhang harmonisiert die Integration von PV (als einer von mehreren Bestandteilen des Gebäude-Energiekonzeptes) ein sichtbares Zeichen für Umweltbewusstsein, gesellschaftliche Verantwortung und die Bereitschaft in Ökologie zu investieren. *"Marché International ist ein Unternehmensbereich der Mövenpick Gruppe und betreibt rund 100 gastronomische Betriebe an Autobahnen, Flughäfen und Bahnhöfen in der Schweiz, Deutschland, Österreich, Slowenien, Norwegen und Asien. Für den Neubau des Support Office galten die gleichen Kriterien wie für die Auswahl und Verarbeitung der angebotenen Produkte in den Restaurants: hochwertige Produkte von regionalen Produzenten, biologisch produziert und umweltschonend zubereitet werden in entspanntem Ambiente angeboten."*<sup>[3]</sup> Die Corporate Identity der Marché International AG findet dagegen keine direkte gestalterische Übersetzung in der Gestaltung der PV-Anlage. Dies war von Seiten der Bauauftraggebenden aber auch nicht vorgegeben.

In der Kombination von keiner explizit ornamentalen Wirkung und einer leichten, symbolischen Wirkung hat das Gebäude insgesamt eine unauffällige bis ausgewogene Zeichenwirkung.



Abb. 1.17: Infotafel vor dem Gebäude



### 1.4 Funktionen der BIPV-Anlage

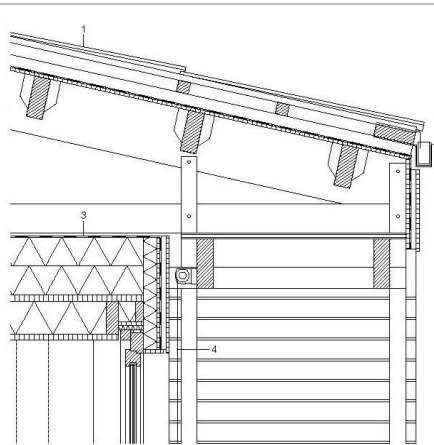


Abb. 1.18. Detailschnitt Dach

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Stromproduktion</b>  | Die Anlage erzeugt 100 % der benötigten elektrischen Energie.   |
| <b>Witterungsschutz</b> | Durch die Verwendung der Module wie Dachziegel, ist keine weitere, wasserdichte Schicht erforderlich. |

### 1.5 Systemtechnik

|                                  |                      |            |               |
|----------------------------------|----------------------|------------|---------------|
| <b>Energiebedarf</b>             |                      |            |               |
| EBF: 1'516 m <sup>2</sup>        | kWh/m <sup>2</sup> a | %          | kWh/a         |
| Heizung:                         | 7.9                  | 30         | 11'975        |
| Warmwasser:                      | 4.0                  | 15         | 6'065         |
| Elektrizität Büroetr.:           | 14.5                 | 55         | 21'960        |
| <b>Gesamtenergiebedarf:</b>      | <b>26.4</b>          | <b>100</b> | <b>40'000</b> |
| <b>Eigenenergieerzeugung</b>     |                      | kWh/       | EEE           |
| 2007: PV-Dünnschichtzellen à 8%η | 40'000               |            | 100%          |
| Eigenenergieerzeugung 2007:      | 40'000               |            | 100%          |

Abb. 1.19: Energiebilanz

|   |   |
|---|---|
| <b>1. Standort</b>                      | 47° 26' N / 8° 42' O  |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>      | 12°, Süd <sup>[3]</sup>   |
| <b>3. Verschattung</b>                  | unverschattet   |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b> |   |
| <u>Gesamtsystem</u>                     |   |
| Anwendungsbereich                       | Dach  |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 26 %  |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 485 m <sup>2</sup> <sup>[3]</sup> <sup>[4]</sup> von ca. 1.900 m <sup>2</sup> |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>             | 92,0 Wp/m <sup>2</sup>  |
| Nennleistung                            | 44,6 kWp <sup>[5]</sup> <sup>[7]</sup>  |
| Jahresertrag                            | 40.000 kWh/a <sup>6</sup> <sup>[3]</sup> <sup>[5]</sup>                       |

<sup>6</sup> Prognostiziert. <sup>[3]</sup>

|   |  |
|---|--|
| Solarer Deckungsgrad  | 100 % <sup>[1]</sup> <sup>[4]</sup>                      |
| Anschluss   | Netzanschluss  |
| Anzahl Module   | 660 <sup>[5]</sup> <sup>[7]</sup>                        |
| Anzahl Wechselrichter   | k. A.  |
| <u>Module</u>   |  |
| Art   | Rahmenlose Glas-Glas-Dünnschicht-Standardmodule          |
| Hersteller  | Firstsolar   |
| Größe   | 120 x 60 cm <sup>[3]</sup>                               |
| Produktbezeichnung  | Dünnschicht FS 67,5 <sup>[7]</sup>                       |
| Modulwirkungsgrad   | 8 % <sup>[6]</sup>                                       |
| Nennleistung  | 67,5 Wp  |
| Modulfläche   | 0,72 m <sup>2</sup>                                      |
| <u>Zellen</u>   |  |
| Art   | a-Si <sup>[5]</sup>                                      |
| Farbe   | Anthrazit  |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | Die Dachanlage ist hinterlüftet.                         |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | k. A.  |
| <b>7. Speicherung</b>   | Der Anschluss an das Stromnetz dient als Pufferspeicher. |

## 1.6 Nachweise

### 1.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] SeV 2008, S. 2.  
 [2] Krippner 2016, S. 72.  
 [3] Krippner 2016, S. 116-117.  
 [4] Lenz/Schreiber/Stark 2010, S. 98-99.  
 [5] Swiss BiPV Competence Center 2020.  
 [6] SAS 2007, S. 32-33.  
 [7] SunTechnics Fabrisolar 2020.

### 1.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.1: Ansicht (SAS 2007, S. 1)  
 Abb. 1.2: Lageplan (Krippner 2016, S. 116)  
 Abb. 1.3: Grundrisse (Lenz/Schreiber/Stark 2010, S. 98)  
 Abb. 1.4: Ansicht von Südwesten (SAS 2007, S. 1)  
 Abb. 1.5: Ansicht von Westen (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/buero-gewerbe/buero-gebaeude-in-kempththal-ch-764455/gallery-1/2> [13.05.2020])  
 Abb. 1.6: Dachansicht (SAS 2007, S. 33)  
 Abb. 1.7: Detailansicht Dach (Marche Restaurants Schweiz AG, unter: [https://pius-schuler.ch/wp-content/uploads/2020/01/marche\\_factsheet.pdf](https://pius-schuler.ch/wp-content/uploads/2020/01/marche_factsheet.pdf) S. 5 [12.07.2020])  
 Abb. 1.8: Detailansicht Farben PV-Bauteile (Krippner 2016, S. 117)  
 Abb. 1.9: Detailansicht Farben Holzfassade und Südfassade (Marche Restaurants Schweiz AG, unter: [https://pius-schuler.ch/wp-content/uploads/2020/01/marche\\_factsheet.pdf](https://pius-schuler.ch/wp-content/uploads/2020/01/marche_factsheet.pdf) S. 8 [12.04.2020])  
 Abb. 1.10: Glanz und Transparenzen am Gebäude (eigene Aufnahme)

Abb. 1.11: Detailansicht der Giebelkante (SeV 2008, S. 3)

Abb. 1.12: Detailansicht der mit Phasenwechselmaterial (PCM) aus Salzhydrat gefüllten Scheiben (Kämpfen Zinke + Partner AG, unter: [https://www.kaempfen.com/images/030\\_projekte/vor2010/175\\_marche/marche-nullenergie-buerogebaeude-kaempfen-fuer-architektur-07.jpg](https://www.kaempfen.com/images/030_projekte/vor2010/175_marche/marche-nullenergie-buerogebaeude-kaempfen-fuer-architektur-07.jpg) [12.07.2021])

Abb. 1.13: Einbettung in die Umgebung (eigene Aufnahme)

Abb. 1.14: Luftaufnahme der umgebenden Nachbarschaft (eigene Aufnahme)

Abb. 1.15: Thematisierung von Nachhaltigkeit durch die Marché International AG (Marche Restaurants Schweiz AG, unter: [https://media.marche-movenpick.com/karmarun//image/upload/q\\_60,w\\_550,h\\_330,c\\_fill/marche/BkU\\_cqgPM-spargel.jpg](https://media.marche-movenpick.com/karmarun//image/upload/q_60,w_550,h_330,c_fill/marche/BkU_cqgPM-spargel.jpg) [12.04.2020])

Abb. 1.16: Logo der Marché International AG 2007 (Wikipedia/Marche Restaurants Schweiz AG, unter: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e1/March%C3%A9-Logo.svg/1200px-March%C3%A9-Logo.svg.png> [12.04.2020])

Abb. 1.17: Infotafel vor dem Gebäude (eigene Aufnahme)

Abb. 1.18: Detailschnitt Dach (Krippner 2016, S. 117)

Abb. 1.19: Energiebilanz (SAS 2007, S. 32)

### 1.6.3 Bibliografie

Kämpfen Zinke + Partner AG (2020): Projektbeschreibung Marché International Kempptthal, unter: <https://www.kaempfen.com/projekte/neubauten/marche-international-2007> [24.08.2020].

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, München, 2016.

Lenz, Bernhard/Schreiber, Jürgen/Stark, Thomas (2010): Nachhaltige Gebäudetechnik: Grundlagen, Systeme, Konzepte, München, 2010.

Schwabe, Holger (2009): Hauptsitz der Marché-Restaurants, in: DETAIL Green 01/2009, S. 34-41.

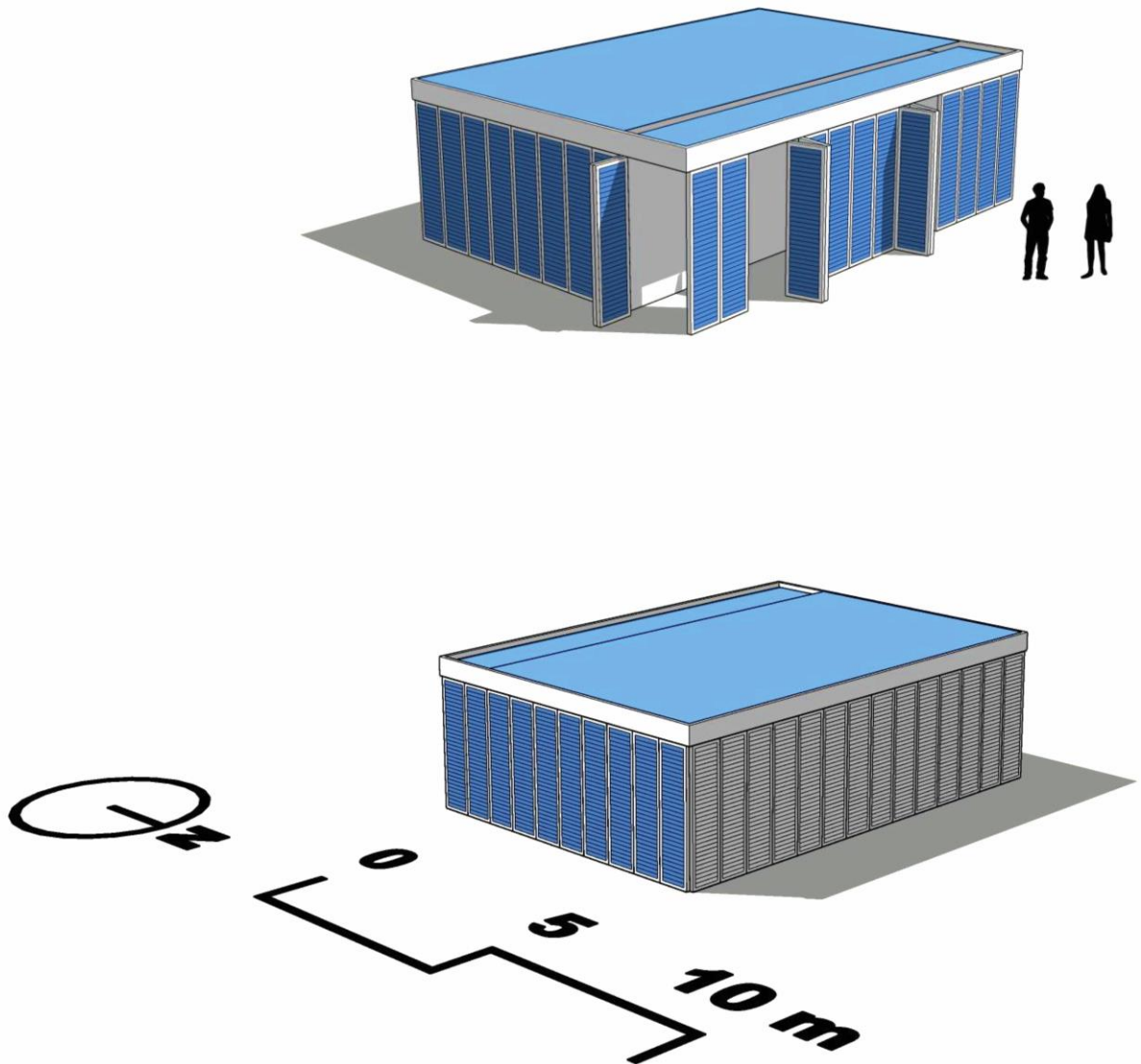
Solar Agentur Schweiz (SAS) (2007): 17. Schweizer Solarpreis 2007: Die beste Schweizer Solararchitektur, Zürich, 2007.

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2008): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008: Ergebnisse, München.

SunTechnics Fabrisolar AG (2020): Referenzen. Kempptthal ZH. Hauptsitz Mövenpick Group, unter: <https://suntechnics.ch/de/referenzen/integriert/moevenpick> [24.08.2020].

Swiss BiPV Competence Center (SUPSI) (2020): Marché International. Buildings Details, unter: [http://www.bipv.ch/images/esempi/amministrativo/marche\\_international/March%C3%A8\\_International\\_2013\\_ENG.pdf](http://www.bipv.ch/images/esempi/amministrativo/marche_international/March%C3%A8_International_2013_ENG.pdf) [24.08.2020].

## 2 Solarhaus, Darmstadt (DE), 2007



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 2.1 Projektdaten



Abb. 2.1: Ansicht

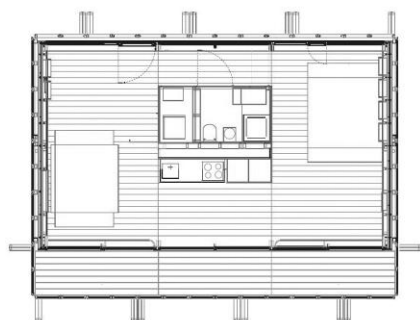


Abb. 2.2: Grundriss

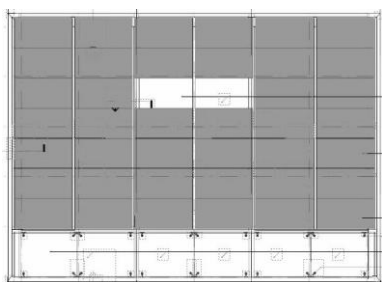


Abb. 2.3: Aufsicht

| <b>Projekt</b>  |  |
|---|--|
| Name  | Solarhaus  |
| Standort  | Darmstadt (DE)   |
| Fertigstellung  | 2007   |
| Gebäudenutzung  | Wohngebäude (Wettbewerbsbeitrag zum Solar Decathlon 2007)  |
| <b>Planung</b>  |  |
| Architektur   | Team Deutschland der TU Darmstadt  |
| Photovoltaik  | Studierende der TU Darmstadt in Kooperation mit der TU München und einem mittelständischen Fassadenbauunternehmen <sup>7</sup>     |
| <b>BIPV-System</b>  |  |
| Modulart  | Monokristalline Module (Dach), Monokristalline, semitransparente Glas-Glas-Module (Veranda), Dünnschicht Lamellen-Module (Fassade) |
| Anwendungsbereich   | Dach und Fassade   |
| Ausrichtung   | 3 °, Süd und Nord <sup>[6]</sup> und bewegliche Module in den Lamellen   |
| PV-Belegung   | ca. 58 % (105 m <sup>2</sup> von ca. 180 m <sup>2</sup> )  |
| Nennleistung  | ca. 11 kWp   |
| Jahresertrag  | 12.000 kWh/a <sup>[6]</sup>  |
| Spezifischer Jahresertrag   | 1.090 kWha/kWp   |
| Solarer Deckungsgrad  | > 100 %  |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |  |
| db deutsche bauzeitung 11/2007  |  |
| <b>Wettbewerbe</b>  |  |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008 (Anerkennung) <sup>8</sup>  |  |
| DETAIL Preis 2009 (Studentischer Sonderpreis)   |  |
| bauwelt Preis 2009 (Kategorie Prototypen)   |  |
| Holzbaupreis 2008 (Anerkennung)   |  |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |  |
| Das autarke Wohnhaus, das an der TU Darmstadt entwickelt wurde, ist der Wettbewerbssieger des Solar Decathlon 2007. Auf 75 m <sup>2</sup> vereint es flexible Wohnsituationen mit nachhaltiger Gebäudetechnik und experimenteller Holz-Leichtbauweise. Teil des Energiekonzept sind drei unterschiedliche PV-Anlagen, die an verschiedenen Stellen in die Gebäudehülle integriert sind. |  |

<sup>7</sup> Vgl. TU Darmstadt 2007a, S. 3.

<sup>8</sup> Damals unter dem Titel „Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik“.



## 2.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2008): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008: Ergebnisse:

*„Für das Experimentalgebäude [...] sind die in Dach und Fassade integrierten solartechnischen Systeme wichtiger Beitrag zum Ziel: ‚Energieautonomie‘. Insbesondere im Bereich der Fassaden gelingt die multifunktionale Koppelung von Holz, als nachwachsenden Baustoff, und Photovoltaik. Die amorphen Siliziummodule sind in den Holzlamellen gestalterisch und konstruktiv schlüssig integriert. Damit ist ebenso eine verschattungsfreie Nachführung möglich wie ein angepasstes Maß an Semitransparenz der Fassade.“<sup>9</sup>*

Fritzenwallner (2007): Weises Haus in Washington, db deutsche bauzeitung 11/2007:

*„Ausragendes Dach nach Süden [...]. Dieses besteht aus einer Verglasung mit PV-Modulen, die ausreichend verschatten und ein interessantes Lichtspiel ergeben. [...] In den Dachaufbau und in die Fassadenkonstruktion sind PV-Elemente integriert. [...] Die PV-Module werden mit 3° Neigung gen Süden sowie gen Norden Reihe für Reihe ausgerichtet. Durch diese ‚Wellenanordnung‘ wird ein sehr flacher Dachaufbau erreicht; die PV-Module passen sich somit der Architektur an und nicht umgekehrt.“<sup>10</sup>*

Solarportal24 (2007): Darmstädter Solarhaus gewinnt Solar Decathlon, Solarportal24 online (22.10.2007):

*„Der skulpturale Entwurfsansatz des Siegerkonzeptes [...] konnte am Ende aufgrund des hohen integrativen Potenzials aller Anforderungen überzeugen.“*

Die Wirkung der integrierten Anlage wird als „gestalterische schlüssig“, „[in ihrer Transparenz] anpassbar“, besonders „integrativ“ und „angepasst“ beschrieben. Alle drei Anlagen-Teile des Gesamtgenerators fügen sich diskret und unauffällig in die Gestaltung ein.



<sup>9</sup> SeV 2008, S. 6.

<sup>10</sup> Fritzenwallner 2007, S. 72-73.

## 2.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

Der Gesamtgenerator am Gebäude besteht aus drei Teilanlagen: einer Anlage aus opaken, monokristallinen Modulen auf dem Flachdach, einer semitransparenten Anlage aus monokristallinen Modulen mit perforierten Zellen über der Veranda und den mit amorphen Siliziumzellen bestückten Holzlamellen in der Fassade. Die Analyse bezieht sich vorrangig auf die PV-Lamellen und die Teilanlage über der Veranda.

### 2.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 2.4: Luftaufnahme des Gebäudes

#### Proportionale Bezüge

Alle Anlagen sind für sich exakt auf die Flächen abgestimmt, die ihnen gewidmet sind. Beide Dachanlagen entsprechen in ihren Maßen den jeweiligen Dachflächen. Die Dünnschichtmodule der Fassade sind genau an die Maße der Holzlamellen angepasst.

Auch die Binnengliederung der jeweiligen Teil-Anlagen ist genau auf die Gliederung des Gesamtgebäudes und seine Fassade abgestimmt. Dies gilt für beide Dachanlagen sowie für die PV-Lamellen in der Fassade. Die Dünnschichtmodule auf den Falltüren entsprechen in Anordnung und Proportion exakt den Lamellen und fügen sich so absolut unauffällig ein. Alle Fassadenseiten des Gebäudes sind gleichermaßen von der horizontalen Lamellen-Struktur der Falltüren geprägt (auch wenn der nördliche Teil unbestückt ist), sodass eine homogene Erscheinung entsteht.

Die opake Dachanlage ist vom Boden aus nicht sichtbar. Die Gliederung ihrer Module, die von den monokristallinen Zellen ausgeht, ist somit nicht vorrangig gestalterisch relevant. Die Gliederung der semitransparenten Module über der Veranda durch ihre monokristallinen Zellen, ist dagegen deutlich wahrnehmbar und wird durch die Perforierung der Zellen noch unterstrichen. Dieser Effekt ist allerdings bewusst so prägnant gestaltet, um an dieser Stelle ein spannendes Schattenspiel zu erzeugen.<sup>11</sup> An den Lamellen sind aufgrund der Dünnschicht-Technologie keine einzelnen Zellen ablesbar, die als eigenständige Form wirksam werden könnten.

#### Flächenintegrität

Die Belegung und Gestaltung aller photoaktiver Flächen ist sorgfältig abgestimmt. Insbesondere die Anlage über der Veranda und die PV-Lamellen sind flächenbündig und entsprechend den genauen Maßen ohne Restflächen oder Durchdringungen gestaltet. Lediglich die Dachanlage ist leicht aufgeständert und wechselnd geneigt, dieser Effekt wird aber deutlich von der umlaufenden Dachaufkantung gemildert.

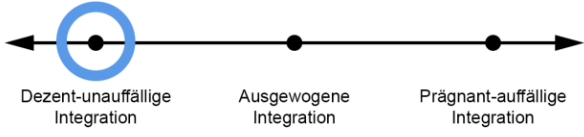
#### Formprägung

Insbesondere die beiden Dachanlagen sind in ihrer horizontalen Ausrichtung und flächenfüllenden Gestaltung deutlich von der Form des Gebäudes geprägt. Die großflächige Lamellen-Anlage prägt die Erscheinung des Gebäudes dagegen stärker.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Das Flächenverhältnis zwischen PV-Elementen und übrigen Elementen der Fassade fällt für eine diskrete Lösung recht hoch aus. Aufgrund der konsequenten Formabstimmung fallen die PV-Teile trotz ihres mengentechnisch hohen Gewichts optisch aber erst auf den zweiten Blick auf. Allgemein sind insbesondere die Sonnenschutzlamellen für sich als Form am Gebäude ein bekanntes Architekturelement. Ca. 105 m<sup>2</sup> (ca. 55 m<sup>2</sup>, ca. 15 m<sup>2</sup> und ca. 35 m<sup>2</sup>) von ca. 180 m<sup>2</sup> insgesamt entsprechen ca. 58 %.

<sup>11</sup> TU Darmstadt 2007a, S. 4.

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Bezüglich ihrer Maß- und Mengenverhältnisse sind PV und Gebäude bezüglich aller Teilkriterien sorgsam aufeinander abgestimmt. Die BIPV erscheint dezent-unauffällig.</p>  |
|--|--|

### 2.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 2.5: Ansicht Veranda mit Person

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Im Größenvergleich zwischen den einzelnen Anlagen und anderen Flächen des Gebäudes, mit denen sie interagieren, sind diese identisch. Die Dachanlagen entsprechen der Größe der Dachflächen und die Fassadenmodule entsprechen der Größe der Holzlamellen. Sie sind in ihrer Maßstäblichkeit also völlig angeglichen.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Auch auf der Ebene menschlicher Maßstäbe ist der Gesamtgenerator angemessen dimensioniert.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Bauübliche Maßstäbe werden am ehesten noch im Bereich der opaken Dachanlage überschritten, deren Einzelmodule für eine Dachdeckung in ihrer Größe nicht der Norm üblicher Dachdeckungsmaterialien entspricht. Für die semitransparente Dachanlage gilt dies allerdings nicht. Sie entspricht im Größenvergleich einer Wintergartenverglasung oder ähnlichem und insbesondere die Binnengliederung der Module durch die Zellen lässt sie hierbei noch kleinteiliger erscheinen. Die PV-Lamellen entsprechen in ihrer Maßstäblichkeit exakt denen bauüblicher Sonnenschutzlamellen, wodurch sie sich besonders dezent einfügen.

Die Maßstäblichkeit der BIPV wurde auf vielen Ebenen auf die Erscheinung des Gesamtgebäude abgestimmt und wirkt, stark angepasst, dezent-unauffällig.



### 2.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 2.6: Ansicht

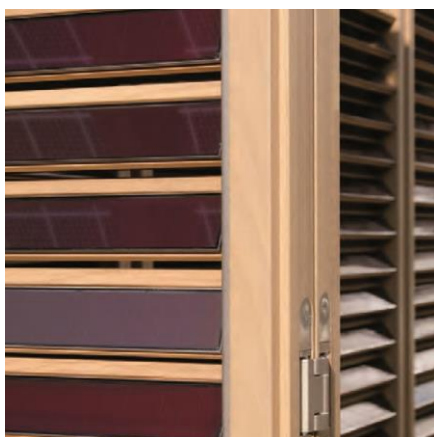


Abb. 2.7: Detail Holzläden mit farblich angepassten PV-Lamellen

#### Abgestimmte Farbtöne

Die farbliche Erscheinung des Gesamtgebäudes ist geprägt von natürlichen braun-beigen Holztönen und den Grautönen einzelner Metallbauteile. Insbesondere der bräunliche Farbton der Lamellen-Module ist dabei bewusst dem der Holztöne nachempfunden. Aber auch die semitransparenten Veranda-Module sind in ihren grau-schwarzen Farbtönen den grauen Farbanteilen der übrigen Fassade sehr ähnlich. Insgesamt liegt das ganze Gebäude im Bereich eines monochromen bis analogen Farbklangs.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Die Farbhelligkeiten sind je nach Lichteinfall durchaus unterschiedlich, weichen aber nicht zu sehr voneinander ab. Die Lamellen-Module erscheinen teilweise deutlich dunkler als das Holz, an dem sie befestigt sind. Diese Unterschiede gleichen sich aber auch witterungsbedingt gegenüber dem Zustand kurz nach Fertigstellung etwas an.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Die Farbsättigungen aller Holz-, Glas- und Metall-Elemente der Fassade sind insgesamt eher niedrig. Darüber hinaus weist die Gebäudehülle keine weitere Farbgebung auf.

Durch die starke farbliche Anpassung insbesondere der Fassadenanlage wurde eine monochrom-analoge Farbkomposition geschaffen, die die Integration dezent-unauffällig wirken lässt.



### 2.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien

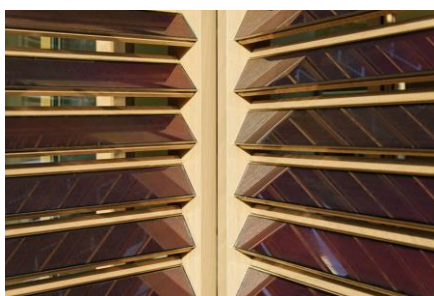


Abb. 2.8: Detail Materialkomposition Holzlamellen und Dünnschicht-Module

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Die Zusammenstellung unterschiedlicher Transparenzen besteht in der opaken Dachanlage auf opakem Dach, der semitransparenten Veranda-Anlage, opaken sowie transparenten Fassadenteilen, sowie den semitransparenten und beweglichen Holzläden, deren opake Lamellen mit ebenfalls opaken Dünnschicht-Modulen belegt sind. Am Gebäude sind somit sowohl im Dach als auch in der Fassade Flächen unterschiedlicher Transparenzgrade kombiniert. Dabei sind alle Teilbereiche der PV-Anlage in ihrer Transparenz auf die Flächen, die ihnen gewidmet sind, entsprechend abgestimmt.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Bei Glanz- und Reflexionsgraden bestehen leichte Unterschiede insbesondere zwischen den Holz-Elementen und den amorphen PV-Modulen. Diese korrespondieren diesbezüglich je nach Anstellwinkel stärker mit der dahinterliegenden bodentiefen Verglasung. Insgesamt erscheint die Kombination aller Materialien aber ausgewogen und nicht zu kontrastierend.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Die Oberflächentexturen aller Materialien sind ähnlich glatt. Lediglich die Holzoberflächen wirken etwas rauer.



Abb. 2.9: Zusammenstellung der Materialien der Veranda

Auch materiell ist die BIPV auf vielen Ebenen auf die Erscheinung des Gebäudes angepasst, um sich unauffällig einzufügen.



### 2.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 2.10: Gelände des Solar Decathlon 2007 auf der National Mall in Washington, D.C.

#### Farbliche Bezüge

-

#### Materielle Bezüge

-

#### Formale Bezüge

-

Bei dem Projekt handelt es sich um den Prototypen eines Plusenergiegebäudes, der im Rahmen des Wettbewerbs Solar Decathlon 2007 an der TU Darmstadt entwickelt und gebaut wurde. Das Gebäude ist als Passivhaus für den Standort Washington D.C. konzeptioniert, eine Reaktion auf einen konkreten räumlichen Kontext war im Wettbewerb aber nicht gefordert.



### 2.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 2.11: Seitenansicht

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Die Gebäudehülle ist deutlich geprägt von der Strukturierung, die von den PV-bestückten Lamellenläden ausgeht. Sie erzeugen ein feines aber auch streng geometrisches Muster, das aus dem Wechselspiel vertikaler Läden und horizontaler Lamellen besteht, und das ganze Gebäude überzieht.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Die PV-Fassade und die Überkopf-Anlage der Veranda haben eine Zeichenwirkung und wirken erkennbar als Symbol für Umweltbewusstsein, zukünftige, nachhaltige Wohnformen und technologische Innovation. Spezifische Firmeninhalte werden nicht repräsentiert.



Abb. 2.12: Detailansicht Lamellen

Bezüglich ihrer leichten ornamentalen und symbolischen Wirkung ist die BIPV auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle und die Nutzung des Gebäudes abgestimmt und erscheint diesbezüglich ausgewogen.



## 2.4 Funktionen der BIPV-Anlage

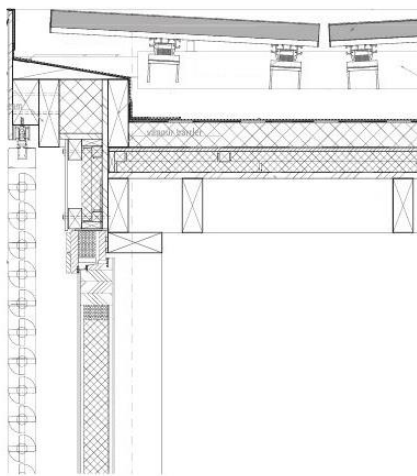


Abb. 2.13: Dach- und Fassadenschnitt

|  | Dach   | Veranda  | Fassade   |
|--|--|--|---|
| <b>Stromproduktion</b>                         | Die Gesamtanlage kann bis zu 11 kWp erreichen. <sup>[5]</sup>                        |  |   |
| <b>Witterungsschutz</b>                        | Alle Teilanlagen schützen unter bzw. hinter ihr liegende Bauteile vor der Witterung. |  |   |
| <b>Sonnenschutz/<br/>Tageslichtregulierung</b> |  | Veranda- und Fassaden-Anlage schützen das Gebäude beide vor direkter Sonneneinstrahlung.   |   |
| <b>Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz</b>    |  |  | Durch ihre anpassbare Transparenz bieten die PV-Lamellen-Module eine Sichtbarriere.       |
| <b>Objektsicherheit/<br/>Einbruchschutz</b>    |  |  | Als vorgestellte Lamellen-Bauteile bieten die PV-Elemente einen wirksamen Einbruchschutz. |
| <b>Atmosphärische Effekte</b>                  |  | Sowohl die semitransparenten Veranda-Module als auch die PV-Lamellen können ein interessantes Licht- und Schattenspiel erzeugen. |   |

## 2.5 Systemtechnik

|   | Dach  | Veranda                       | Fassade                        |
|---|---|-------------------------------|--------------------------------|
| <b>1. Standort</b>  | 49° 51' N / 8° 40' O  |                               |                                |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>  | 3°, Süd & Nord <sup>[6]</sup>   | 0°                            | beweglich                      |
| <b>3. Verschattung</b>  | unverschattet   |                               |                                |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b>                                     |   |                               |                                |
| <u>Gesamtsystem</u>   |   |                               |                                |
| Anwendungsbereich   | Dach  | Veranda                       | Lamellen                       |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | ca. 30,5 %  | ca. 7,7 %                     | ca. 19,4 %                     |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | ca. 55 m <sup>2</sup>   | ca. 14 m <sup>2</sup>         | ca. 35 m <sup>2</sup>          |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>   | 152,72 Wp/m <sup>2</sup>  | 53,6 Wp/m <sup>2</sup>        | 57,14 Wp/m <sup>2</sup>        |
| Nennleistung  | 8,4 kWp <sup>[4]</sup>  | 0,75 kWp <sup>[4]</sup>       | 2 kWp <sup>[4]</sup>           |
| Jahresertrag  | 12.000 kWh/a <sup>[6]</sup>   |                               |                                |
| Solarer Deckungsgrad  | > 100 %   |                               |                                |
| Anschluss   | Netzunabhängig  |                               |                                |
| Anzahl Module   | 40 <sup>[5]</sup>   | 6 <sup>[5]</sup>              | 1.040 <sup>[5]</sup>           |
| Anzahl Wechselrichter   | 2 <sup>[5]</sup>  | 1 <sup>[5]</sup>              | 2 <sup>[5]</sup>               |
| <u>Module</u>   |   |                               |                                |
| Art   | Monokristallin <sup>[5]</sup>   | Monokristallin <sup>[5]</sup> | Dünnschicht <sup>[5]</sup>     |
| Hersteller  | Sunpower <sup>[5]</sup>   | Sunways <sup>[5]</sup>        | Schott Solar <sup>[5]</sup>    |
| Größe   | 156 x 80 cm <sup>[5]</sup>  | k. A.                         | k. A.                          |
| Produktbezeichnung  | SPR-205 <sup>[5]</sup>  | SC125 <sup>[5]</sup>          | TM50100 <sup>[5]</sup>         |
| Modulwirkungsgrad   | k. A.   | k. A.                         | k. A.                          |
| Nennleistung  | 205 Wp <sup>[5]</sup>   | 125 Wp <sup>[5]</sup>         | ~ 2 Wp <sup>[5]</sup>          |
| Modulfläche   | 1,25 m <sup>2</sup>   | k. A.                         | k. A.                          |
| <u>Zellen</u>   |   |                               |                                |
| Art   | Anthrazit <sup>[5]</sup>  | Monokristallin <sup>[5]</sup> | Silizium amorph <sup>[5]</sup> |
| Farbe   | Schwarz <sup>[5]</sup>  | Schwarz <sup>[5]</sup>        | Braun <sup>[5]</sup>           |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | Die Dachanlage ist hinterlüftet   |                               |                                |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | Autarkes Gebäude mit mehreren Strings je Fläche. Die Dachmodule sind in insgesamt fünf Strings miteinander verschaltet, die Veranda mit einem und die Lamellen mit vier. Insgesamt sind 5 Wechselrichter installiert. |                               |                                |
| <b>7. Speicherung</b>   | Für die Speicherung der Solarenergie sind 24 Batterien mit 2.000 Ah/unit installiert. <sup>[5]</sup> Das Gebäude kann auch im Netzanschluss betrieben werden.   |                               |                                |

## 2.6 Nachweise

### 2.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] SeV 2008, S. 6.
- [2] SeV 2009, S. 18-19.
- [3] Krippner 2016, S. 14-15.
- [4] TU Darmstadt 2007a, S. 4.
- [5] TU Darmstadt 2007b, S.110-115.
- [6] Fritzenwallner 2007, S. 73.

### 2.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 2.1: Ansicht (TU Darmstadt, unter: [https://www.intern.tu-darmstadt.de/media/daa\\_responsive\\_design/01\\_die\\_universitaet\\_medien/aktuelles\\_6/news\\_1/news\\_ordner\\_2018/solarhaus\\_870x0.jpg](https://www.intern.tu-darmstadt.de/media/daa_responsive_design/01_die_universitaet_medien/aktuelles_6/news_1/news_ordner_2018/solarhaus_870x0.jpg) [13.05.2020])
- Abb. 2.2: Grundriss (TU Darmstadt 2007b, S. 4)
- Abb. 2.3: Aufsicht (TU Darmstadt 2007b, S. 24)
- Abb. 2.4: Luftaufnahme des Gebäudes (Deutsches Architektenblatt/TU Berlin, unter: [https://www.dabonline.de/wp-content/uploads/2013/01/38\\_TU\\_Berlin\\_05\\_Plus-Energie-Haus1\\_Artikel1-1-300x243.jpg](https://www.dabonline.de/wp-content/uploads/2013/01/38_TU_Berlin_05_Plus-Energie-Haus1_Artikel1-1-300x243.jpg) [14.05.2020])
- Abb. 2.5: Ansicht Veranda mit Person (Solardecathlon/TU Darmstadt, unter: [https://www.solardecathlon.tu-darmstadt.de/media/architektur/fachbereich\\_alte\\_medien/oeffentlichkeit/solarhaus/Solarhaus\\_SD07\\_05\\_0x150.jpg](https://www.solardecathlon.tu-darmstadt.de/media/architektur/fachbereich_alte_medien/oeffentlichkeit/solarhaus/Solarhaus_SD07_05_0x150.jpg) [13.05.2022])
- Abb. 2.6: Ansicht (eigene Aufnahme)
- Abb. 2.7: Detail Holzläden mit farblich angepassten PV-Lamellen (Weller et al. 2009, S. 68)
- Abb. 2.8: Detail Materialkomposition Holzlamellen und Dünnschicht-Module (researchgate/TU Darmstadt, unter: <https://www.researchgate.net/publication/350928247/figure/fig5/AS:1013387337146368@1618621777048/Technische-Universitaet-Darmstadt-Left-BIPV-in-louvered-oak-shutters-Adapted-from-ref.ppm> [13.05.2020])
- Abb. 2.9: Zusammenstellung der Materialien der Veranda (BDZ/TU Darmstadt, unter: [https://www.dbz.de/imgs/102378457\\_399139e780.jpg](https://www.dbz.de/imgs/102378457_399139e780.jpg) [14.05.2020])
- Abb. 2.10: Gelände des Solar Decathlon 2007 auf der National Mall in Washington, D.C. (Wikipedia/Kaye Evans-Lutterodt, unter: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c6/Solar\\_Decathlon\\_2007\\_National\\_Mall.jpg/800px-Solar\\_Decathlon\\_2007\\_National\\_Mall.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c6/Solar_Decathlon_2007_National_Mall.jpg/800px-Solar_Decathlon_2007_National_Mall.jpg) [14.05.2020])
- Abb. 2.11: Seitenansicht (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/sonderbauten/plus-energie-haus-des-bmvbs-815999/gallery-1/4> (14.05.2020)
- Abb. 2.12: Detailansicht Lamellen (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/sonderbauten/plus-energie-haus-des-bmvbs-815999/gallery-1/5> (14.05.2020)
- Abb. 2.13: Dach- und Fassadenschnitt (TU Darmstadt 2007b, S. 27)

### 2.6.3 Bibliografie

- Baulinks (2007): Solarhaus der TU Darmstadt gewinnt Solar Decathlon in Washington, unter: <https://www.baulinks.de/webplugin/2007/1727.php4> [28.10.2020].
- Fritzenwallner, Christine (2007): Weises Haus in Washington, in: db deutsche bauzeitung 11/2007, S. 70-73.
- Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, München, 2016.
- Solar Decathlon (2007): Solar Decathlon 2007: Team Darmstadt, unter: [https://www.solardecathlon.gov/past/2007/team\\_darmstadt.html](https://www.solardecathlon.gov/past/2007/team_darmstadt.html) [28.10.2020].
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2008): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008: Ergebnisse, München.
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2009): Gebäudeintegrierte Solartechnik: Aus den Wettbewerben des SeV, München.



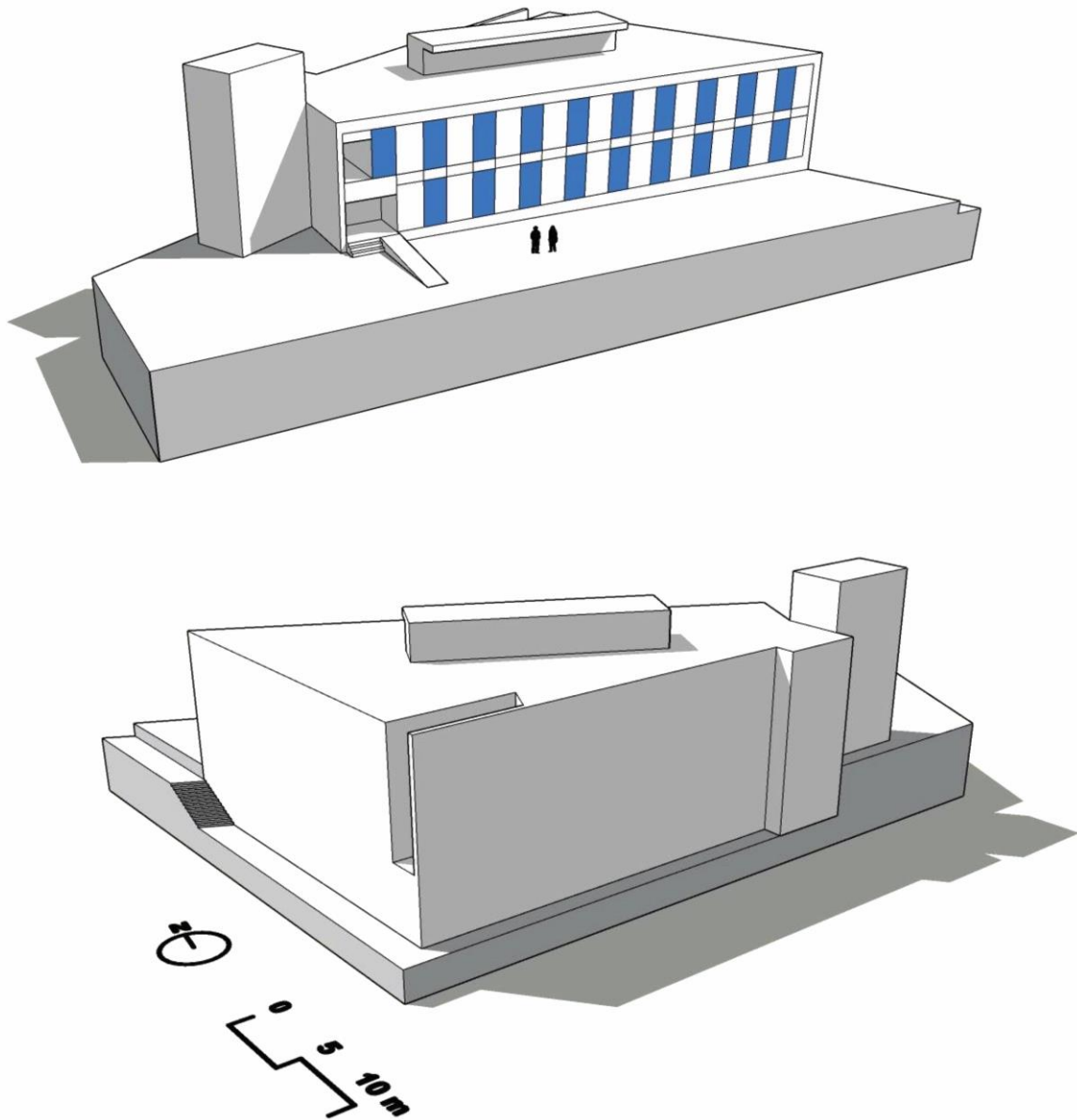
Solarportal24 (2007): Darmstädter Solarhaus gewinnt Solar Decathlon, unter: [http://www.solarportal24.de/nachrichten\\_14616\\_darmstaedter\\_solarhaus\\_gewinnt\\_solar\\_decathlon.html](http://www.solarportal24.de/nachrichten_14616_darmstaedter_solarhaus_gewinnt_solar_decathlon.html) [28.10.2020].

TU Darmstadt (2007a): Kurzbeschreibung Solarhaus Solar Decathlon: Team Deutschland 2007, unter: [https://www.solardecathlon.tu-darmstadt.de/media/architektur/fachbereich\\_alte\\_medien/oeffentlichkeit/solarhaus/Monitoring\\_Projektuebersicht\\_080929.pdf](https://www.solardecathlon.tu-darmstadt.de/media/architektur/fachbereich_alte_medien/oeffentlichkeit/solarhaus/Monitoring_Projektuebersicht_080929.pdf) [28.10.2020].

TU Darmstadt (2007b): Solar Decathlon 07 - Drawings August 7th Deliverables, unter: <https://www.slideshare.net/Calion/sd2007-drawings-darmstadt-presentation> [28.10.2020].

Weller, Bernhard et al. (2009): Photovoltaik - Technik, Produkte, Details, München.

### 3 Solar XXI, Lissabon (PT), 2006



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

### 3.1 Projektdaten



Abb. 3.1: Ansicht

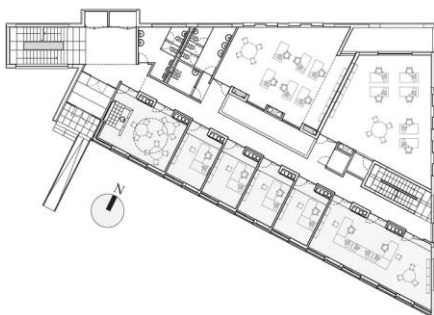


Abb. 3.2: Grundriss

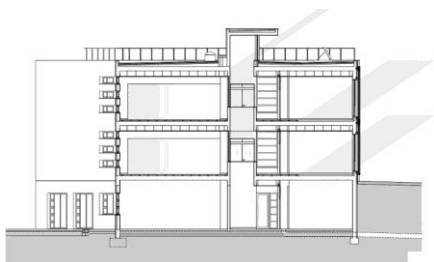


Abb. 3.3: Querschnitt

#### Projekt

|                |                        |
|----------------|------------------------|
| Name           | Solar XXI              |
| Standort       | Lissabon (PT)          |
| Fertigstellung | 2006                   |
| Gebäudenutzung | Labor- und Bürogebäude |

#### Planung

|              |  |
|--------------|--|
| Bauftrag     | INETI Portugal (National Institute for Engineering, Technology and Innovation) |
| Architektur  | Pedro Cabrito e Isabel Diniz Arquitectos                                       |
| Photovoltaik | Lomarisco Lda  |

#### BIPV-System

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Modulart                  | Polykristalline Standardmodule <sup>[1]</sup>                                |
| Anwendungsbereich         | Fassade (zzgl. einer weiteren PV-Anlage im Bereich der Parkplatzüberdachung) |
| Ausrichtung               | 90 °, Süd  |
| PV-Belegung               | 6,7 % <sup>[2]</sup> (96 m <sup>2</sup> von 1436 m <sup>2</sup> )            |
| Nennleistung              | 12 kWp <sup>[2]</sup>  |
| Jahresertrag              | 12.000 kWh/a <sup>[2]</sup>  |
| Spezifischer Jahresertrag | 1.004 kWha/kWp <sup>[2]</sup>  |
| Solarer Deckungsgrad      | 70 % der elektrischen Energie <sup>[3]</sup>                                 |

#### Veröffentlichungen

REHVA Journal 03/2012

#### Wettbewerbe

Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008 (Anerkennung)<sup>12</sup>

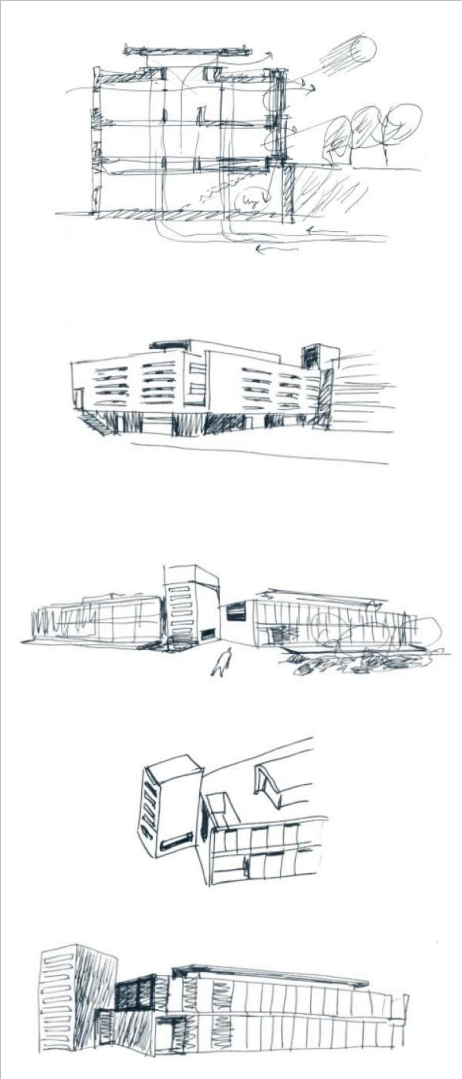
EDP Award, Strom und Umwelt 2005 (Gewinner in der Kategorie Bürogebäude)

#### Kurzbeschreibung

Das Solar XXI ist ein Labor- und Bürogebäude des INETI (National Institute for Engineering, Technology and Innovation). Es ist ein Demonstrationsprojekt für hohe Energieeffizienz mit fast null Energieverbrauch, für Komfort und Tageslicht, das erneuerbare Energien wie Solarthermie und Photovoltaik mit passiven Heiz-, Kühl- und Lüftungsstrategien verbindet.

<sup>12</sup> Damals unter dem Titel „Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik“.

## 3.2 Beschreibung des Gestaltcharakters



Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2008): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008: Ergebnisse:

*„Die Aktivtechnik, vor allem die PV-Module in der Fassade, ist sorgfältig und zurückhaltend integriert. Dabei werden gestalterisch bekannte Ansätze aufgegriffen. Bei der konstruktiven Ausführung in Pfosten-Riegel-Bauweise gelingt eine elegante und wohlproportionierte Lösung.“<sup>13</sup>*

Jørgensen/Kappel/IEA (Hg.) (2012): Solar Heating and Cooling Programme (SHC): Task 41: Solar Energy and Architecture, Sub-task C: Concepts, Case Studies and Guidelines:

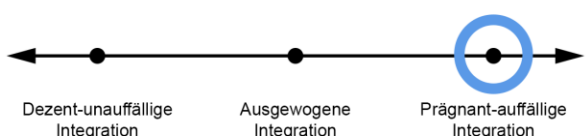
*“In this building, vertical bands of photovoltaic panels are integrated into the south facade, with an alternative rhythm with the glazing, resulting in an elevation based on the concept of modularity and repetition. The PV panels acquire a compositional quality determinant to the final outcome. The project seeks to reconcile the different systems – photovoltaic, solar collectors, ground passive cooling – by a balance of formal and spatial integration. The systems are assumed from the initial phase as compositional elements that potentially generate the final form and not as disruptions added during the process, and thus act as an example of project methodology applicable in similar cases.”<sup>14</sup>*

Pedro Cabrito + Isabel Diniz Arquitectura & Design (2020): Projektbeschreibung Solar XXI:

*“Built in 2006 as part of a research project, its main objective is to be an example of a low energy office building using a combination of passive design techniques with renewable energy technologies. The south façade stands out for its photovoltaic system of crystal blue panels with heat recovery which assists the heating in winter time. The building entrance is positioned in order to enhance the visual contact with this emblematic façade. In summer time, a ground cooling buried pipe system is used to cool the building, together with night cooling strategies. The different systems – photovoltaic, solar collectors, ground cooling – are integrated by a pragmatic design as neutral as possible, a laconic architectural solution in order to emphasize the demonstrative character of the building.”<sup>15</sup>*

Abb. 3.4: Skizzen der Architekt/innen zum Entwurfskonzept

Die PV-Anlage ist deutlich sichtbar in die Hauptfassade des Gebäudes integriert mit großformatigen Modulen und schillernd blauen, polykristallinen Zellen. Sie wird als „rhythmisch“ und „formgenerierend“ beschrieben. Die Architekt/innen unterstreichen in ihrer Projektbeschreibung die Südfassade mit den „kristall-blauen“ Modulen als „herausstechend“ und „emblematisch“, wohingegen das übrige Gebäudedesign eher pragmatisch und neutral sei, um vor allem den demonstrativen Charakter des Gebäudes zu unterstreichen.



Dezent-unauffällige Integration      Ausgewogene Integration      Prägnant-auffällige Integration

<sup>13</sup> SeV 2008, S. 7.

<sup>14</sup> Jørgensen/Kappel/IEA (Hg.) 2012, S. 20.

<sup>15</sup> Pedro Cabrito + Isabel Diniz Arquitectura & Design 2020.

### 3.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

Die BIPV-Anlage in der Südfassade des Gebäudes wird von einer Solarthermieanlage auf dem Dach ergänzt sowie einer freistehenden PV-Anlage, bestehend aus amorphen Siliziummodulen mit 6 kWp Leistung, die den Parkplatz des Gebäudes beschattet. Die Analysen im Rahmen dieser Projektstudie beziehen sich nur auf die integrierte Anlage direkt am Gebäude.

#### 3.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse

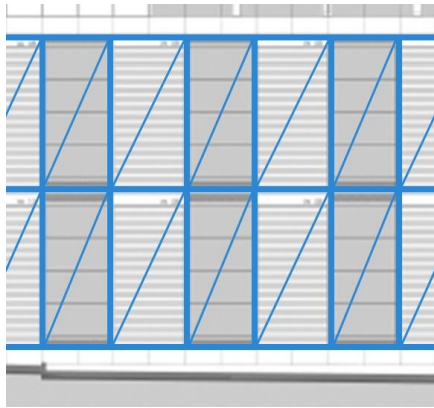


Abb. 3.5: Analyse Proportionen Südfassade



Abb. 3.6: Analyse Ordnungslinien Südfassade

##### Proportionale Bezüge

Der Generator der Südfassade ist in 19 Einzelflächen unterteilt. Die einzelnen, geschosshohen Teilflächen korrespondieren dabei in ihren Proportionen mit den jeweils zwischen ihnen angeordneten bodentiefen Fenstern. Die einzelnen Generatorteilflächen füllen dabei die ihnen zugewiesenen Flächen auch mit Standardmodulen vollständig aus, ohne dass Restflächen entstehen.

Jede Einzelanlage ist gut ablesbar in vier Module unterteilt. Die Module sind dabei auf die neben ihnen angeordneten Fenster abgestimmt, da sich ihre Größe direkt in der Fensterflächeneinteilung wiederfindet. Die Höhe des untersten Moduls entspricht der Kämpferhöhe des Fensters, die untere Kante des obersten Moduls entspricht der oberen Kante des Fensters. Die Kanten heben sich in ihrer Gestaltung deutlich von der PV-Fläche ab und entsprechen hierin den Rahmen der Fenster.

Die polykristallinen Zellen der Standardmodule sind deutlich ablesbar, haben aber in ihren Maßen keinen direkten Bezug zu anderen Bauteilen der Fassade.

##### Flächenintegrität

Die Module der PV-Anlage sind flächenbündig in die vorgesetzte Fassaden-Konstruktion eingesetzt, in die auch die Verschattungsrollos integriert sind. Sie füllen die Zwischenräume zwischen den Fenstern exakt aus.

##### Formprägung

Die gesamte PV-Fassade ist exakt südlich ausgerichtet und führt so zu dem prägnant dreieckigen Grundriss des Gebäudes, in ihrer vertikalen Neigung ordnet sich die PV hingegen den Anforderungen der Fassadengestaltung unter.

##### Abgestimmte Flächenanteile

Das Flächenverhältnis des südlichen Teils der Fassade erscheint ausgeglichen zwischen den Anteilen des Generators und den Fensteranteilen. Der absolute Anteil der PV-Anlage an der gesamten Gebäudehülle ist eher gering.

Maßliche Bezüge sind vielfältig gestaltet und auch die Mengenverhältnisse sind sorgfältig aufeinander abgestimmt, sodass die BIPB-Integration am Gebäude diesbezüglich insgesamt ausgewogen erscheint.



### 3.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 3.7: Ansicht mit Personengruppe

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Die Teilflächen der PV-Anlage sind in ihrer Breite den Maßen der Verglasung ähnlich, ihre Höhe erscheint im Vergleich allerdings geschosshoch und reicht über die Zwischendecke hinweg. Die Module, die sich in ihrer Größe auf Teilflächen der Verglasung beziehen, relativieren den Größenvergleich etwas, durch die kleinteiligere Gliederung der größeren Flächen.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Die Formate der Generator-Teilflächen und Module sind für menschliche Maßstäbe für den Bereich der Fassade eher großmaßstäblich.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Da hier der Vergleich zu Fensterbauteilen gezielt hergestellt wird, sind die Formate der Module im Bereich der Fassade großmaßstäblich, aber nicht überdimensioniert. Die leicht übergeschoss-hohen Teilflächen der Anlage, insbesondere, wenn sie sich optisch über die gesamte Gebäudehöhe addieren, können auf den ersten Blick für bauübliche Maßstäbe aber auch überdimensioniert wirken.

Die BIPV ist auf verschiedenen Ebenen maßstäblich abgestimmt und erscheint weder über- noch unterdimensioniert im Vergleich mit anderen Elementen der Gebäudehülle oder bauüblichen Maßen. Ihre Gestaltprägung diesbezüglich ist eher auffällig.



### 3.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 3.8: Detailsicht der Südfassade

#### Abgestimmte Farbtöne

Der Generator und die Module erscheinen insgesamt je nach Lichtsituation blau bis dunkelgrau, gerahmt in hell-silbernen bis gräulichen Rahmen. Die Zellen erscheinen ebenfalls blau bis dunkelgrau mit hell-silbernen bis gräulichen Leiterbahnen. Die Farbtöne der übrigen Fassade liegen im beige bis weißen Bereich. Somit entsteht hier ein harmonischer, komplementärer Kontrast zwischen blau-grauen und beige-weißen Farbtönen. Souterrain-Bereiche des Gebäudes sind zusätzlich hellgelb gestaltet, stehen aber weniger im optischen Kontakt zu den PV-Flächen.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Neben dem beschriebenen Farbkontrast besteht auch ein deutlicher hell-dunkel-Kontrast zwischen der Fassade und den Hauptbestandteilen der PV-Anlage sowie innerhalb der Anlage zwischen den Zellen selbst und den Materialien von Rahmen und Befestigungen.

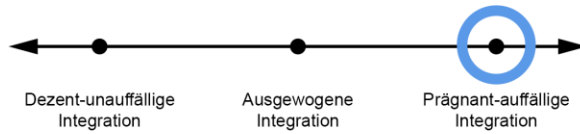
#### Abgestimmte Farbsättigungen

Auch im Bereich der Farbsättigung besteht ein hoher Kontrast, insbesondere in Lichtsituationen, in denen die PV satt blau erscheint gegenüber den grauen Rahmen und den weiß-beigen Materialien der übrigen Fassade.



Abb. 3.9: Nord- und Ostfassade

Der Farbklang der Gebäudehülle weist zahlreiche Kontraste im Bereich von Farbton, -helligkeiten und -sättigungen auf.



### 3.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 3.10: Ansicht Südfassade

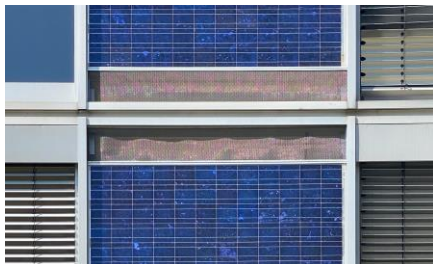


Abb. 3.11: Detail Knotenpunkte



Abb. 3.12: Detail Materialität Südfassade

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Allgemein ist die Gebäudehülle eine opake Lochfassade mit ca. 50 % Verglasungsanteil in der Südfassade. Ein gewisses Spiel zwischen Kontrast und Ähnlichkeit entsteht hier dadurch, dass die PV-Module als opake Bauteile einerseits den opaken Flächen der Fassade zugeordnet sind, gleichzeitig aber auch eine optische Ähnlichkeit zu den transparenten Fenstern aufweisen. Die semitransparenten Sonnenschutzrollos verstärken dieses Wechselspiel der Transparenzen.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Der überwiegende Teil der Gebäudehülle erscheint durch die Putzoberfläche matt. In der Südfassade dagegen findet sich ein kontrastreicher Mix aus glänzenden PV-Zellen, matten Metallrahmen, spiegelnder Verglasung sowie matten Naturstein- und Putzanteilen.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Auch im Bereich der Oberflächentexturen sind die Kontraste zwischen den verwendeten Materialien ausgeprägt. Die glatten PV- und Fensterelemente aus Glas und Metall sind mit überwiegend rauen Fassaden aus Stein und Putz kombiniert.

Insbesondere die Südfassade am Solar XXI zeigt einen kontrastreichen Materialmix.



### 3.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 3.13: Luftbild der Umgebung



Abb. 3.14: PV-Parkplatzüberdachung vor dem Gebäude



Abb. 3.15: Nachbargebäude auf dem NREL Campus



Abb. 3.16: Grünflächen in der näheren Umgebung

#### Farbliche Bezüge

Die intensiv blauen Module des Gebäudes entsprechen in ihrer Farbigkeit zwar anderen blauen PV-Anlagen der Umgebung, zu den meisten Farben der Fassaden und der Vegetation in der Umgebung bilden sie aber einen Kontrast.

#### Materielle Bezüge

Zu den vorwiegend verwendeten Materialien der PV-Fassade wie Glas und Metall gibt es viele ähnliche Beispiele an Gebäuden in der näheren Umgebung.

#### Formale Bezüge

Viele Gebäude haben ebenfalls Fensterbänder oder gerasterte Bürofassaden und sind geschossweise gegliedert. Hier passt sie die Anlage formal an Bauweisen der Umgebung an.

Der Standort des Solar XXI auf dem NREL Campus ist von vielen Büro- und Institutsgebäuden verschiedenen Alters, aber auch Wohngebäuden und Parks geprägt. Das Gebäude hat dort insbesondere durch die intensive Farbigkeit der PV-Anlage durchaus eine solitäre Wirkung, ist teilweise aber auch an die heterogene Umgebung angepasst.





### 3.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 3.17: Ansicht Südfassade

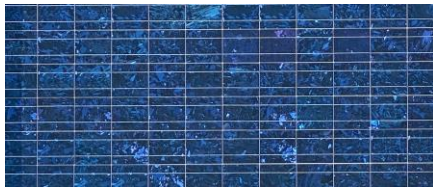


Abb. 3.18: Detailansicht polykristalline Zellen



Abb. 3.19: Eingangssituation

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Von den schillernden, kristallinen Zellen und ihren Leiterbahnen geht durchaus eine ornamentale Wirkung aus, dies aber eher aus näherem Betrachtungsabstand. Auf die gesamte Südfassade bezogen entsteht zudem eine Art übergeschosshohes Streifen-Muster zwischen den vertikalen PV-Flächen und den Fenstern.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Die PV am Solar XXI wirkt deutlich erkennbar als Symbol für Forschung und Innovation, Umweltschutz und Nachhaltigkeit und repräsentiert damit auch indirekt Inhalte der Corporate Identity des auftraggebenden National Institute for Engineering, Technology and Innovation (INETI).

Abgestimmt auf die übrige Fassade und die Nutzung des Gebäudes geht von der Anlage sowohl eine starke ornamentale als auch eine symbolische Wirkung aus. Die Gestaltprägung diesbezüglich ist ausgewogen bis auffällig.



### 3.4 Funktionen der BIPV-Anlage

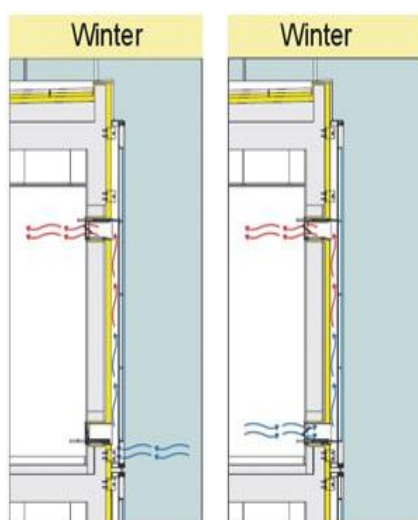


Abb. 3.20: Funktionsschema kontrollierte Lüftung im Winter

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| <b>Stromproduktion</b>             | Die Gesamtanlage kann bis zu 12.000 kWh/a erreichen. [2]   |
| <b>Witterungsschutz</b>            | Die Module in der Fassade schützen dahinterliegende Bauteile.  |
| <b>Schallschutz</b>                | Die Module in der Fassade verbessern die Schallschutzeigenschaften für die dahinterliegenden Arbeitsräume.   |
| <b>Repräsentation einer CI</b>     | Als Symbol für Forschung und Innovation, Umweltschutz und Nachhaltigkeit repräsentiert die Anlage indirekt Inhalte der Corporate Identity des auftraggebenden National Institute for Engineering, Technology and Innovation (INETI). |
| <b>Nutzung thermischer Abwärme</b> | Durch gezieltes Hinterlüften bei niedrigen Außentemperaturen kann Außen- oder Innenluft hinter der Anlage hindurch und erwärmt ins Innere des Gebäudes geleitet werden.  |

### 3.5 Systemtechnik

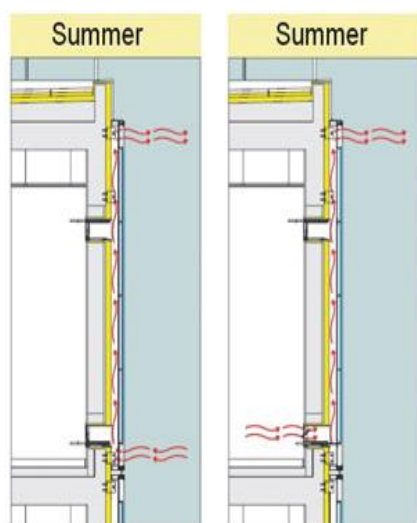


Abb. 3.21: Funktionsschema kontrollierte Lüftung im Sommer

|   |  |
|---|--|
| <b>1. Standort</b>  | 38° 46' N / 9° 10' W   |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>  | 90 °, Süd  |
| <b>3. Verschattung</b>  | unverschattet  |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b>                                     |  |
| <u>Gesamtsystem</u>   |  |
| Anwendungsbereich   | Fassade  |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | 6,7 % <sup>[2]</sup> <sup>[3]</sup>  |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | 96 m <sup>2</sup> von 1.436 m <sup>2</sup> <sup>[2]</sup> <sup>[3]</sup>                             |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>   | 125 Wp/m <sup>2</sup>  |
| Nennleistung  | 12 kWp <sup>[2]</sup> <sup>[3]</sup>   |
| Jahresertrag  | 12.000 kWh/a <sup>[2]</sup> <sup>[3]</sup>   |
| Solarer Deckungsgrad  | Die PV-Fassadenanlage erzeugt ca. 60 - 70 % der elektrischen Energie, die im Gebäude gebraucht wird. |
| Anschluss   | Netzanschluss  |
| Anzahl Module   | 76 <sup>[2]</sup>  |
| Anzahl Wechselrichter   | k. A.  |
| <u>Module</u>   |  |
| Art   | Polykristalline Standardmodule   |
| Hersteller  | k. A.  |
| Größe   | 162 x 78 cm  |
| Produktbezeichnung  | k. A.  |
| Modulwirkungsgrad   | k. A.  |
| Nennleistung  | 157 kWp  |
| Modulfläche   | 1,26 m <sup>2</sup>  |
| <u>Zellen</u>   |  |
| Art   | Polykristalline Siliziumzellen   |
| Farbe   | Blau   |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | Die Anlage ist hinterlüftet ausgeführt. Entstehende Wärme wird kontrolliert genutzt. <sup>[3]</sup>  |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | k. A.  |
| <b>7. Speicherung</b>   | Der Anschluss an das Stromnetz dient als Pufferspeicher.   |

## 3.6 Nachweise

### 3.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] SeV 2008, S. 6.
- [2] Gonçalves/Aelenei/Rodrigues 2012.
- [3] Coelho Dias/António/S. A. 2010.

### 3.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 3.1: Ansicht (arkiplus, unter: <https://www.arkiplus.com/wp-content/uploads/2016/06/edificio-solar2.jpg> [13.05.2020])
- Abb. 3.2: Grundriss (Pedro Cabrito/Isabel Diniz, unter: [https://divisare-res.cloudinary.com/images/c\\_limit,f\\_auto,h\\_2000q\\_auto,w\\_3000/v1461865471/z0nwbflzsej7ohyj3t2p/pedro-cabrito-isabel-diniz-arquitectos-daniel-malhao-solar-xxi.jpg](https://divisare-res.cloudinary.com/images/c_limit,f_auto,h_2000q_auto,w_3000/v1461865471/z0nwbflzsej7ohyj3t2p/pedro-cabrito-isabel-diniz-arquitectos-daniel-malhao-solar-xxi.jpg) [13.05.2020])
- Abb. 3.3: Querschnitt (Pedro Cabrito/Isabel Diniz, unter: [https://divisare-res.cloudinary.com/images/c\\_limit,f\\_auto,h\\_2000q\\_auto,w\\_3000/v1461865513/na368ccfnmux7bigu6le/pedro-cabrito-isabel-diniz-arquitectos-daniel-malhao-solar-xxi.jpg](https://divisare-res.cloudinary.com/images/c_limit,f_auto,h_2000q_auto,w_3000/v1461865513/na368ccfnmux7bigu6le/pedro-cabrito-isabel-diniz-arquitectos-daniel-malhao-solar-xxi.jpg) [13.05.2020])
- Abb. 3.4: Skizzen der Architekt/innen zum Entwurfskonzept (Divisare 2016, S. 8)
- Abb. 3.5: Analyse Proportionen Südfassade (eigene Darstellung)
- Abb. 3.6: Analyse Ordnungslinien Südfassade (eigene Darstellung)
- Abb. 3.7: Ansicht mit Personengruppe (Gasper Stegnar, unter: <https://pbs.twimg.com/media/CkbrVDWUUAEmAGK?for=mat=jpg&name=large> [13.05.2020])
- Abb. 3.8: Detailansicht der Südfassade (Divisare 2016, S. 2)
- Abb. 3.9: Nord- und Ostfassade (Gonçalves 2009, S. 7)
- Abb. 3.10: Ansicht Südfassade (eigene Aufnahme)
- Abb. 3.12: Detail Knotenpunkte (eigene Aufnahme)
- Abb. 3.11: Detail Materialität Südfassade (eigene Aufnahme)
- Abb. 3.13: Luftbild der Umgebung (Google Maps/Hovione Lumiar, unter: [https://www.google.com/maps/uv?pb=!1s0xd1\\_932b7e0dca707%3A0xa6b67c9a438bbbd7!3m1!7e115!4shttps%3A%2F%2Fih5](https://www.google.com/maps/uv?pb=!1s0xd1_932b7e0dca707%3A0xa6b67c9a438bbbd7!3m1!7e115!4shttps%3A%2F%2Fih5) [13.05.2020])
- Abb. 3.14: PV-Parkplatzüberdachung vor dem Gebäude (Gonçalves 2009, S. 23)
- Abb. 3.15: Nachbargebäude auf dem NREL Campus (eigene Aufnahme)
- Abb. 3.16: Grünflächen in der näheren Umgebung (eigene Aufnahme)
- Abb. 3.17: Ansicht Südfassade (arkiplus, unter: <https://www.arkiplus.com/wp-content/uploads/2016/06/edificio-solar2.jpg> [13.05.2020])
- Abb. 3.18: Detailansicht polykristalline Zellen (eigene Aufnahme)
- Abb. 3.19: Eingangssituation (eigene Aufnahme)
- Abb. 3.20: Funktionsschema kontrollierte Lüftung im Winter (Gonçalves 2009, S. 12)
- Abb. 3.21: Funktionsschema kontrollierte Lüftung im Sommer (Gonçalves 2009, S. 12)

### 3.6.3 Bibliografie

- Coelho Dias/António/S. A. (2010): Em direcção à energia zero Towards zero energy, unter: <https://de.scribd.com/document/369734718/BrochuraSolarXXI-Maio2010-1> [26.08.2020].
- Divisare (2016): Pedro Cabrito, Isabel Diniz Arquitectos Solar XXI. Office building for the Energy Efficiency Unit, LNEG campus, Lisbon, unter: <https://divisare.com/projects/316535-pedro-cabrito-isabel-diniz-arquitectos-daniel-malhao-solar-xxi> [26.08.2020].
- Gonçalves, Helder/Aelenei, Laura/Rodrigues, Carlos (2010): The Road Towards “Zero Energy” in Buildings. Lessons Learned from SOLARXXI Building in Portugal, unter: [http://task40.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Task40c-The\\_Road\\_Towards\\_Zero\\_Energy\\_in\\_Buildings.pdf](http://task40.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Task40c-The_Road_Towards_Zero_Energy_in_Buildings.pdf) [26.08.2020].
- Gonçalves, Helder/Aelenei, Laura/Rodrigues, Carlos (2012): SOLAR XXI. A Portuguese Office Building towards Net Zero-Energy Building, in: REHVA Journal 03/2012, Istanbul, 2012, S. 34-40.
- Gonçalves, Helder/Cabrito, Pedro (2006): A Passive Solar Office Building in Portugal, PLEA 2006.

Gonçalves, Helder/Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I. P. (LNEG) (Hg.) (2009): Solar Building XXI, Lissabon, 2009, unter: <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/resources/docs/edificio-solar-lisbon-portugal-en.pdf> [26.08.2020].

International Energy Agency (IEA) (Hg.) (2020): Solar Heating and Cooling Programme (SHC): Task 40: ECBCS Annex 52: 'Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEBS)', unter: <http://www.iea-hc.org/task40/index.html> [26.08.2020].

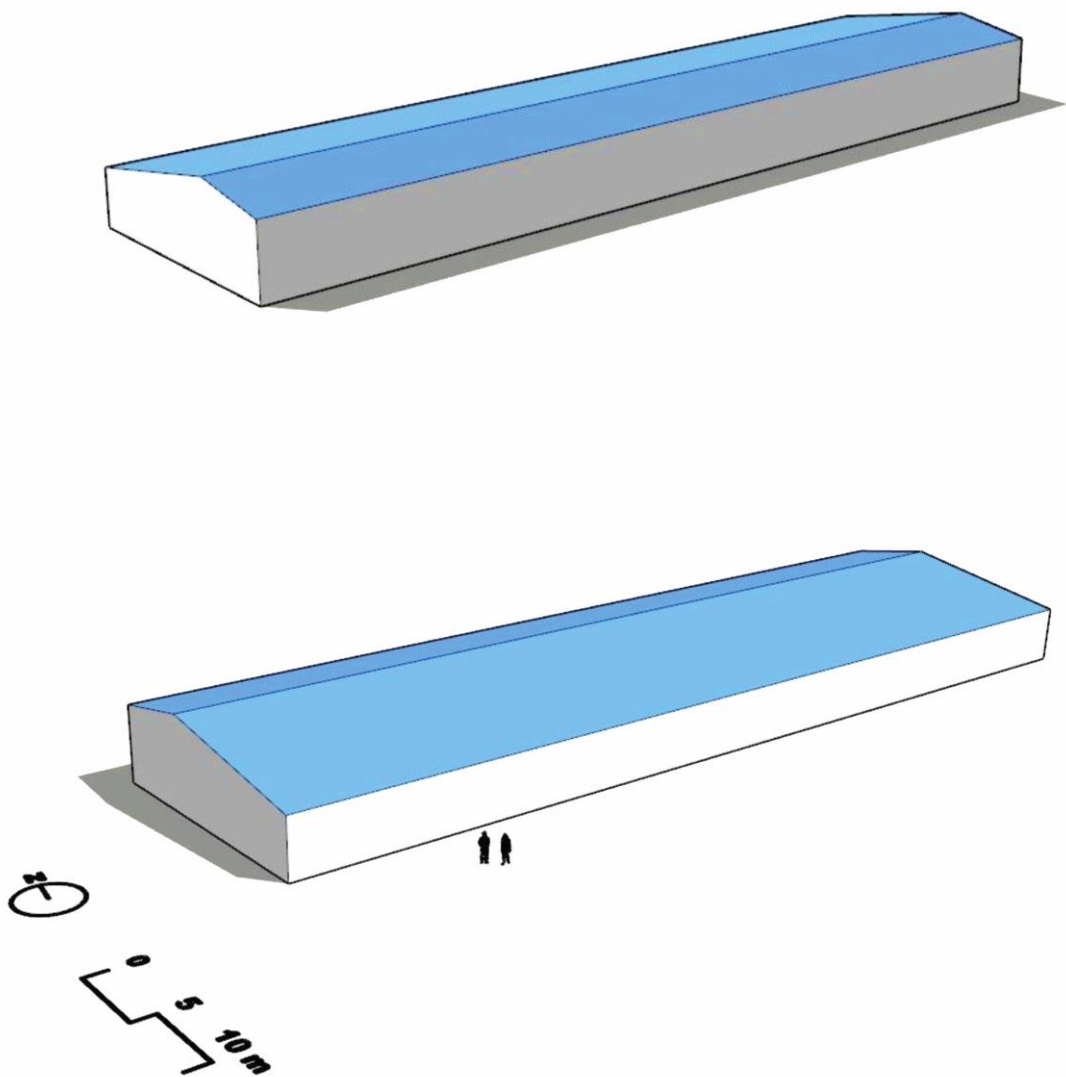
Jørgensen, Olaf Bruun/Kappel, Karin/International Energy Agency (IEA) (Hg.) (2012): Solar Heating and Cooling Programme (SHC): Task 41: Solar Energy and Architecture, Subtask C: Concepts, Case Studies and Guidelines, unter: [https://eventos.fct.unl.pt/sites/default/files/solar-architecture2012/files/subtaskc\\_20120330.pdf](https://eventos.fct.unl.pt/sites/default/files/solar-architecture2012/files/subtaskc_20120330.pdf) [26.08.2020].

Pedro Cabrito + Isabel Diniz Arquitectura & Design (2020): Projektbeschreibung Solar XXI, unter: <https://pcidarch.com/solar-xxi-building> [26.08.2020].

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2008): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2008: Ergebnisse, München.

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2009): Gebäudeintegrierte Solartechnik: Aus den Wettbewerben des SeV, München.

## 4 Halle design.s, Freising (DE), 2010



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 4.1 Projektdaten



Abb. 4.1: Ansicht

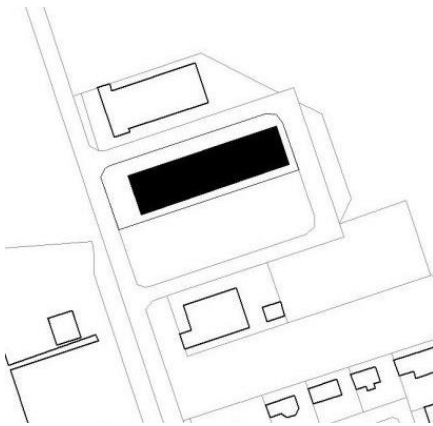


Abb. 4.2: Lageplan

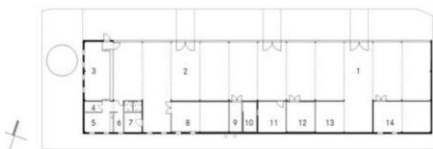


Abb. 4.3: Grundriss

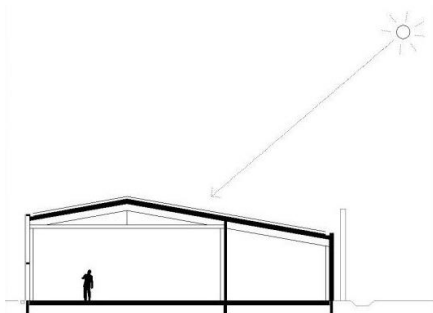


Abb. 4.4: Querschnitt

### Projekt

|                |                |
|----------------|----------------|
| Name           | Halle design.s |
| Standort       | Freising (DE)  |
| Fertigstellung | 2010           |
| Gebäudenutzung | Schreinerei    |

### Planung

|             |                                |
|-------------|--------------------------------|
| Bauftrag    | design.s (Richard Stanzel)     |
| Architektur | Deppisch Architekten, Freising |

### BIPV-System

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Modulart                  | Dünnschicht-Glas-Glas Standardmodule                          |
| Anwendungsbereich         | Dach  |
| Ausrichtung               | 10 °, Nord und 10 °, Süd <sup>[4]</sup> <sup>[7]</sup>        |
| PV-Belegung               | ca. 60 % (1.200 m <sup>2</sup> von ca. 2.000 m <sup>2</sup> ) |
| Nennleistung              | 73,54 kWp <sup>[4]</sup>                                      |
| Jahresertrag              | 70.000 kWh/a <sup>16</sup> <sup>[1]</sup> <sup>[4]</sup>      |
| Spezifischer Jahresertrag | 951,9 kWha/kWp  |
| Solarer Deckungsgrad      | > 100 % <sup>[4]</sup>  |

### Veröffentlichungen

Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik  
 DETAIL Green 01+02/2012  
 photovoltaik 02/2012  
 DHZ Deutsche Handwerkszeitung online (10.05.2012)

### Wettbewerbe

Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011 (1. Preis)  
 Wessobrunner Architekturpreis 2012 (Anerkennung)  
 Geplant + Ausgeführt 2012 (3. Preis)  
 AIT Award 2012 (1. Preis Kategorie Industrie und Gewerbe))  
 BDA-Preis Bayern 2013 (Preis der Jury)

### Kurzbeschreibung

Die Halle design.s ist der innovative Neubau einer Schreinerei mit einem klaren Baukörper, asymmetrischem Querschnitt und optimierter Süddachfläche. Der einfache Holz-Skelettbau ermöglicht einen offenen Grundriss mit einer klaren Trennung zwischen Technik- und flexiblem Werkbereich. Das helle Innenleben steht in deutlichem Kontrast zur dunklen Außenhaut.

<sup>16</sup> Prognostiziert. <sup>[4]</sup>

## 4.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2011): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011: Ergebnisse des Wettbewerbs:

„Der Neubau einer Werkhalle für ein Holzverarbeitendes Unternehmen verknüpft in außerordentlicher Weise gestalterischen Anspruch und die Nutzung der großen Dachfläche zur Integration von Solartechnik. Ein formal reduzierter, elegant gestalteter Baukörper [...] ist mit einem nach Süden orientierten, flach geneigten Dach versehen, das vollflächig mit Photovoltaik belegt ist. Die PV-Anlage schließt bündig mit den Dachrändern ab, weist keine Durchdringungen auf, was zu einem ‚flächige(n) Bild‘ einer ‚matt schimmernden Dachhaut‘ führt. In der Farbigkeit dem Baukörper angepasst, entsteht eine stimmige Gesamtkonzeption.“<sup>17</sup>

Riedel (2012): Vorbildliches Geschäft, in: photovoltaik 02/2012:

„Die 714 fast quadratischen schwarzen Dünnschichtmodule aus amorphem Silizium mit schwarzen Aluminiumrahmen bilden wie selbstverständlich die fünfte Fassade des schlichten Quaders mit dem flach geneigten, asymmetrisch angelegten Dach. [...] Stanzels neue Werkhalle zeigt, dass nicht immer aufwendige Sonderlösungen notwendig sind, um Solartechnik gestalterisch überzeugend zu integrieren. [...] Um die homogene Photovoltaikfläche nicht zu unterbrechen, haben die Planer zwei Entlüftungsröhre, [...] im Zwischenraum unterhalb der Module versteckt.“<sup>18</sup>

Guthardt (2012): Design wie aus einem Guss: Gewerbebau mit Solar, in: DHZ Deutsche Handwerkszeitung online (10.05.2012):

„Die neuen Werkräume für die Schreinerei von Richard Stanzel zeigen eindrucksvoll, dass ein Gewerbebau zugleich funktional, kostengünstig, energieeffizient und auch noch architektonisch wertvoll sein kann. Die im Sonnenlicht dunkel schimmernde Gebäudehülle wurde aus schwarz lasierten Fichtenhölzern gefertigt [...]. Um eine Optik wie aus einem Guss zu realisieren, haben die Architekten die Dachentwässerung hinter der Traufkante versteckt [...].“<sup>19</sup>

Die Anlage ordnet sich ausgewogen in die Gesamtgestaltung ein. Sie wird als „groß“ und „schimmernd“ beschrieben, aber auch als „homogen“, „wie aus einem Guss“ und „reduziert“.

← ● ● ● →  
 Dezent-unauffällige Integration      Ausgewogene Integration      Prägnant-auffällige Integration

Abb. 4.5: Konzeptdarstellungen der Architekt/innen zu Form und Volumen, Konstruktion, Gebäudehülle sowie Licht und Strom

<sup>17</sup> SeV 2011, S. 3.

<sup>18</sup> Riedel 2012.

<sup>19</sup> Guthardt 2012.

## 4.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

### 4.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 4.6: Ansicht von Südwesten



Abb. 4.7: Ansicht von Westen



Abb. 4.8: Ansicht Gliederung Module und Fassade



Abb. 4.9: Detailansicht Flächenbündigkeit

#### Proportionale Bezüge

Der Gesamtgenerator besteht aus zwei Teilflächen, die beide südlich und nördlich ausgerichtete Dachflächen belegen. Beide sind rechteckig, vollflächig und flächenbündig und damit den übrigen Fassadenflächen des schlichten kubischen Gebäudes in Anordnung und Dimension sehr ähnlich. Die Module haben eine Größe von ca. 1,10 x 1,30 m. Auch sie sind rechteckig und ähneln anderen Teilen der Fassade wie z. B. Fenstern und Sonnenschutz-Faltläden in ihren Abmaßen. Die Module sind in einem gleichmäßigen, orthogonalen Raster angeordnet und weisen hierin Gemeinsamkeiten zu der streng vertikalen Gliederung der Holzverkleidung der übrigen Fassade auf. Dadurch, dass die Modulrahmen schwarz gehalten sind, heben sie sich nicht ab und erzeugen keine Rasterwirkung.

#### Flächenintegrität

Die Module wurden so ausgewählt, dass die Dachflächen vollständig ausgefüllt werden konnten, ohne dass Restflächen entstehen und ohne Sondermodule verwenden zu müssen. Durchdringungen wurden vermieden, indem Abluftleitungen und sonstige Leitungen im Zwischenraum unter den Modulen enden. Die Vollflächigkeit der Dachflächen, die optisch nahtlos in die Fassadenflächen übergeht, wird auch durch die 50 Zentimeter breiten Wartungsgänge an der Traufe möglich, die von unten kaum zu erkennen sind.

#### Formprägung

Mit Blick auf die gegenseitige Formprägung wurden PV und Gebäudekörper sorgsam aufeinander abgestimmt. Die PV ist in ihrer Erscheinung als Dachdeckungsmaterial angepasst, die Dachform selbst wurde hinsichtlich der südlich ausgerichteten Flächenanteile optimiert und der First hierfür asymmetrisch angeordnet.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Die Flächengröße der PV-Anlage beträgt 1.200 m<sup>2</sup> (400 m<sup>2</sup> nördlicher Teil und 800 m<sup>2</sup> südlicher Teil) gegenüber ca. 800 m<sup>2</sup> Oberfläche der übrigen Gebäudehülle. Das heißt der Anteil der PV-Fläche an der übrigen Fassade liegt bei ca. 60 %.

Die maßliche und flächenbezogene Abstimmungsarbeit zeigt sich in vielen proportionalen Bezügen, der hohen Qualität der Flächenintegrität, der abgestimmten Formprägung und Dimensionierung des Generators am Gebäude.





### 4.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 4.10: Ansicht Dach



Abb. 4.11: Fahrzeug vor der Werkstatt

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Beim Vergleich der Größe der PV-Anlage mit anderen Elementen der Gebäudehülle erweisen sich ihre Teilflächen in der Größe der Nord- bzw. Südfassade ähnlich. Die Größe der einzelnen Module ist derjenigen der Fenster ähnlich.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Für menschliche Maßstäbe ist die PV-Anlage, die exakt den Dachflächen des Gebäudes entspricht, weder unter- noch überdimensioniert, insbesondere im Bereich gewerblicher Gebäude.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Das flachgeneigte Dach ist bauüblichen Maßstäben sehr ähnlich. In der Größe entspricht es Gewerbegebäuden dieser Art, die oftmals großvolumig und mit flachen Dächern versehen sind. Die Module sind in ihrer Maßstäblichkeit im Vergleich eher größer dimensioniert als bauübliche Materialien für den Einsatz am Dach.

In Bezug auf ihre Maßstäblichkeit ist die PV-Anlage im Vergleich mit anderen Elementen des Gebäudes, in Bezug auf menschliche Maßstäbe und in Bezug auf bauübliche Maßstäbe angepasst, so dass sie im Ganzen ausgewogen erscheint.



### 4.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 4.12: Ansicht des Gebäudes aus Südwest



Abb. 4.13: Die hellere Nordfassade



Abb. 4.14: Farblich monochrome Anschlussdetails am Dachrand

#### Abgestimmte Farbtöne

Die schwarz-schwarzen, amorphen Silizium-Module mit schwarzen Aluminiumrahmen sind in ihrer Farbigkeit stark an den Baukörper angepasst. Die Komposition der PV-Module mit den übrigen Teilen der Gebäudehülle liegt im Bereich eines monochromen Farbklangs.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Die Farbhelligkeit aller interagierenden Teile ist sehr niedrig. Das Konzept einer dunklen Hülle ist Teil der Entwurfsidee eines starken Kontrastes zum hellen Inneren des Gebäudes. Lediglich die Licht-Fassade aus Polycarbonat im Norden hebt sich durch ihre helle Gestaltung deutlich ab.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Da die Farben der Gebäudehülle insgesamt sehr unbunt sind, ist ihre Farbsättigung fast null.

Der Farbklang zwischen PV-Anlage und übriger Fassade ist harmonisch abgestimmt im Bereich monochromer Farbtonkombinationen und gleicher Farbsättigungen. Die Integration der Anlage erscheint in dieser Hinsicht unauffällig.



### 4.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien

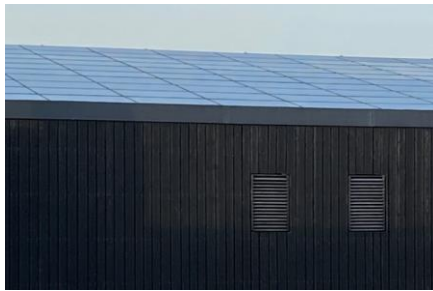


Abb. 4.15: Detailansicht Dach- und Fassadenmaterialien



Abb. 4.16: Nördliche Polycarbonat-Fassade

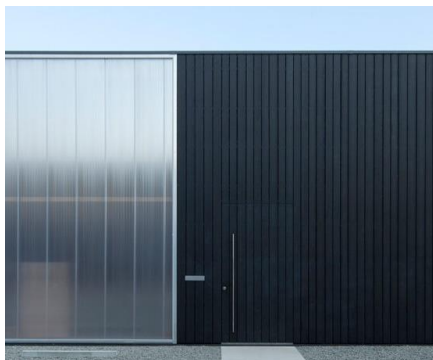


Abb. 4.17: Detailansicht Nordfassade



Abb. 4.18: Oberflächenstruktur der Holzfassade

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

In Bezug auf Transparenz/Opazität wurden überwiegend korrespondierende Materialien gewählt. So ist die opake Dach-Anlage hauptsächlich mit einer opaken Holzverkleidung kombiniert. Lediglich die nördliche Fassade weist größere transluzente Bereiche aus Polycarbonat-Stegplatten auf, die dem blendfreien Einfall von Tageslicht dienen.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Die leicht schimmernde Anlage unterscheidet sich hinsichtlich ihres Glanz- und Reflexionsgrads von der lasierten Fichtenholzverkleidung, die eher matt erscheint. Größere Gemeinsamkeiten existieren hier zu den ebenfalls leicht glänzenden Stegplatten der Nordfassade.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Während die Oberflächen der PV-Anlage inklusive der Modulrahmen und Anschlussbleche ebenso glatt sind wie die Nordfassade, wirken die gebürsteten Verkleidungsbretter der übrigen Fassade in ihrer Materialität deutlich natürlicher und rauer.

Die Anlage hat in ihrer materiellen Kompatibilität eine große Ähnlichkeit zum nördlichen Teil der Fassade, bildet zum übrigen holzverkleideten Anteil aber durchaus einen Kontrast, insbesondere hinsichtlich ihres Glanzgrads und der Oberflächentextur. Innerhalb der Dachfläche sind alle Materialien stark aufeinander abgestimmt, um einheitlich zu erscheinen. Insbesondere die Bleche und Anschlusssteile am Dachrand vermitteln hierbei. So fügen sich die PV-Module materiell insgesamt ausgewogen ein.



### 4.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 4.19: Die Schreinerei, mittlerweile ergänzt um ein weiteres Gebäude mit Verkaufsflächen (rechts)



Abb. 4.20: Die landwirtschaftlich geprägte Umgebung in Pulling/Freising



Abb. 4.21: Luftaufnahme der unmittelbaren Nachbarschaft

#### Farbliche Bezüge

Die Umgebung der Schreinerei ist sehr heterogen und reicht von anderen Gewerbebauten, Mehrfamilienhäusern und einer Schule in der unmittelbaren Nachbarschaft bis hin zu ausgedehnten landwirtschaftlichen Flächen und Wohngebieten mit Einfamilienhäusern. Farblich setzt sich das PV-bestückte Gebäude durchaus von den überwiegend hell gestalteten Nachbargebäuden ab und wirkt in seiner heterogenen Umgebung als Solitär.

#### Materielle Bezüge

Auch die verwendeten Materialien der Umgebung sind heterogen. Dächer sind vielfach als Blechdächer ausgeführt; es gibt aber auch solche, die mit Dachpfannen gedeckt sind, und auch ein weiteres Solardach auf der Schule gegenüber. Die Fassaden sind überwiegend verputzt. Auch hierzu bilden die Materialien der PV-Anlage und der übrigen Fassade einen deutlichen Kontrast.

#### Formale Bezüge

Eine deutliche Anpassung zeigt das Gebäude aber hinsichtlich seiner Bauform und Dachgestaltung. Der kompakte und niedrige Baukörper mit flachgeneigtem Dach entspricht hierin vielen Gebäuden seiner unmittelbaren Umgebung, auch wenn die außermittige Positionierung des Firstes (zur Erhöhung des südlich ausgerichteten Dachflächenanteils) eine gewisse Interpretation zeigt.

Die Einbettung der Halle design.s bewegt sich im Bereich zwischen farblicher und materieller Kontrastierung und angepasster Formgestaltung.



### 4.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 4.22: Logo design.s



Abb. 4.23: Sichtbarkeit des Daches von der Straße aus

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Von der Dachanlage geht abgesehen von ihrer orthogonalen Binnengliederung keine explizit ornamentale Wirkung aus.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Trotz der reduzierten Ausführung des PV-Dachs, ist seine Sichtbarkeit gegeben und damit auch seine Symbolwirkung für Nachhaltigkeit und innovative Techniken, auch im Zusammenhang mit dem Anspruch des Auftraggebers an seine eigene Tätigkeit in dem Werkstattgebäude. Die Corporate Identity der Schreinerei findet aber keine direkte gestalterische Übersetzung in der Gestaltung der PV-Anlage.

In der Kombination von nicht explizit ornamentaler Wirkung und leichter, symbolischer Wirkung hat das Gebäude insgesamt eine unauffällige bis ausgewogene Zeichenwirkung.



## 4.4 Funktionen der BIPV-Anlage

|  |                         |  |
|--|-------------------------|--|
|  | <b>Stromproduktion</b>  | Die Gesamtanlage kann bis zu 70.000 kWh/a erreichen <sup>[1]</sup> und erzeugt 100 % <sup>[4]</sup> der benötigten elektrischen Energie. |
|  | <b>Witterungsschutz</b> | Die Module sind oberhalb der Abdichtungsschicht angeordnet und schützen diese vor der Witterung.   |

## 4.5 Systemtechnik

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | <b>1. Standort</b>  | 48° 22' N / 11° 42' O   |
|  | <b>2. Neigung und Orientierung</b>  | 10 °, Nord und 10 °, Süd <sup>[4][7]</sup>                          |
|  | <b>3. Verschattung</b>  | unverschattet   |
|  | <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b>                                     |   |
|  | <u>Gesamtsystem</u>   |   |
|  | Anwendungsbereich   | Dach  |
|  | PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | ca. 60 %  |
|  | PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | 1.200 m <sup>2</sup> <sup>[1][4]</sup> von ca. 2.000 m <sup>2</sup> |
|  | Nennleistung/m <sup>2</sup>   | 61,3 Wp/m <sup>2</sup>  |
|  | Nennleistung  | 73,54 kWp <sup>[4]</sup>  |
|  | Jahresertrag  | 70.000 kWh/a <sup>[1][4]</sup>                                      |
|  | Solarer Deckungsgrad  | > 100 % <sup>[4]</sup>  |
|  | Anschluss   | Netzanschluss   |
|  | Anzahl Module   | 714 <sup>[4]</sup>  |
|  | Anzahl Wechselrichter   | k. A.   |
|  | <u>Module</u>   |   |
|  | Art   | Dünnschicht <sup>[8]</sup>  |
|  | Hersteller  | Schott Solar  |
|  | Größe   | 130 x 110 cm <sup>[8]</sup>   |
|  | Produktbezeichnung  | ASI 103 <sup>[2]</sup>  |
|  | Modulwirkungsgrad   | 7,1 % <sup>[8]</sup>  |
|  | Nennleistung  | 103 Wp <sup>[3]</sup>   |
|  | Modulfläche gesamt  | 1,43 m <sup>2</sup> <sup>[8]</sup>                                  |
|  | <u>Zellen</u>   |   |
|  | Art   | Silizium amorph   |
|  | Farbe   | Anthrazit   |
|  | <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | hinterlüftet  |
|  | <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | k. A.   |
|  | <b>7. Speicherung</b>   | Netzanschluss   |

## 4.6 Nachweise

### 4.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] SeV 2011, S. 3.
- [2] Riedel 2012.
- [3] Baunetz Wissen 2017.
- [4] Dantele 2014.
- [5] MünchenArchitektur 2017.
- [6] Krippner 2016, S. 9.
- [7] Krippner 2016, S. 15.
- [8] Schott Solar 2009.

### 4.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 4.1: Ansicht (Häussler Ingenieure GmbH, unter: [https://www.haeussler-ingenieure.com/s/cc\\_images/cache\\_24744\\_26352.jpg?t=1492676745](https://www.haeussler-ingenieure.com/s/cc_images/cache_24744_26352.jpg?t=1492676745) [22.07.2020])
- Abb. 4.2: Lageplan (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/buero-gewerbe/schreinerei-in-pulling-2588705/gallery-1/9> [22.07.2020])
- Abb. 4.3: Grundriss (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/buero-gewerbe/schreinerei-in-pulling-2588705/gallery-1/7> [22.07.2020])
- Abb. 4.4: Querschnitt (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/buero-gewerbe/schreinerei-in-pulling-2588705/gallery-1/8> [22.07.2020])
- Abb. 4.5: Konzeptdarstellungen der Architekt/innen zu Form und Volumen, Konstruktion, Gebäudehülle sowie Licht und Strom (Deppisch 2018, S. 5-8)
- Abb. 4.6: Ansicht von Südwesten (SeV 2011, S. 3)
- Abb. 4.7: Ansicht von Westen (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/buero-gewerbe/schreinerei-in-pulling-2588705/gallery-1/5> [22.07.2020])
- Abb. 4.8: Ansicht Gliederung Module und Fassade (SeV 2011, S. 3)
- Abb. 4.9: Detailansicht Flächenbündigkeit (Deppisch 2018, S. 9)
- Abb. 4.10: Ansicht Dach (Krippner 2016, S.9)
- Abb. 4.11: Fahrzeug vor der Werkstatt (Deppisch 2018, S. 15)
- Abb. 4.12: Ansicht des Gebäudes aus Südwest (Deppisch 2018, S. 16)
- Abb. 4.13: Die hellere Nordfassade (Deppisch 2018, S.13)
- Abb. 4.14: Farblich monochrome Anschlussdetails am Dachrand (eigene Aufnahme)
- Abb. 4.15: Detailansicht Dach- und Fassadenmaterialien (eigene Aufnahme)
- Abb. 4.16: Nördliche Polycarbonat-Fassade (Deppisch 2018, S. 15)
- Abb. 4.17: Detailansicht Nordfassade (Deppisch 2018, S. 11)
- Abb. 4.18: Oberflächenstruktur der Holzfassade (eigene Aufnahme)
- Abb. 4.19: Die Schreinerei, mittlerweile ergänzt um ein weiteres Gebäude mit Verkaufsflächen (rechts) (eigene Aufnahme)
- Abb. 4.20: Die landwirtschaftlich geprägte Umgebung in Pulling/Freising (eigene Aufnahme)
- Abb. 4.21: Luftaufnahme der unmittelbaren Nachbarschaft (eigene Aufnahme)
- Abb. 4.22: Logo design.s (design.s, unter: <https://design-s.de/wp-content/uploads/2017/design-s.svg> [22.07.2020])
- Abb. 4.23: Sichtbarkeit des Daches von der Straße aus (eigene Aufnahme)

### 4.6.3 Bibliografie

Baunetz Wissen (2017): Schreinerei in Pulling. Dunkle Hülle aus PV-Modulen und Holz, unter: <https://www.baunetzwissen.de/solar/objekte/buero-gewerbe/schreinerei-in-pulling-2588705> [23.01.2017].

Dantele, Johannes (2014): Halle design.s. energieneutral effizient flexibel, in: 6. Anwenderforum Bauwerkintegrierte Photovoltaik. Kloster Banz/Bad Staffelstein, 11.03.2014. Tagungsband, Regensburg, S. 78-83.

Deppisch, Michael (2018): Low-Tech: Standards, Hülle, Technik, Vortragsfolien unter: [https://www.akbw.de/fileadmin/download/Freie\\_Dokumente/Fortbildung\\_IFBau/ARCHIKON\\_2018/ARCHIKON\\_Vortraege\\_Diskussionen/Michael\\_Deppisch\\_Low-Tech\\_DIS\\_DL.pdf](https://www.akbw.de/fileadmin/download/Freie_Dokumente/Fortbildung_IFBau/ARCHIKON_2018/ARCHIKON_Vortraege_Diskussionen/Michael_Deppisch_Low-Tech_DIS_DL.pdf) [28.05.2022].

Guthardt, Steffen (2012): Design wie aus einem Guss. Gewerbebau mit Solar, in: DHZ Deutsche Handwerkszeitung unter: <https://www.deutsche-handwerks-zeitung.de/design-wie-aus-einem-guss/150/3094/172435> [23.01.2017].

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, München, 2016.

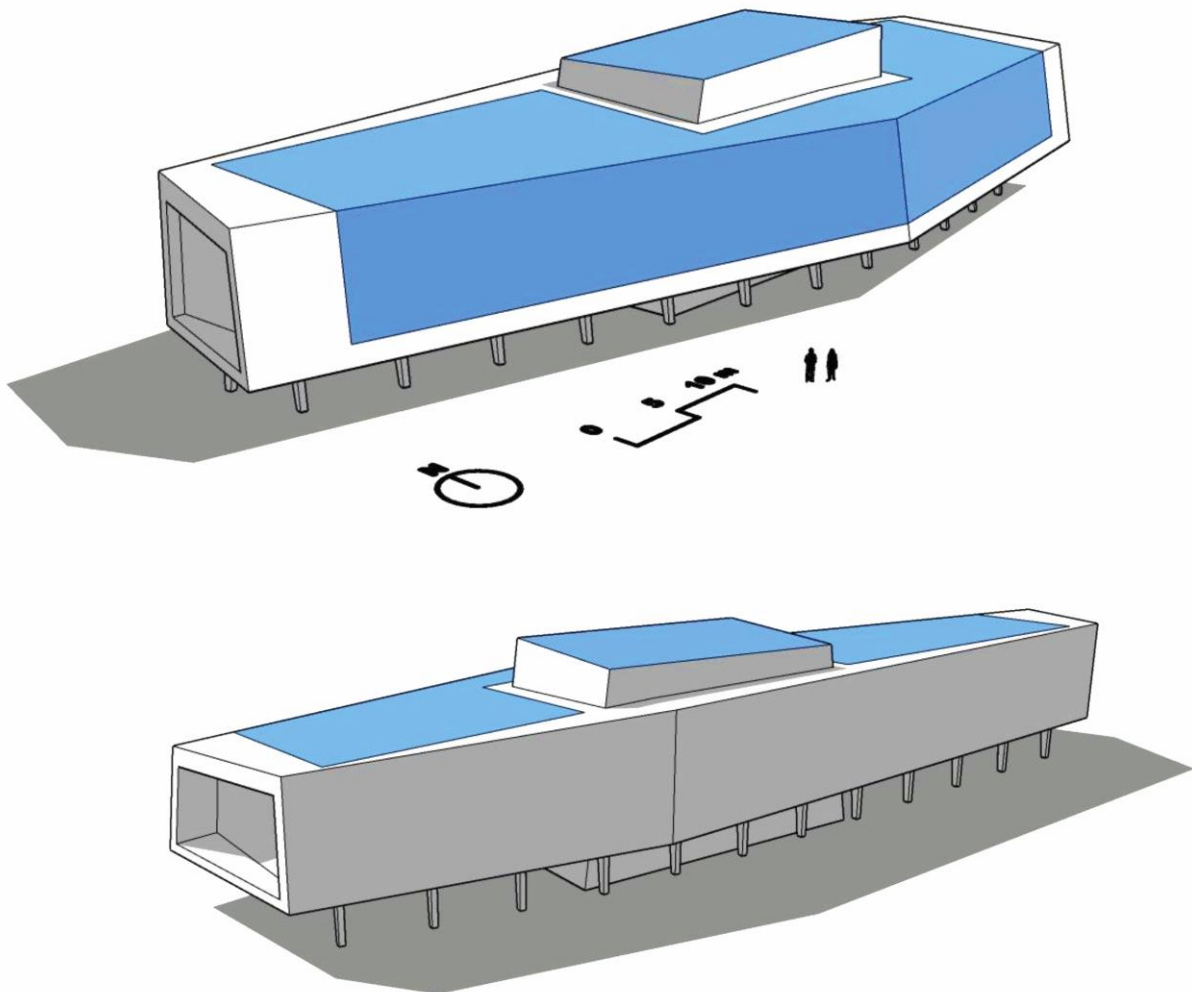
MünchenArchitektur (Hg.) (2017): Hausbesuch 09. Werkhalle design.s, unter: <https://www.muenchenarchitektur.com/beitrag/27-events/20917-hausbesuch-schreinerei> [23.01.2017].

Riedel, Anja (2012): Vorbildliches Geschäft, in: photovoltaik online 02/2012, unter: <https://www.pv-magazine.de/archiv/vorbildliches-geschft> [23.01.2017].

Schott Solar (2009): Datenblatt. Schott ASI Dünnschicht Solarmodul 95/97/100/103, unter <https://www.oeko-energie.de/downloads/schott-asi-95-97-100-103-de.pdf> [30.05.2020].

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2011): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011: Ergebnisse des Wettbewerbs, München.

## 5 SMA Solar Academy, Niestetal (DE), 2010



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 5.1 Projektdaten



Abb. 5.1: Ansicht



Abb. 5.2: Lageplan

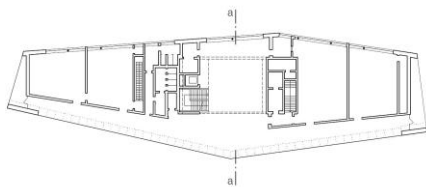


Abb. 5.3: Grundriss

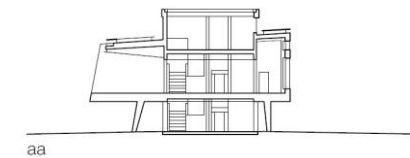


Abb. 5.4: Schnitt

| <b>Projekt</b>  |   |
|---|---|
| Name  | SMA Solar Academy   |
| Standort  | Niestetal (DE)  |
| Fertigstellung  | 2010  |
| Gebäudenutzung  | Schulungsgebäude  |
| <b>Planung</b>  |   |
| Bauftrag  | SMA Solar Technology AG   |
| Architektur   | HHS Planer + Architekten AG, Kassel   |
| Energie   | Energydesign, Braunschweig  |
| <b>BIPV-System</b>  |   |
| Modulart  | Glas-Glas-Module in der Isolierverglasung einer Pfosten-Riegel-Konstruktion (Warmfassade) |
| Anwendungsbereich   | Fassade und Dach  |
| Ausrichtung   | Südost und Südwest  |
| PV-Belegung   | ca. 31 % (1.360 m <sup>2</sup> von ca. 4.350 m <sup>2</sup> )                             |
| Nennleistung  | 90,4 kWp <sup>[3]</sup>   |
| Jahresertrag  | 8.500 kWh/a <sup>[3]</sup>  |
| Spezifischer Jahresertrag   | 94,0 kWha/kWp <sup>[3]</sup>  |
| Solarer Deckungsgrad  | 100 %   |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |   |
| Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik  |   |
| <b>Wettbewerbe</b>  |   |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011 (Anerkennung)   |   |
| Deutscher Solarpreis 2013   |   |
| <b>Beschreibung</b>   |   |
| Die Solar Academy ist ein Schulungs- und Seminargebäude der Firma SMA. Zum Schutz vor Überflutungen ist der längliche Baukörper aufgeständert. Um eine regenerative und zu 100 % netz-unabhängige Stromversorgung zu gewährleisten, sind in die den Gebäudekörper vollständig umhüllende Aluminiumfassade großflächig PV-Module integriert. |   |



## 5.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

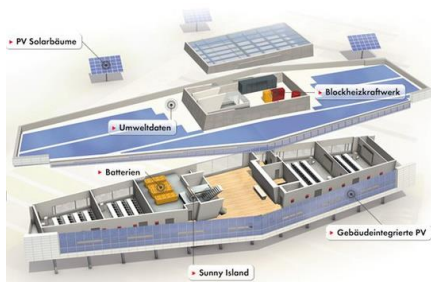


Abb. 5.5: Konzept der Academy

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2011): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011: Ergebnisse des Wettbewerbs:

„Der aufgeständerte Baukörper weist eine langgestreckte, leicht geknickte Südfassade auf, mit glasintegrierten PV-Zellen. Diese Fassade, in der die semitransparente Belegungsfläche je nach Sichtbezug und Verschattungsbedarf differenziert ist, fungiert als weithin sichtbares Gestaltungselement.“<sup>20</sup>

Baunetz Wissen (2020): Schulungsgebäude in Niestetal. Stromnetzunabhängige Energieversorgung mit erneuerbaren Energien:

„Die Gebäudeform und -ausrichtung sind auf die großflächige Integration von Photovoltaik in die Dach- und Wandflächen entsprechend geplant und optimiert worden. [...] Die konische Grundrissform, die unter dem Gebäude durchlaufende Parkplatzstruktur und die schräg gestellten Stützen vermitteln auch auf der Eingangsebene unter dem Gebäude eine gewisse Leichtigkeit. [...] Die im Planungsprozess neu entwickelte Fassade sorgt zudem für angenehmen Halbschatten und interessante Lichtspiele im Innenraum. [...] Das Energiekonzept ist direkt erlebbar [...] Nicht nur die fassadenintegrierte Solaranlage sticht sofort ins Auge, eine Glaswand im Aufgang gewährt einen Blick auf die Insel-Wechselrichter und den dahinterliegenden Batterieraum.“

Baunetz Architekten (2020): HHS Planer + Architekten AG. Neubau Solar-Academy SMA Niestetal:

„Großflächige gebäudeintegrierte Photovoltaikmodule fungieren als Dach und als Fassade. Somit vereint die Gebäudehülle technische Anforderungen mit der Ästhetik eines schwebenden und leichten Baukörpers. [...] Durch die Verkleidung mit ausschließlich Glas und Metall, sind die Material und Konstruktionsübergänge von Wand, Dach und Untersicht fließend.“

Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik:

„Weiße Aluminiumverbundplatten und eine großflächige Glasfassade prägen die Gebäudehülle. In die langgestreckte, leicht geneigte und mit ihrer polygonalen Faltung dem Sonnenverlauf folgende Südfassade sind PV-Module integriert. Die semitransparenten, monokristallinen Glas-Glas-Module in der Pfosten-Riegel-Konstruktion [...] tauchen [...] den Innenraum in einen angenehmen Halbschatten. [...] Insgesamt erreicht die Fassadenanlage, die als weithin sichtbares Gestaltungselement fungiert, eine Leistung von 31,7 kWp.“<sup>21</sup>

Trotz der „Großflächigkeit“ der Integration wird im Zusammenhang mit dem Gesamtgebäudekörper, den die PV-Fassade umhüllt, auch auf deren „fließende Übergänge“ und „Leichtigkeit“ verwiesen. Die integrierte PV-Anlage wird als „differenziert“ und „angenehm“ in Bezug auf die wahrnehmbaren Schattenspiele beschrieben, insbesondere aber als „weithin sichtbares Gestaltungselement“, das „sofort ins Auge sticht“.



<sup>20</sup> SeV 2011, S. 7.

<sup>21</sup> Krippner 2016, S. 128.

## 5.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

Die BIPV-Anlage der Solar Academy besteht aus einer Dach- und einer Fassadenanlage, die zudem von acht „Solarbäumen“ mit 73,7 kWp Leistung auf der umgebenden Parkplatzfläche ergänzt wird. Die Analysen im Rahmen dieser Projektstudie beziehen sich nur auf die integrierten Anlagen der Gebäudehülle.

### 5.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 5.6: Aufsicht



Abb. 5.7: Analyse Proportionen Südfassade

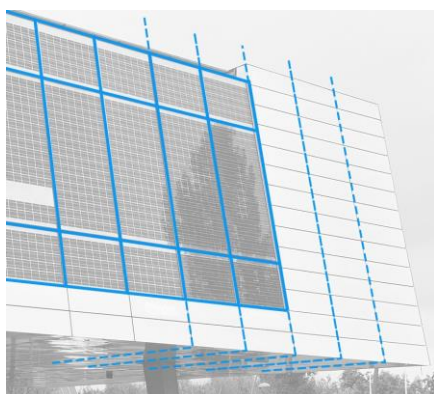


Abb. 5.8: Analyse Ordnungslinien Südfassade

#### Proportionale Bezüge

Der Generator am Gebäude mit seinen Dach- und Fassadenbereichen ist in seinen Maßverhältnissen exakt auf die übrigen Flächen abgestimmt und fügt sich sowohl in deren Ordnungslinien als auch flächenbündig ein. Die visuelle Integrität der Gebäudeoberflächen wird nicht gestört von Teilen der PV-Anlage wie unregelmäßigen Rändern, Kanten, Durchdringungen, Restflächen, Rahmen o.a. Seine Neigung und angewinkelte Stellung prägen die Form des unregelmäßigen Gebäudes aber stark.

Bezogen auf seine Binnengliederung sind die einzelnen Module in ihrer Anordnung und ihren Abmessungen genau auf die Aluminiumbleche der Fassade abgestimmt und haben bei gleicher Breite allerdings abweichende Höhen.

Die Zellen heben sich durch ihr quadratisches Format deutlich unter den vielen rechteckig-länglichen Formen ab und bilden unter sich ein Bezugssystem, das über die Module hinweg eigenständig wirkt, und den Zellen selbst ein hohes Gewicht gibt.

#### Flächenintegrität

Die der PV gewidmeten Flächen werden vollständig ausgefüllt und von Durchdringungen freigehalten. Im Dachbereich sind zu diesem Zweck zahlreiche Module in Sonderformaten angefertigt worden. Beide Anlagen sind sorgfältig flächenbündig und homogen gestaltet, um die visuelle Integrität der Gebäudeoberflächen nicht zu stören.

#### Formprägung

Die Integration von PV prägt die Form des Gebäudes deutlich sowohl bezüglich der Orientierung des gesamten Baukörpers als auch in der Ausrichtung und Neigung seiner südlichen Oberflächen.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Der Flächenanteil der PV-Anlage mit ca. 1.360 m<sup>2</sup> liegt im Verhältnis zur übrigen Fassade inkl. der sichtbaren Unterseite des Gebäudes mit ca. 4.350 m<sup>2</sup> bei ca. 31 %.

Das strenge, orthogonale Raster, das die gesamte Fassade gliedert, vereinheitlicht Maße und Ordnungslinien von Gebäude und PV-Anlage. Durch die bündige Integration der solaraktiven Bereiche ist die Flächenintegrität des Gebäudes gewahrt. Dennoch gibt die starke Formprägung, die von den sonnenorientierten PV-Flächen ausgeht, und der Gesamtflächenanteil der Anlage der Einfügung eine deutlich auffällige Tendenz.



### 5.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 5.9: Personengruppe vor dem Gebäude



Abb. 5.10: Freilassungen in den Modulen ermöglichen Ausblicke auf Augenhöhe

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Im allgemeinen Größenvergleich sind die PV-Flächen fast genau so groß wie die südlichen Einzelflächen der Fassade bzw. das gesamte Dach. Die Module sind im Vergleich mit den Metallblech-Elementen deutlich größer.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Verglichen mit menschlichen Maßstäben hat insbesondere die vorrangig wirksame Generatorfläche der Südfassade die Dimension einer gesamten Fassadenfläche. Ihre Binnengliederung aber führt zu einer ausgewogenen Maßstäblichkeit für den Bereich der Fassade und auch die kleinmaßstäbliche Zellanordnungen unterstreichen dies. Die Gliederung der Module und die Belegungsdichte der Zellen ist auf menschliche Maße abgestimmt, beispielsweise indem die Anordnung der Zellen Ausblickmöglichkeiten auf Augenhöhe ermöglicht.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Im Vergleich mit bauüblichen Maßstäben hat der Gesamtgenerator die Dimension einer Fassadenbekleidung. Seine Binnengliederung entspricht dabei üblichen Fassadenrastern und die ablesbaren Größen der Zellen lassen ihn eher kleinmaßstäblich wirken.

Auch wenn die Gesamtanlage großmaßstäblich wirkt, reduzieren Modul- und Zellengrößen diesen Eindruck für den Fassadenbereich auf eine bauübliche und ausgewogene Erscheinung. Auch menschliche Belange werden explizit berücksichtigt.



### 5.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 5.11: Ansicht Südfassade



Abb. 5.12: Ansicht Nordfassade

#### Abgestimmte Farbtöne

Die Farbkombination setzt sich überwiegend aus dem hellgrauen Farbton der Aluminiumverbundplatten und dem Sichtbeton der Elemente des Erdgeschosses sowie dem Dunkelblau bis Anthrazit der monokristallinen Zellen der PV-Anlagen zusammen. Sie liegt somit vorwiegend im Bereich einer unauffälligen bis ausgewogenen, analogen Zusammenstellung. Die Farbe der inneren Beleuchtung sowie der individuellen Fassadenbeleuchtung ermöglichen es bei entsprechend schwachem Umgebungslicht einen starken komplementärer Farb-Dreiklang zwischen Blau, Gelb und Grün zu erzeugen.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Die Farbhelligkeiten weichen stark voneinander ab. Den großen hellen Fassadenflächen stehen fast ebenso große Flächen dunklen Module gegenüber und erzeugen diesbezüglich einen starken Kontrast.

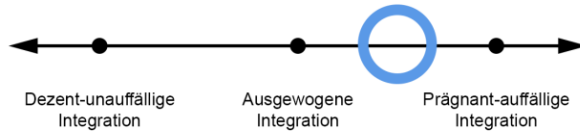
#### Abgestimmte Farbsättigungen

Die Farbsättigungen aller Materialien der Gebäudehülle erscheinen gleichmäßig niedrig. Je nach Lichtsituation können die Glas-Glas-Module der PV-Anlage durch Reflexionseffekte intensiv blau leuchten. Dann entstehen deutliche Kontraste, die die Anlage in ihrer optischen Wirkung hervortreten lassen.



Abb. 5.13: Ansicht beleuchtet

Der Farbklang zeigt insgesamt eine monochrome bis analoge Farbtonkombination mit starken Helligkeitskontrasten. Die Farbsättigungen können, je nach Lichtsituation, ebenfalls zu auffälligen Kontrasten führen und auch die Möglichkeiten der individuellen Gebäudebeleuchtung ermöglichen es die PV-Anlage optisch auffälliger hervortreten zu lassen.



### 5.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 5.14: Materialien der Südfassade

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Bezogen auf ihre Transparenzgrade sind in der Fassade opake Dach- und Fassadenverkleidungen mit einer opaken Dachanlage kombiniert. Lediglich im Bereich der Südfassade entsteht ein Kontrast zwischen der großflächigen, semitransparenten Fassadenanlage und der geschlossenen Blechfassade, die sie umgibt.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Die Glanzgrade aller Materialien sind so aufeinander abgestimmt, dass hier kaum Kontraste entstehen. Aluverbundplatten wie auch die solaraktiven Bauteile haben eine leicht bis stark glänzende Oberfläche, die auch von weiteren Elementen der Fassade wie z. B. Glasbrüstungen aufgegriffen wird. Lediglich die matten Sichtbeton-Elemente weichen hiervon ab.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Auch in Bezug auf die Oberflächentexturen der Gebäudehülle erscheinen insbesondere alle Materialien des Hauptgebäudekörpers glatt. Die PV-Flächen fügen sich diesbezüglich völlig unauffällig ein und sind wie die Metallfassade eindeutig dem Hauptvolumen zugeordnet.



Abb. 5.15: Materialmix am Gebäude

Der mit Alu- und Glas-Elementen verkleidete Hauptgebäudekörper wird von einem Kern durchdrungen und ist auf Stützen aufgeständert, die aus Sichtbeton bestehen. An dem hauptsächlich opaken Gebäude sticht der Fassadenteil der PV-Anlage vor allem durch ihre Semitransparenz (insbesondere bei innerer Beleuchtung und dunkler Umgebung) heraus. Die Glanzgrade und Texturen der Materialien der Gebäudehülle haben so große Ähnlichkeit, dass hier insgesamt ein ausgewogener Eindruck entsteht.



Abb. 5.16: Hervortretende Semitransparenz der Fassadenanlage am Abend bei innerer Beleuchtung

### 5.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 5.17: Luftaufnahme mit Blick nach Süden



Abb. 5.18: Luftaufnahme mit Blick nach Norden

#### Farbliche Bezüge

Farbliche Bezüge zeigt das PV-bestückte Akademie zu den Blau- und Weißtönen anderer Gebäude der industriellen Umgebung, die teilweise ebenfalls mit PV ausgestattet sind. Von den nahgelegenen Naturräumen grenzt es sich farblich stark ab.

#### Materielle Bezüge

Ähnlich wie mit den farblichen Bezügen verhält es sich auch im Hinblick auf die verwendeten Materialien. Die Metall- und Glas-Elemente der Fassade sind den Materialien der Nachbargebäude sehr ähnlich und das Gebäude fügt sich diesbezüglich unauffällig ein.

#### Formale Bezüge

Eine formale Anpassung lässt das Gebäude nicht erkennen. Im Gegenteil, die Gestaltung der PV-Anlage prägt Form und Ausrichtung des Gebäudekörpers so stark, dass dieser einen deutlichen Kontrast bildet zu seiner Nachbarbebauung.

Das PV-bestückte Gebäude weist zahlreiche farbliche und materielle Bezüge zu seiner Umgebung auf, in denen es sich an diese anpasst. Die starke Formprägung, die von der Anpassung des Baukörpers zur Einstrahlungsoptimierung ausgeht, führt aber insgesamt zu einer starken Solitärwirkung und unterstreicht die Auffälligkeit der Integration.



### 5.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung

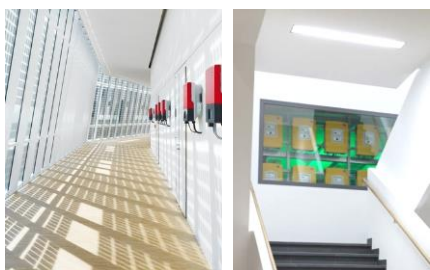


Abb. 5.19: Sichtbarkeit der installierten PV-Technik für Besucher/innen und Schulungsteilnehmer/innen

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Das markante Raster der Zellen in der Südfassade, das von außen wie von innen wahrnehmbar ist, hat eine deutliche großflächige Musterwirkung am Gebäude und schmückt dieses wie ein „Pixel“-Druck.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Als Schulungsgebäude der SMA Solar Technology AG ist die starke symbolische Wirkung der BIPV-Anlage auf vielen Ebenen bewusst gestaltet worden. Nicht nur die Module und Zellen, auch Wechselrichter und Technikzentrale sind gut sichtbar platziert und machen das gesamte Gebäude zum Anschauungsobjekt für Fortschritt und Umweltbewusstsein in Bezug auf eine autonome und umweltfreundliche Stromversorgung (mit den Produkten des auftraggebenden Unternehmens). Auch das Schattenspiel der Fasadenanlage ermöglicht eine angenehme und unmittelbare Wahrnehmbarkeit der Solartechnik. Erscheint die Farbe der PV dunkelblau, kann sie auch als Teil der Farben des Corporate Designs des Unternehmens interpretiert werden.




Abb. 5.20: SMA Wechselrichter-Produkte


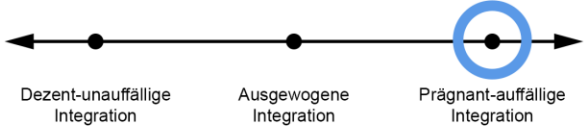


Abb. 5.21: Logo SMA

Sowohl die Musterwirkung der Anlage in der Südfassade als auch die starke symbolische Wirkung der BIPV und die Erlebbarkeit des Energiekonzeptes verleihen dem Gebäude eine starke Zeichenwirkung.



Dezent-unauffällige Integration      Ausgewogene Integration      Prägnant-auffällige Integration

## 5.4 Funktionen der BIPV-Anlage

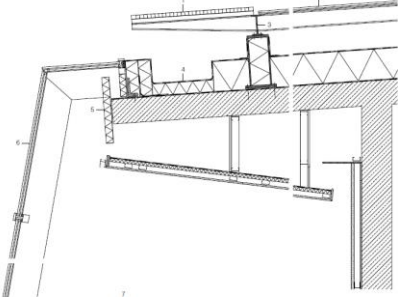


Abb. 5.22: Fassadenschnitt

|  | Fassade   | Dach  |
|--|---|---|
| <b>Stromproduktion</b>                         | Die Gesamtanlage kann bis zu 8.500 kWh/a erreichen <sup>[1]</sup> und erzeugt 100 % der benötigten elektrischen Energie. <sup>[3]</sup> |   |
| <b>Witterungsschutz</b>                        | Die Module sind oberhalb der Abdichtungsschicht angeordnet und schützen diese vor der Witterung.  | Durch die Dachanlage werden die dahinterliegenden Bauteile geschützt. |
| <b>Thermischer Schutz</b>                      | Die PV-Anlage reduziert den Wärmeeintrag.   |   |
| <b>Schallschutz</b>                            | Die Module in der Fassade bieten einen Schallschutz für die dahinterliegenden Räume.  |   |
| <b>Sonnenschutz/<br/>Tageslichtregulierung</b> | Die Belegungsdichte der Zellen ist auf den Sonnenschutz- und Tageslichtbedarf abgestimmt.   |   |
| <b>Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz</b>    | Die Semitransparenten Module in der Fassade bieten einen Sichtschutz für die dahinterliegenden Räume.                                   |   |
| <b>Repräsentation einer CI</b>                 | Die Anlage zeigt eine farbliche Analogie zu den Firmenfarben und es kommen firmeneigene Produkte zum Einsatz.                           |   |
| <b>Atmosphärische Effekte</b>                  | Die Zellen erzeugen einen interessanten Halbschatten im Inneren.  |   |

## 5.5 Systemtechnik



Abb. 5.23: Batteriespeicher

|   | Fassade  | Dach   |
|---|--|--|
| <b>1. Standort</b>  | 51° 18' N / 9° 32' O   |  |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>  | ca. 78 °, Südwest und Südost   | ca. 5 °, Südwest und Südost                          |
| <b>3. Verschattung</b>  | unverschattet  |  |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Solarzellen und -module</b>                    |  |  |
| <u>Gesamtsystem</u>   |  |  |
| Anwendungsbereich   | Fassade  | Dach   |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>   | 102,25 Wp/m <sup>2</sup> [3]   | 65,2 Wp/m <sup>2</sup>                               |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | ca. 15 %   | ca. 70 %   |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | 1.360 m <sup>2</sup> von ca. 4.350 m <sup>2</sup>  |  |
| Nennleistung  | 31,7 kWp [3] [5]   | 58,7 kWp [3] [5]                                     |
| Jahresertrag  | 8.500 kWh/a [3] [22]   |  |
| Solarer Deckungsgrad  | 100 % [4]  |  |
| Anschluss   | Netzunabhängig   |  |
| <u>Module</u>   |  |  |
| Art   | Semitransparente, monokristalline Glas-Glas-Module in einer Pfosten-Riegel-Konstruktion [3]              | Hinterlüftete monokristalline Photovoltaikmodule [3] |
| Hersteller  | Schüco [3]   | Schüco [3]   |
| Größe   | k. A.  | k. A.  |
| Produktbezeichnung  | k. A.  | k. A.  |
| Modulwirkungsgrad   | k. A.  | k. A.  |
| Nennleistung  | k. A.  | k. A.  |
| Modulfläche   | k. A.  | k. A.  |
| Anzahl  | 135  | 192  |
| Anzahl Wechselrichter   | k. A.  | k. A.  |
| <u>Zellen</u>   |  |  |
| Art   | Monokristallin [3]   | Monokristallin [3]                                   |
| Farbe   | Dunkelblau   | Dunkelblau   |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | in Warmfassade eingebunden   | hinterlüftet   |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | Das Gebäude ist autark. [5]  |  |
| <b>7. Speicherung</b>   | Als Zwischenspeicher sind 96 Hochleistungsbatterien vorhanden mit einer Gesamtkapazität von 230 kWh. [5] |  |

<sup>22</sup> Prognostizierter Energieertrag inkl. der acht Solarbäume: 172 MWh/a (vgl. Krippner 2016, S. 129).

## 5.6 Nachweise

### 5.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] HHS 2020a.
- [2] HHS 2020b.
- [3] Krippner 2016, S. 128-129.
- [4] SeV 2011, S. 7.
- [5] SMA 2020.

### 5.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 5.1: Ansicht (HHS Planer + Architekten AG, unter:  
<https://www.hhs.ag/projekte-Schulbau-solar-akademie.de.html> [11.07.2021])
- Abb. 5.2: Lageplan (Krippner 2016, S. 128)
- Abb. 5.3: Grundriss (Krippner 2016, S. 128)
- Abb. 5.4: Schnitt (Krippner 2016, S. 128)
- Abb. 5.5: Konzept der Academy (SMA Solar Technology AG, unter:  
<https://solaracademy.sma.de/standorte/guenther-cramer-solar-academy.html> [11.07.2021])
- Abb. 5.6: Aufsicht (eigene Aufnahme)
- Abb. 5.7: Analyse Proportionen Südfassade (eigene Darstellung)
- Abb. 5.8: Analyse Ordnungslinien Südfassade (eigene Darstellung)
- Abb. 5.9: Personengruppe vor dem Gebäude (Erdgas Südwest GmbH, unter: <https://www.erdgas-suedwest.de/natuerlichzukunft/energiewende-barcamp-renewables-kassel> [11.07.2021])
- Abb. 5.10: Freilassungen in den Modulen ermöglichen Ausblicke auf Augenhöhe (Energiezukunft/Joschua Katz, unter: <https://www.energiezukunft.eu/umweltschutz/barcamp-renewables-2016> [11.07.2021])
- Abb. 5.11: Ansicht Südfassade (Baunetz Wissen/Constantin Meyer, unter:  
<https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/objekte/gewerbe-industrie/schulungsgebäude-in-niestetal-1465183/gallery-1/2> [11.07.2021])
- Abb. 5.12: Ansicht Nordfassade (HHS 2020a, S. 1)
- Abb. 5.13: Ansicht beleuchtet (HHS 2020a, S. 1)
- Abb. 5.14: Materialien der Südfassade (eigene Aufnahme)
- Abb. 5.15: Materialmix am Gebäude (eigene Aufnahme)
- Abb. 5.16: Hervortretende Semitransparenz der Fassadenanlage am Abend bei innerer Beleuchtung (Lichtvision/Linus Lintner, unter: <http://www.lichtvision.com/de/projekte/oeffentliche-gebäude/sma-solar-akademie-niestetal-deutschland.html> [12.10.2022])
- Abb. 5.17: Luftaufnahme mit Blick nach Süden (eigene Aufnahme)
- Abb. 5.18: Luftaufnahme mit Blick nach Norden (eigene Aufnahme)
- Abb. 5.19: Sichtbarkeit der installierten PV-Technik für Besucher/innen und Schulungsteilnehmer/innen (SMA 2020, S. 20)
- Abb. 5.20: SMA Wechselrichter-Produkte (SMA 2020, S. 20)
- Abb. 5.21: Logo SMA (SMA Solar Technology AG, unter:  
[https://www.sma.de/fileadmin/\\_migrated/pics/SMA\\_ST\\_Logo\\_RGB.jpg](https://www.sma.de/fileadmin/_migrated/pics/SMA_ST_Logo_RGB.jpg) [05.04.2020])
- Abb. 5.22: Fassadenschnitt (Krippner 2016, S. 129)
- Abb. 5.23: Batteriespeicher (SMA 2020, S. 8)



### 5.6.3 Bibliografie

Baunetz Architekten (2020): HHS Planer + Architekten AG. Neubau Solar-Academy SMA Niestetal, unter: <https://www.baunetz-architekten.de/hhs-planer-architekten/31117/projekt/2291099> [28.08.2020].

Baunetz Wissen (2020): Schulungsgebäude in Niestetal. Stromnetzunabhängige Energieversorgung mit erneuerbaren Energien, unter: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/objekte/gewerbe-industrie/schulungsgebaeude-in-niestetal-1465183> [28.08.2020].

Europäische Vereinigung für Erneuerbare Energien e. V. (EUROSOLAR) (2013): Deutscher Solarpreis 2013. Preisträger, unter: [https://eurosolar.de/de/images/SOLARPREISE/DSP/DSP\\_2013/Broschuere\\_DSP\\_2013\\_Web.pdf](https://eurosolar.de/de/images/SOLARPREISE/DSP/DSP_2013/Broschuere_DSP_2013_Web.pdf) [28.08.2020].

HHS Planer + Architekten AG (2020a): Referenzen. Solar-Akademie, unter: <https://www.hhs.ag/projekte.html?projekt=solar-akademie&typologie=> [28.08.2020].

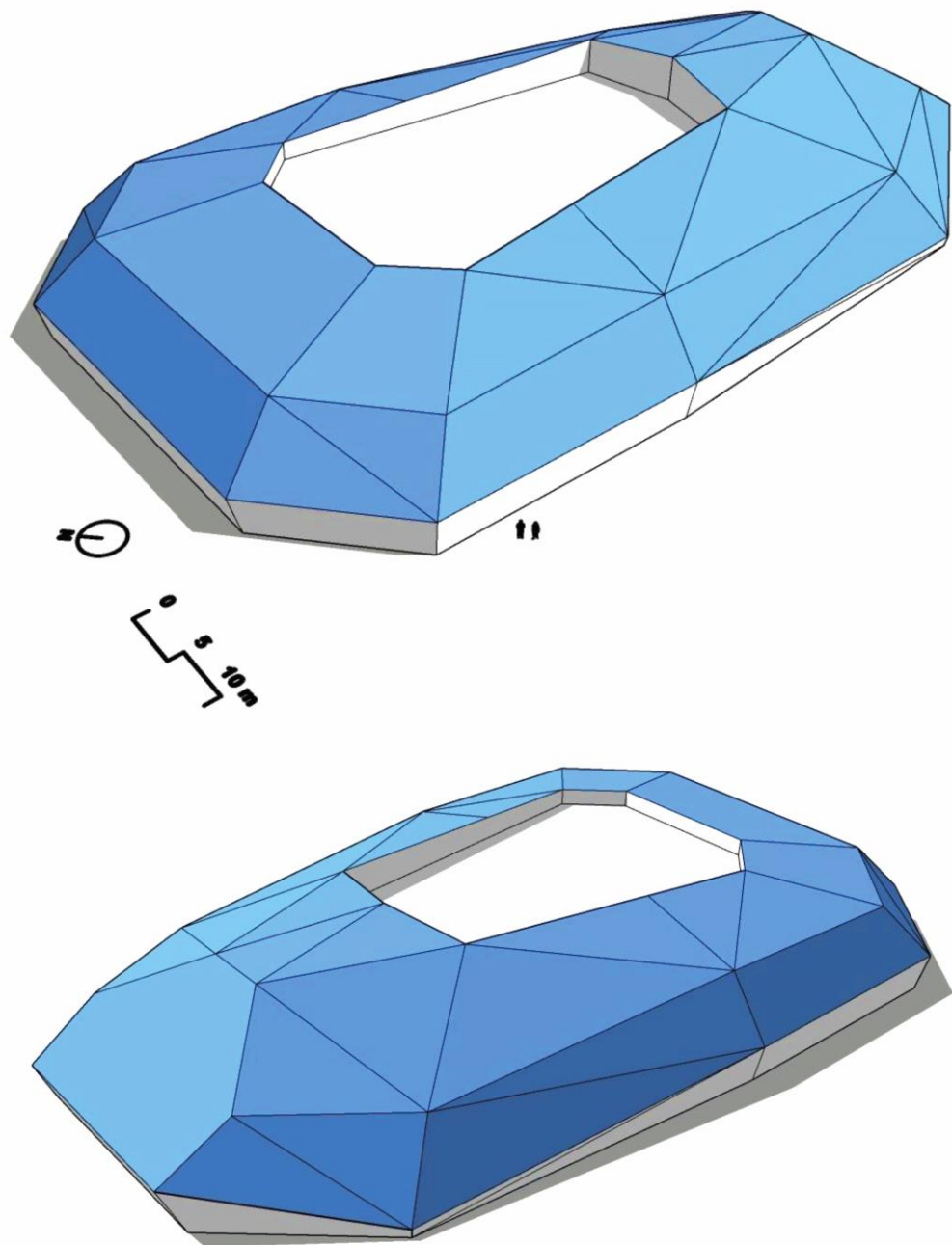
HHS Planer + Architekten AG (2020b): Neubau SMA Solar Academy Niestetal, unter: [https://www.hhs.ag/img/projekte/818-SMA\\_33/818-Solar-Akademie\\_Niestetal\\_HHS\\_Planer\\_und\\_Architekten\\_AG.pdf](https://www.hhs.ag/img/projekte/818-SMA_33/818-Solar-Akademie_Niestetal_HHS_Planer_und_Architekten_AG.pdf) [28.08.2020].

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, München, 2016.

SMA Solar Technology AG (2020): Flyer SMA Solar Academy, unter: [https://www.sma-sunny.com/wp-content/uploads/2014/09/SMA\\_Solar-Academy\\_Flyer.pdf](https://www.sma-sunny.com/wp-content/uploads/2014/09/SMA_Solar-Academy_Flyer.pdf) [28.08.2020].

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2011): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2011: Ergebnisse des Wettbewerbs, München.

## 6 Umweltarena Spreitenbach (CH), 2012



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 6.1 Projektdaten



Abb. 6.1: Ansicht

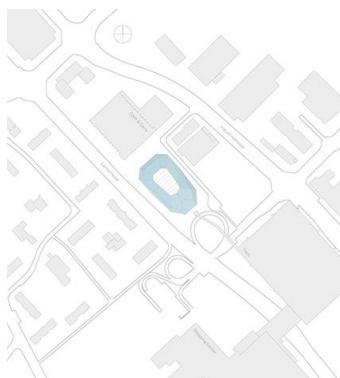


Abb. 6.2: Lageplan

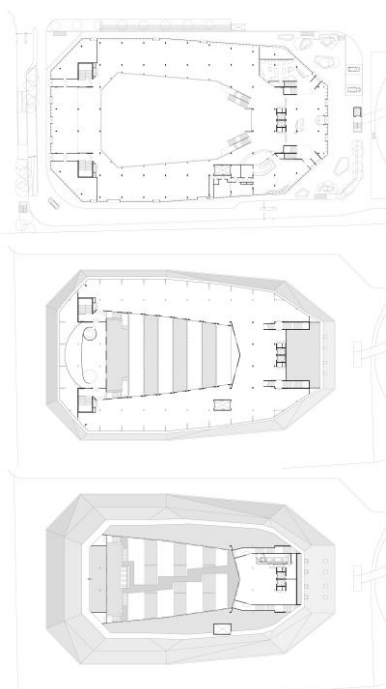


Abb. 6.3: Grundrisse EG, 2. OG, DA

| <b>Projekt</b>  |  |
|---|--|
| Name  | Umweltarena Spreitenbach   |
| Standort  | Spreitenbach (CH)  |
| Fertigstellung  | 2012   |
| Gebäudenutzung  | Ausstellungs- und Eventforum   |
| <b>Planung</b>  |  |
| Bauftrag  | Stiftung Umwelt Arena Schweiz  |
| Architektur   | René Schmid Architekten AG, Zürich   |
| Photovoltaik  | BE Netz, Ebikon  |
| <b>BIPV-System</b>  |  |
| Modulart  | Monokristalline Glas-Glas-Module   |
| Anwendungsbereich   | Dach   |
| Ausrichtung   | 33 unterschiedliche Teilflächen (alle Richtungen, überwiegend südöstlich/nordwestlich, von 60 ° bis 6 ° Neigung) |
| PV-Belegung   | 80 % (5.300 m <sup>2</sup> von 6.600 m <sup>2</sup> ) <sup>[5]</sup>   |
| Nennleistung  | 736,62 kWp <sup>[1]</sup>  |
| Jahresertrag  | 540.000 kWh/a  |
| Spezifischer Jahresertrag   | 733,1 kWha/kWp   |
| Solarer Deckungsgrad  | 203 % <sup>[2]</sup>   |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |  |
| Egloff (2012): Solare Tarnkappe. Umweltarena in Spreitenbach, DETAIL.de (24.10.2012)  |  |
| Heinstein/Ballif/Perret-Aebi (2013): Building Integrated Photovoltaics (BIPV). Review, Potentials, Barriers and Myths<br>pv magazine Deutschland 01/2013  |  |
| <b>Wettbewerbe</b>  |  |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014 (1. Preis)  |  |
| Norman Foster Solar Award 2012  |  |
| Europäischer Solarpreis 2012 (Kategorie Eigentümer oder Betreiber von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien)  |  |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |  |
| Die Umweltarena ist ein Ausstellungs- und Eventforum für bis zu 4.000 Besucher. Mehr als 100 Firmen und Organisationen können auf drei Unter- und vier Obergeschossen Produkte und Kompetenzen im Bereich erneuerbare Energien und Umweltschutz präsentieren. |  |

## 6.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters



Abb. 6.4: Entwurfsskizze des Architekten

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2014): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014: Ergebnisse des Wettbewerbs:

*„Die Architekten nehmen bei der Dachgestaltung Bezug auf aktuelle Strömungen und entwerfen eine prismenartige Form mit vielen unterschiedlich geneigten und exponierten Teilflächen. [...] Die Architekten sprechen von einem „futuristischen Solarkleid“, dessen konstruktive und formale Ausführung eine gleichermaßen in Fern- und Nahsicht überzeugende Lösung darstellt. Es zeigt sich, dass geometrisch vielschichtige Gestaltung auch mit gängiger Photovoltaiktechnik elegant zu realisieren ist.“<sup>23</sup>*

Baunetz Wissen (2017): Umweltarena in Spreitenbach. Vorzeigeprojekt für Nachhaltigkeit und Effizienz im Minenergie-P-Standard:

*„Zwischen diesen meist gesichtslosen Bauten sticht ein auffällig gestalteter Solitär mit dunkler, mehrfach geknickter, zum Teil bis auf den Boden reichender Dachfläche heraus. [...] Bei der Formgebung ließen sich die Planer zum einen von Vögeln mit ihren ausgebreiteten Schwingen inspirieren, zum anderen diente aber auch das schnittige Design schneller Autos und Boote als Vorbild. So entwickelten die Architekten das markante und komplexe Dachtragwerk, welches [...] mit schwarzen Photovoltaik-Elementen verkleidet ist.“*

Riedel (2013): Origami Solar, in: pv magazine 01/2013:


*„Das Gewerbegebiet des kleinen Orts Spreitenbach [...] erscheint zunächst wie ein weiterer Klon der typischen Vorort Einkaufszentren. [...] Doch dazwischen steht ein dynamisches Gebilde, das an einem solchen Ort niemand erwartet hätte und das trotzdem sehr gut passt. Es [...] ist überspannt von einer mehrfach gefalteten, riesigen Dachkonstruktion. Die Umwelt Arena soll anders sein, will provozieren und informieren – gerade in dieser Umgebung. Dazu gehört auch Photovoltaik. 33 unterschiedlich ausgerichtete dreieckige und trapezförmige Dachflächen aus Solarmodulen geben der Umwelt Arena ein außergewöhnliches Antlitz. Etwas von der Aufbruchstimmung und den Zukunftsvisionen, die den Besucher im Inneren erwarten, soll sich bereits außen manifestieren. [...]. Sowohl der Landeanflug eines Vogels als auch die Klarheit kristalliner Strukturen hätten ihn [René Schmid] beim Entwurf dieser ungewöhnlichen Gebäudeform inspiriert. [...] Spektakulär wirkt das enorme Photovoltaikdach mit seinen 5.300 Quadratmetern.“*

Egloff (2012): Solare Tarnkappe. Umweltarena in Spreitenbach, DETAIL online (24.10.2012):

*„Die Zeiten, in denen Gebäude ihre ökologische Vorbildwirkung offen zur Schau tragen mussten, ist eigentlich vorbei. Statt voluminöser Wintergärten, alles überwuchernder Gründächer oder vollflächiger Photovoltaikfassaden geht die Tendenz heute eher hin zu Komponenten, die im Verborgenen zur Energieeffizienz beitragen. [...] Energieeffizienz, so das unausgesprochene Credo unserer Tage, soll die Ästhetik eines Bauwerks so gering wie möglich beeinträchtigen. Es geht jedoch auch anders [...]. Dies beweisen René Schmid Architekten mit ihrem Neubau der Umweltarena in Spreitenbach bei Zürich. Der [...] Neubau erinnert mit seiner ovalen Form und dem an einen Schildkrötenpanzer erinnernden Dach an eine Sportarena. [...] Schon das Dach, das wahlweise an ein Urzeitreptil oder einen Tarnkappenbomber denken lässt, ist vollständig mit Photovoltaikmodulen belegt.“*

<sup>23</sup> SeV 2014, S. 3.

Die Beschreibungen der BIPV-Gestaltung der Umweltarena betonen überwiegend die formprägende Dominanz des Solardaches, das zu zahlreichen Assoziationen von „Vogel“, über „Schildkröte“ bis hin zum „Tarnkappenbomber“ einlädt. Es wird als „markant“, „auffällig“ und „spektakulär“ beschrieben und sowohl als „komplex“ als auch als „klar“ empfunden. Dass das Gebäude eine zukunftsweisende Botschaft „zur Schau trägt“, sogar als „provokierend“ erscheint, zeigt den auffälligen Charakter der Gestaltung. Die eigentliche PV zeigt sich aber erst auf den zweiten Blick.



Dezent-unauffällige Integration      Ausgewogene Integration      Prägnant-auffällige Integration

## 6.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

### 6.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 6.5: Aufsicht

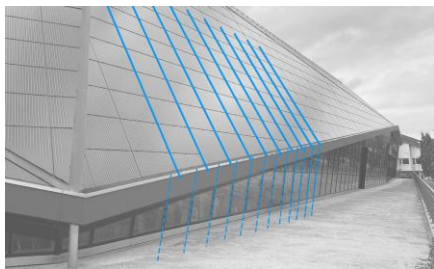


Abb. 6.6: Analyse Ordnungslinien



Abb. 6.7: Detailansicht Flächenbündigkeit und sonderangerfertigte Module

#### Proportionale Bezüge

Der Generator bildet das gesamte Dach des Gebäudes, das an vielen Stellen bis zum Boden herunterreicht. Dabei füllt er alle Flächen der vielfächigen Form gleichmäßig aus. Die einzelnen unregelmäßigen Teilflächen korrespondieren mit den ebenfalls unregelmäßigen Teilflächen der Fassade. Die Module sind drei- und viereckig und gliedern die Generatorflächen in ein gleichmäßiges orthogonales Raster. Die horizontale Binnengliederung des Generatorfeldes ist der Gliederung der Glasflächen ähnlich. Die Module bestehen standardmäßig aus 5 x 8 Zellen, die allerdings erst bei näherer Betrachtung als solche ablesbar sind.

#### Flächenintegrität


Die vielen angeschnittenen Bereiche der polygonalen Dachform standen während der Planung zur Disposition. Es wäre eine Möglichkeit gewesen die Flächen nur mit rechteckigen Modulen zu füllen und in den Randbereichen Dummies zu verwenden, doch dabei wäre zu viel Leistung weggefallen, also entschied man sich für die Vollbelegung. Über 1.000 von 5.239 Modulen sind Sondermodule.<sup>[2]</sup> Durchdringungen wurden so weit wie möglich vermieden. Die gesamte Haustechnik ist in der Mitte des Daches eingelassen geplant. Wenige vorhandene Durchdringungen sind sorgfältig eingefasst. Dies gilt auch für die Dachfenster, die sich durch ihre Ganzglasoptik ideal einfügen. Auch die Kantenbleche sind eingefärbt. Zudem sind alle Flächen kantenbündig gestaltet.

#### Formprägung

Der Grad der Formprägung, der von der PV-Anlage auf das Gesamtgebäude ausgeht, ist hoch. Die großflächige polygonale PV-Dachform mit ihren entsprechend der Sonne ausgerichteten und entgegen geneigten Flächen dominiert das ganze Bauwerk.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Der PV-Fläche mit einer Größe von 5.300 m<sup>2</sup> steht eine übrige Fassadenfläche inkl. Technik-Dachfläche über der Arena von insgesamt 1.300 m<sup>2</sup> gegenüber. Der Flächenanteil des PV-Fläche gegenüber der übrigen Fassade beträgt ca. 80 %. Mengenmäßig dominieren die PV-Flächen damit klar.<sup>[5]</sup>

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Der hohe Grad maßlicher und flächenanteilsbezogener Abstimmung ist insbesondere auf den hohen Anteil von Modulen in Sonderformaten zurückzuführen, die sorgfältige Ausgestaltung der Flächenintegrität und das starke Motiv der Formprägung. Insgesamt erscheint die BIPV ausgewogen bis auffällig gestaltprägend.</p>  |
|--|--|

### 6.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 6.8: Ansicht Südwest

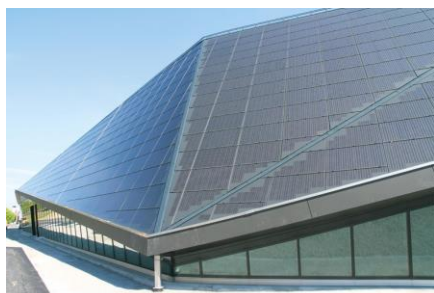


Abb. 6.9: Detailansicht Dach

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Das Dach ist großmaßstäblich im Vergleich mit den übrigen Bauteilen des Gebäudes. Im Vergleich der Größen am Gebäude ist der Gesamtgenerator deutlich größer als andere Teile des Gebäudes. Die Einzelflächen untereinander sind ähnlich groß, einzelne sind auch so groß wie einzelne Fassadenflächen. Die Module sind im Größenvergleich einzelnen Fassadenflächen der Glasfassade ähnlich. Die teilweise ablesbaren Zellen stehen in keinem direkten Größenvergleich.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Die Anlage als Ganzes ist verglichen mit menschlichen Maßstäben ungewohnt und großmaßstäblich. Der Generator und seine Einzelflächen sind für menschliche Maßstäbe eher großdimensioniert. Die eher kleinteiligen Module und Zellen mildern diesen Effekt etwas ab.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Das Raster des Daches ist verglichen mit üblichen Rastern auf Dächern angelegentlich kleinteilig. Auch für bauübliche Maßstäbe ist der Gesamtgenerator eher großmaßstäblich, die Module sind im Vergleich zu den Maßen üblicher Dachdeckungsmaterialien durchaus angelegentlich, ebenso wie die Zellen.

Insgesamt erscheint der Gesamtgenerator mit seinen Bestandteilen in der Zusammenstellung mit den übrigen Teilen der Gebäudehülle und auch im Vergleich mit menschlichen und bauüblichen Maßstäben eher großmaßstäblich, wohingegen die Maßstäblichkeit seiner Module und Zellen diesen Effekt leicht abmildert.



### 6.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben

#### Abgestimmte Farbtöne

Der Farbton der Anlage und aller ihrer Teile liegt zwischen grau bis schwarz. Je nach Lichtsituation heben sich einzelne Teile leicht ab. Insgesamt besteht eine monochrome Farbharmonie zwischen allen Teilen des Gebäudes. Die Farbkomposition ist monochrom anthrazit. Die Koordination der Farbtöne liegt im Bereich einer monochromen Zusammenstellung. Die PV-Teile sind stark an die übrigen Teile angepasst.

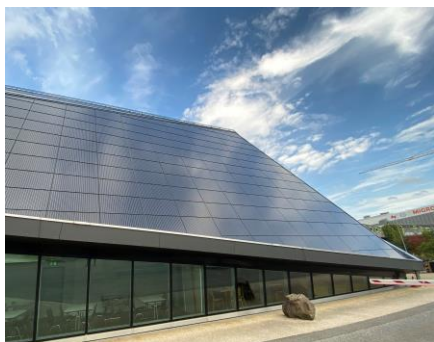


Abb. 6.10: Farblich monochrome Abstimmung aller Teile

**Abgestimmte Farbhelligkeiten**

Neben den Farbtönen sind sich auch die Farbhelligkeiten sehr ähnlich. Alle Teile sind ähnlich dunkel gehalten, lediglich einzelne Anschlussbleche erscheinen etwas heller.

**Abgestimmte Farbsättigungen**

Die Farbsättigung aller Teile ist identisch, da alle Teile grau oder schwarz sind.

Die Farbzusammenstellung der PV-Teile und der übrigen Teile am Gebäude liegt im Bereich monochromer Farbtöne, ähnlicher Farbhelligkeiten und identischer Sättigungen. Somit erscheint die Integration bezüglich der Farbzusammenstellung sorgfältig abgestimmt und insgesamt deutlich unauffällig.



**6.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien**



Abb. 6.11: Detailansicht Dachanschlüsse

**Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten**

Transparente und opake Flächen verteilen sich auf opake PV-Flächen im Dach und eine völlig transparente Glasfassade. Die Aufteilung erscheint konsequent und schlüssig abgestimmt.

**Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade**

Gegenüber der glänzenden Fassade erscheint das PV-Dach eher matt glänzend. Bezüglich der Glanzgrade wurden die Materialien also eher ähnlich als gleich aufeinander abgestimmt. Der Dachfläche zugehörige Anschluss- und Befestigungsteile sind bzgl. ihres Glanzgrades auf die Module abgestimmt.

**Abgestimmte Oberflächentexturen**

Die Oberflächentexturen aller Materialien sind einheitlich glatt.

Der Materialmix am Gebäude wirkt einheitlich und stimmig und führt diesbezüglich insgesamt zu einer unauffälligen Einfügung der BIPV.



### 6.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 6.12: Ansicht der Umgebung



Abb. 6.13: Ansicht der Umgebung

#### Farbliche Bezüge

An vielen Gebäuden der Umgebung werden ebenfalls Grau- und Anthrazittöne verwendet.

#### Materielle Bezüge

Glas- und Metallelemente werden auch an vielen umgebenden Gebäuden verwendet.

#### Formale Bezüge

Die Ausbildung des PV-Daches nimmt Bezug zu einer direkt benachbarten Halle mit Tonnendach.

Die Umgebung ist gekennzeichnet von einer stark frequentierten Landstraße, Zeilenbauten, Einkaufszentren, Einrichtungshäusern und Großgewerbe.<sup>[4]</sup> Das Gebäude ist vor allem durch sein PV-Dach objekthaft gesetzt in einer heterogenen Umgebung.



### 6.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 6.14: Logo Umweltarena

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Die großflächige Verwendung der PV erzeugt durchaus einen musterhaften Effekt.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Symbol für Nachhaltigkeit, Fortschritt und Umweltschutz wird bewusst eingesetzt und verknüpft mit den Inhalten der Umweltarena. Die dominante Zurschaustellung der PV erfüllt auch einen pädagogischen Effekt. Das Logo der Umweltarena ist nicht direkt eingebunden in die Gestaltung der Anlage.

Die Anlage hat sowohl syntaktisch als auch semantisch eine angemessen auf das übrige Gebäude und seine Nutzung abgestimmte Wirkung.





## 6.4 Funktionen der BIPV-Anlage

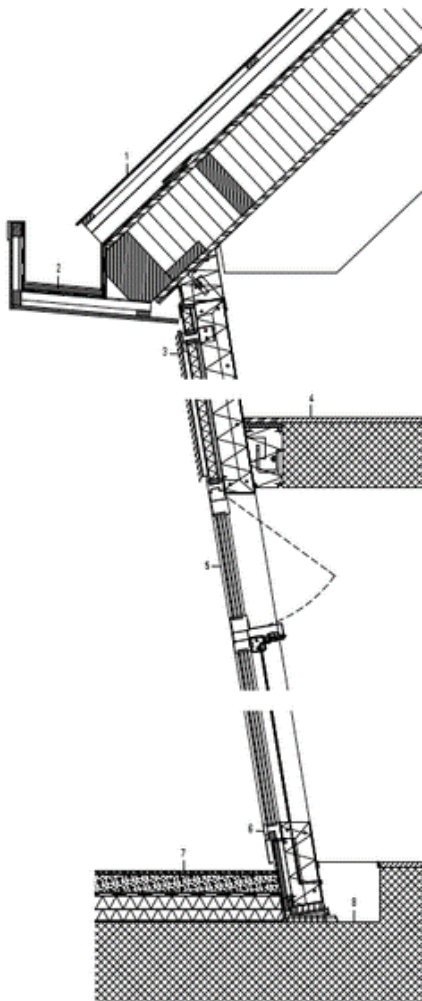
|  |                                |  |
|--|--------------------------------|--|
|  | <b>Stromproduktion</b>         | Die Gesamtanlage kann bis zu 540.000 kWh/a erreichen und erzeugt 203 % der benötigten elektrischen Energie. <sup>[2]</sup>   |
|  | <b>Witterungsschutz</b>        | In den sehr flach geneigten Bereichen (6 °) ist das Dach nicht vollständig gegen drückendes Wasser geschützt. Dort war eine dichte Unterdachfolie auf der Dachkonstruktion nötig. <sup>[2]</sup> |
|  | <b>Schallschutz</b>            | Die Module in der tiefgezogenen Dachform bieten einen Schallschutz für die dahinterliegenden Räume.  |
|  | <b>Repräsentation einer CI</b> | Als Symbol für Nachhaltigkeit, Fortschritt und Umweltschutz repräsentiert die Anlage das inhaltliche Programm der Umweltarena.   |

Abb. 6.15: Fassadenschnitt

## 6.5 Systemtechnik


|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <b>1. Standort</b>                      | 47° 25' N / 8° 22' O  |
|   | <b>2. Neigung und Orientierung</b>      | 33 unterschiedlich geneigte und exponierte Teilflächen (alle Richtungen, überwiegend südöstlich/nordwestlich, von 60 ° bis 6 ° Neigung)       |
|  | <b>3. Verschattung</b>                  | unverschattet   |
|   | <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b> |   |
|   | <u>Gesamtsystem</u>                     |   |
|   | Anwendungsbereich                       | Dach  |
|   | PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 80 % <sup>[5]</sup>   |
|   | PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 5.300 m <sup>2</sup> <sup>[2]</sup> von 6.600 m <sup>2</sup><br>(33 dreieckige und trapezförmige Dachflächen aus Solarmodulen) <sup>[2]</sup> |
|   | Nennleistung/m <sup>2</sup>             | 140 Wp/m <sup>2</sup>   |
|   | Nennleistung                            | 736,62 kWp <sup>[1]</sup>   |
|   | Jahresertrag                            | 540.000 kWh/a   |

Abb. 6.16: Module vor der Montage

Abb. 6.17: Dachkonstruktion



Abb. 6.18: Installation der Module



Abb. 6.19: Aufsicht Technikbereich Dach

|   |  |
|---|--|
| Solarer Deckungsgrad  | 203 % (Deckung des elektrischen Eigenbedarfs und zusätzlich den von 120 Haushalten) <sup>[4]</sup> |
| Anschluss   | Netzanschluss  |
| Anzahl Module   | 5.239 <sup>[2]</sup> (> 1.000 Sonderanfertigungen) <sup>[2]</sup>                                  |
| Anzahl Wechselrichter   | 66 (SolarMax-Wechselrichtern der Firma Sputnik)  |
| <u>Module</u>   |  |
| Art   | monokristalline Glas-Glas-Module <sup>[3]</sup>  |
| Hersteller  | 3S Industries AG, Lyss (CH)  |
| Größe   | 130 x 87,5 cm <sup>[6]</sup>   |
| Produktbezeichnung  | MegaSlate® II  |
| Modulwirkungsgrad   | 17,7 %   |
| Nennleistung  | 160 Wp   |
| Modulfläche   | 1,14 m <sup>2</sup>  |
| <u>Zellen</u>   |  |
| Art   | monokristalline Siliziumzellen   |
| Farbe   | Anthrazit <sup>[4]</sup>   |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | Das Dach ist hinterlüftet ausgeführt.  |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | k. A.  |
| <b>7. Speicherung</b>   | Der Netzanschluss dient als Pufferspeicher.  |

## 6.6 Nachweise

### 6.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] Swiss BiPV Competence Center 2017.
- [2] Riedel 2013.
- [3] SeV 2014, S. 3.
- [4] Baunetz Wissen 2017, S. 1.
- [5] Stiftung Umwelt Arena Schweiz 2017, S. 1.
- [6] Meyer Burger 2017b, S. 2.
- [7] Wikipedia 2017.

### 6.6.2 Abbildungsverzeichnis

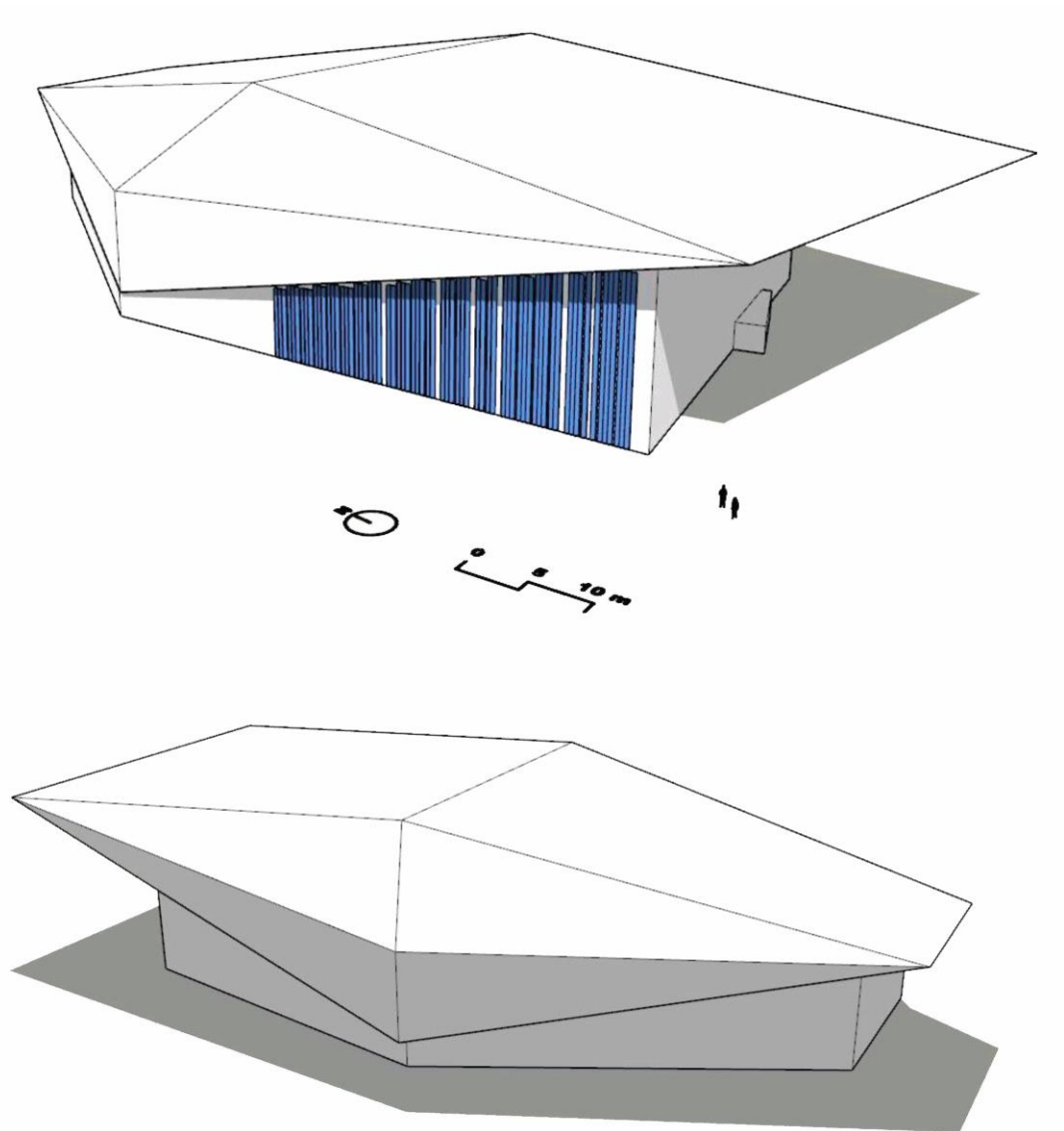
- Abb. 6.1: Ansicht (René Schmid Architekten/Michael Egloff, unter: <https://reneschmid.ch/projekte/detail/umwelt-arena-schweiz> [11.07.2021])
- Abb. 6.2: Lageplan (Baunetz Wissen/René Schmid, unter: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/objekte/kultur-bildung/umweltarena-in-spreitenbach-4112671/gallery-1/15> [11.07.2021])
- Abb. 6.3: Grundrisse EG, 2. OG, DA (Baunetz Wissen/René Schmid, unter: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeude-technik/objekte/kultur-bildung/umweltarena-in-spreitenbach-4112671/gallery-1/16> [11.07.2021])
- Abb. 6.4: Entwurfsskizze des Architekten (Baudokumentation/René Schmid, unter: [https://www.baudokumentation.ch/m\\_11/05/456505/a5f90cb195c79bf1dd9c043d12570ba8.pdf](https://www.baudokumentation.ch/m_11/05/456505/a5f90cb195c79bf1dd9c043d12570ba8.pdf) [11.07.2021])

- Abb. 6.5: Aufsicht (Baunetz Wissen/René Schmid, unter: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeuedetech-nik/objekte/kultur-bildung/umweltarena-in-spreitenbach-4112671/gallery-1/10> [11.07.2021])
- Abb. 6.6: Analyse Ordnungslinien (eigene Darstellung)
- Abb. 6.7: Detailansicht Flächenbündigkeit und sonderangerfertigte Module (eigene Aufnahme)
- Abb. 6.8: Ansicht Südwest (Baunetz Wissen/René Schmid, unter: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeuedetech-nik/objekte/kultur-bildung/umweltarena-in-spreitenbach-4112671/gallery-1/9> [11.07.2021])
- Abb. 6.9: Detailansicht Dach (eigene Aufnahme)
- Abb. 6.10: Farblich monochrome Abstimmung aller Teile (eigene Aufnahme)
- Abb. 6.11: Detailansicht Dachanschlüsse (BIPV.ch/Swiss BIPV Competence Center, unter: <https://www.bipv.ch/images/esempi/altro/UmweltArena/03.jpg> [11.07.2021])
- Abb. 6.12: Ansicht der Umgebung (eigene Aufnahme)
- Abb. 6.13: Ansicht der Umgebung (eigene Aufnahme)
- Abb. 6.14: Logo Umweltarena (Stiftung Umwelt Arena Schweiz, unter: [https://www.umweltarena.ch/wp-content/uploads/2019/06/Logo\\_UWA\\_stiftung.png](https://www.umweltarena.ch/wp-content/uploads/2019/06/Logo_UWA_stiftung.png) [11.07.2021])
- Abb. 6.15: Fassadenschnitt (Baudokumentation/René Schmid, unter: [https://www.baudokumentati-on.ch/m11/05/45650\\_5/587d20f1f844903d66796d0e088df842.pdf](https://www.baudokumentati-on.ch/m11/05/45650_5/587d20f1f844903d66796d0e088df842.pdf) [11.07.2021])
- Abb. 6.16: Module vor der Montage (Swiss BiPV Competence Center 2017, S. 3)
- Abb. 6.17: Dachkonstruktion (Swiss BiPV Competence Center 2017, S. 3)
- Abb. 6.18: Installation der Module (Swiss BiPV Competence Center 2017, S. 2)
- Abb. 6.19: Aufsicht Technikbereich Dach (Swiss BiPV Competence Center 2017, S. 1)

### 6.6.3 Bibliografie

- Baunetz Wissen (2017): Umweltarena in Spreitenbach. Vorzeigeprojekt für Nachhaltigkeit und Effizienz im Min-energie-P-Standard, unter: <https://www.baunetzwissen.de/drucken/umweltarenainspreitenbach4112671> [16.01.2017].
- Egloff, Michael (2012): Solare Tarnkappe. Umweltarena in Spreitenbach, DETAIL.de (24.10.2012), unter: <http://www.detail.de/artikel/solaretarnkappeumweltarenainspreitenbach9584> [16.01.2017].
- Franke, Petra (2016): Autark im Mehrfamilienhaus, in: photovoltaik 1+2/2016, S. 18-23.
- Heinstein, Patrick/Ballif, Christophe/Perret-Aebi, Laure-Emmanuelle (2013): Building Integrated Photovoltaics (BIPV). Review, Potentials, Barriers and Myths, Berlin, 2013.
- Krippner, Roland/Becker, Gerd/Schiebelsberger, Bruno/Weber, Walter/Flade, Fabian (2015): Architektur und Solarenergie. Ausgezeichnete Projekte aus dem SeV-Wettbewerb „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014“. Vortragsfolien vom 03.03.2015 im 7. Forum BIPV im Kloster Banz, Bad Staffelstein.
- Meyer Burger (2017a): Produkte: Megaslate Solardachsystem. Beste Ästhetik bei maximaler Leistung, unter: <http://energysystems.meyerburger.com/produkte/indach/megaslate> [16.01.2017].
- Meyer Burger (2017b): Datenblatt: Megaslate DE, unter: [https://energysystems.meyerburger.com/fileadmin/user\\_upload/3s-pv.com/pvsystems.meyerburger/Download/Factsheets/PB\\_MegaSlate\\_de.pdf](https://energysystems.meyerburger.com/fileadmin/user_upload/3s-pv.com/pvsystems.meyerburger/Download/Factsheets/PB_MegaSlate_de.pdf) [16.01.2017].
- Meyer Burger (2017c): Datenblatt: Megaslate 180 DE, unter: [https://energysystems.meyerburger.com/fileadmin/user\\_upload/3s-pv.com/pvsystems.meyerburger/Download/Factsheets/FS\\_MegaSlate\\_180\\_de.pdf](https://energysystems.meyerburger.com/fileadmin/user_upload/3s-pv.com/pvsystems.meyerburger/Download/Factsheets/FS_MegaSlate_180_de.pdf) [16.01.2017].
- Riedel, Anja (2013): Origami Solar, in: PV Magazine 01/2013, unter: [http://www.pvmagazine.de/archiv/artikel/bei-trag/origami%C2%ADsolar%C2%AD\\_100009972/86](http://www.pvmagazine.de/archiv/artikel/bei-trag/origami%C2%ADsolar%C2%AD_100009972/86) [16.01.2017].
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2014): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014: Ergebnisse des Wettbewerbs, München.
- Stiftung Umwelt Arena Schweiz (2017): Daten und Fakten Umwelt Arena, unter: <https://www.umweltarena.ch/wp-content/uploads/2019/04/Daten-und-Fakten-UWA.pdf> [27.08.2020].
- Swiss BiPV Competence Center (SUPSI) (2017): Umwelt Arena, unter: <http://www.bipv.ch/index.php/de/andere/i-tem/1029umweltarenadeu> [16.01.2017].
- Swiss BiPV Competence Center (SUPSI) (2020): Umwelt Arena. Buildings Details, unter: [http://www.bipv.ch/images/esempi/altro/UmweltArena/Umwelt\\_Arena\\_2012\\_ENG.pdf](http://www.bipv.ch/images/esempi/altro/UmweltArena/Umwelt_Arena_2012_ENG.pdf) [27.08.2020].
- Wikipedia (2017): Umweltarena, unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Umweltarena> [16.01.2017].

## 7 SwissTech Convention Center, Lausanne (CH), 2012



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 7.1 Projektdaten



Abb. 7.1: Ansicht

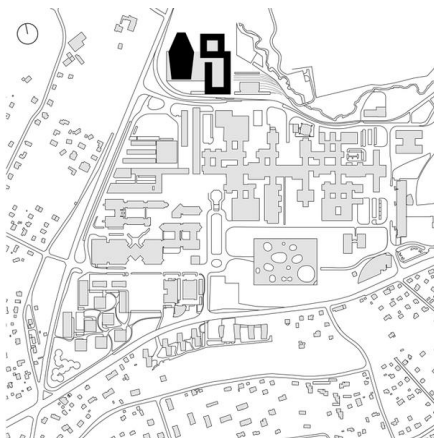


Abb. 7.2: Lageplan

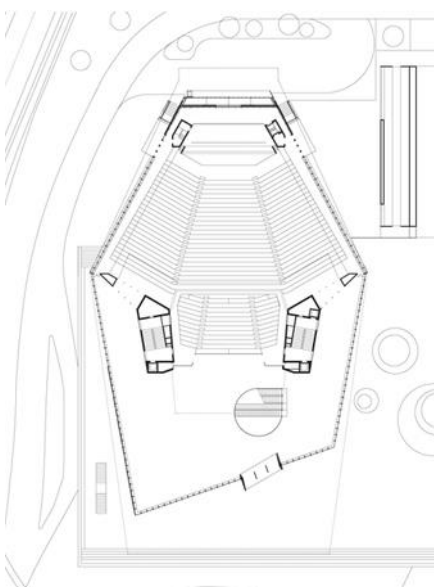


Abb. 7.3: Grundriss EG

### Projekt

|                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| Name           | SwissTech Convention Center |
| Standort       | Lausanne (CH)               |
| Fertigstellung | 2012                        |
| Gebäudenutzung | Konferenzzentrum            |

### Planung

|              |  |
|--------------|--|
| Bauftrag     | HRS Real Estate SA, St. Sulpice                          |
| Architektur  | Richter Dahl Rocha & Associés Architectes SA, Lausanne   |
| Photovoltaik | Catherine Bolle & Daniel Schlaepfer, Lausanne (Künstler) |

### BIPV-System

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Modulart                  | Glas-Glas-Grätzel-Module                                      |
| Anwendungsbereich         | Fassade, additiv  |
| Ausrichtung               | 90 °, Südwest   |
| PV-Belegung               | ca. 2,5 % (300 m <sup>2</sup> von ca. 12.000 m <sup>2</sup> ) |
| Nennleistung              | 3 kWp <sup>[3]</sup>  |
| Jahresertrag              | 2.000 kWh/a <sup>24 [3]</sup>                                 |
| Spezifischer Jahresertrag | 666,7 kWha/kWp  |
| Solarer Deckungsgrad      | k. A.   |

### Veröffentlichungen

Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik  
 Herzog/Krippner/Lang (2016): Fassadenatlas  
 DBZ 04/2015  
 Fassade 03/2014  
 Haustech 06/2014  
 TEC21 49+50/2013

### Wettbewerbe

Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014 (Anerkennung)

### Kurzbeschreibung

Das SwissTech Convention Center ist ein Konferenzzentrum auf dem Campus der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Es hat drei Auditorien mit bis zu 3.000 Sitzplätzen und 26 Meetingräume für bis zu 500 Personen. Verschiebbare Wände und Böden machen das Gebäude multifunktional für verschiedenste Raumnutzungskonstellationen. Aufgrund seiner nachhaltigen und innovativen Gebäudetechnik gilt es als eines der modernsten und bestausgestatteten Kongresszentren der Welt.

<sup>24</sup> Prognostiziert.

## 7.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

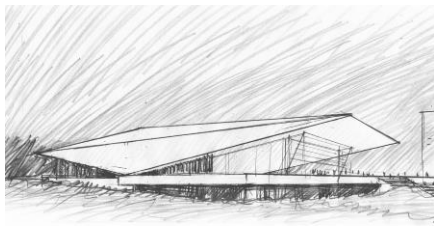


Abb. 7.4: Entwurfsskizze der Architekt/innen

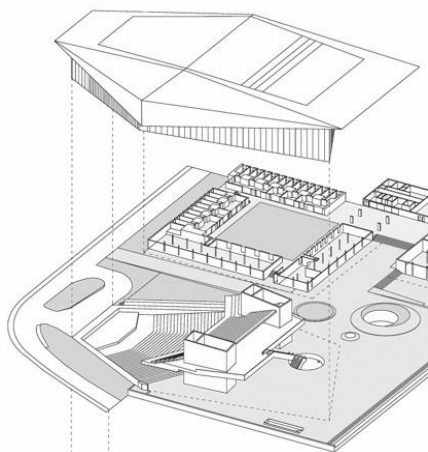


Abb. 7.5: Isometrie

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2014): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014: Ergebnisse des Wettbewerbs:

„Das SwissTech Convention Centre auf dem Campus der *École polytechnique fédérale de Lausanne* dominiert ein kristallines, weitauskragendes Metalldach. Unter diesem Schirm wird eine farbig schimmernde Glasfassade sichtbar. In dem Projekt werden die gestalterischen Möglichkeiten von Grätzel-Zellen weltweit erstmals in dieser Größendimension zum Einsatz gebracht. Häufig sind bei großflächigen Glasfassaden die Gestaltungsparameter reduziert, was zu monotonen, glatt spiegelnden Flächen führen kann. Die Architekten Richter Dahl Rocha wählen bei dem SwissTech Convention Centre einen anderen Ansatz. In der Westfassade sind auf 300 m<sup>2</sup> in schmalen Streifen Glas-Glas-Module mit Farbstoffzellen in unterschiedlichen Gelb-, Grün- und Rottönen geschosshoch vor der Glasfassade angeordnet. Diese fungieren nicht nur als Sonnenschutz, sondern erzeugen im Foyer auch reizvolle Lichtstimmungen. Diese Zelltechnologie eröffnet in Verbindung mit einer lichten filigranen Struktur neue Gestaltungsmöglichkeiten, auch wenn die Wirkungsgrade noch deutlich unter denen der Siliziumzellen liegen.“<sup>25</sup>

Kaltenbach (2015): Speerspitze der Forschung. SwissTech Convention Center, DETAIL online (24.02.2015):

„Für warme Farbtöne als Kontrast zur technoiden Anmutung sorgt die farbige Gestaltung der Gebäudehülle durch Catherine Bolle. Gemeinsam mit ihrem Künstlerkollegen Daniel Schlaepfer hat sie die transluzenten, bis zu 15 Meter hohen Farbstreifen vor der Westfassade gestaltet, wo die Verglasung der geeigneten Decke des Foyers folgt. Bei trübem Licht verfremden sie den Blick auf die Einfamilienhäuser des benachbarten Dorfs, bei tief stehender Abendsonne wirken sie wie Farbfilter von Scheinwerfern. Dann werden durch die gesamte Halle hinweg bunte Strichcodes auf den Boden projiziert und der sachliche Raum in mystisches Licht getaucht. Die Funktion der bunten Glaslamellen geht über den Sonnenschutz hinaus.“

Koller (2015): Grätzelzellen als Kunst. Swiss Tech Convention Center, Lausanne/CH, DBZ online (04/2015):

„Die Architekten wollten schon von Anfang an einen Teil der Foyer-Verglasung als Kunst am Bau in Farbe ausführen. Diese ursprüngliche Intention führte zu der Idee, anstatt gefärbten Glases [...] Grätzel-Zellen zu verwenden. [...] Das gesamte Foyer ist zurückhaltend gestaltet, sowohl was die Formsprache als auch die Material- und Farbverwendung anbelangt. Die eloxierten Aluminiumverkleidungen [...] ebenso wie der zum Einsatz gekommene Stein des Bodens tauchen das Foyer in einen neutralen Grauton. [...] Wie schon auf den ersten Skizzen von Catherine Bolle zu sehen ist, war die Intention der Architekten und der Künstlerin von Beginn an, dem Raum durch die vor der Westfassade montierten Grätzelzellen seine Farbigkeit zu verleihen. Die ausschließliche Montage der Zellen vor der Westfassade – sie fungieren gleichzeitig als Sonnenschutzlamellen – argumentiert sich nicht nur durch den höchsten Wirkungsgrad, sondern auch durch die Nutzung des Kongresszentrums am Nachmittag und Abend, wodurch die Farbenspiele von den Gästen am besten beobachtet werden können.“

Die BIPV wird als „farbig schimmernd“, „geschosshoch“, aber auch „leicht“ und „filigran“ beschrieben. Zudem wird herausgestellt, dass die Anlage von Anfang an als Kunst am Bau und im Kontrast zum Gebäude entworfen wurde, um diesem Farbe und atmosphärische Effekte zu verleihen. Im Gesamteindruck bzgl.

<sup>25</sup> SeV 2014, S. 6.

der Gestaltprägung durch die PV erscheint die Integration insgesamt ausgewogen.

### 7.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

#### 7.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 7.6: Ansicht Südwest

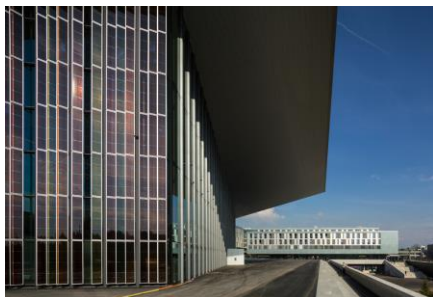


Abb. 7.7: Detailansicht

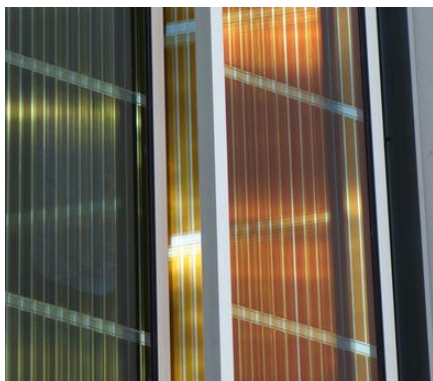


Abb. 7.8: Detailansicht Grätzel-Zellen

#### Proportionale Bezüge

Der Generator besteht aus einzelnen, bis zu 15 m hohen Bändern, die vor der Westfassade angeordnet sind. Er entspricht in seiner Größe und Anordnung der Flächenkontur der Verglasung der Westfassade und ist vertikal gegliedert, wie diese selbst. Der Generator besteht aus einzelnen vertikalen Bändern, die sich wiederum aus übereinander angeordneten schmalen, 41 x 210 cm großen Modulen zusammensetzen. Die Binnengliederung der Generatorteilflächen nimmt damit Bezug auf die Binnengliederung der Glasfassade. Die hochkant rechteckigen Module bestehen jeweils aus vier quadratischen Zellen. Das hochkante Motiv von Bändern und Streifen wird in den Proportionen der entsprechenden Bauteile mehrfach aufgegriffen und korrespondiert auch mit der Gliederung der dahinterliegenden Glasfassade.

#### Flächenintegrität

Der unregelmäßigen Flächengeometrie wird mit unregelmäßig hohen Generator-Teilflächen begegnet. Die Teilflächen schließen jeweils orthogonal ab, auch im Bereich des oberen, geneigten Dachanschlusses. Dort entsteht eine leichte „Staffel“-Wirkung, die durch die generelle Distanz der PV-Flächen optisch aber nicht stark ins Gewicht fällt. Durchdringungen spielen in diesem Fassadenbereich keine Rolle.

#### Formprägung

Die PV-Anlage scheint die Form des Gebäudes nicht stark zu beeinflussen. Diese ist vielmehr von der skulpturalen Form des Daches dominiert. Die BIPV ist der Westfassade zugeordnet und gleicht sich dieser in ihrer Form stark an. Lediglich durch die unterschiedliche Ausrichtung der Modul-Bänder entsteht an dieser Stelle ein leichter Rhythmus an der Fassade des Gebäudes.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Die PV-Anlage ist einer von drei Haupt-Glasfassaden zugeordnet. Mit ca. 2,5 % (300 m<sup>2</sup> von ca. 12.000 m<sup>2</sup>) ist der Flächenanteil der Anlage im Verhältnis sehr gering.

Zwischen schwerem Metaldach und leichter Glasfassade darunter entsteht ein spannungsvoller Kontrast, den die PV um einen weiteren Akzent ergänzt. Zwischen der PV-Anlage und der Gebäudehülle bestehen zahlreiche geometrische Bezüge, Formprägung und Flächenanteile sind aufeinander abgestimmt, wobei sich die Anlage eher unterordnet.



### 7.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 7.9: Die Generatorfläche im Zusammenspiel mit anderen Flächen der Gebäudehülle



Abb. 7.10: Ansicht der PV-Anlage mit einem Passanten

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Der Generator korrespondiert in seiner Größe mit anderen Elementen der Gebäudehülle. So entspricht er z. B. anderen Fassadenflächen. Die Größe der Modulbänder ist auf die Größe der vertikalen Fensterbänder abgestimmt. Die Größe der ablesbaren Zellen dagegen findet keine Entsprechung.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Hinsichtlich menschlicher Maßstäbe wirken der Gesamtgenerator und die übergeschosshohen Modulbänder sehr überzeichnet. Hierin entsprechen sie aber sowohl der Glasfassade als auch dem gesamten Gebäude, das durch seine skulpturale Form und die naht- und durchdringungslose Gestaltung seiner Oberflächen ebenfalls maßstabslos erscheint. Lediglich die horizontale Gliederung durch die Modulrahmen erzielt einen leichten Eindruck einer „geschoss hohen“ Einteilung.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Die BIPV-Integration mit all ihren Bestandteilen entspricht den übrigen Bestandteilen der Gebäudehülle hinsichtlich der Großmaßstäblichkeit, die für Sonderbauten wie ein Kongresszentrum nicht unüblich ist. Die Zellgrößen lassen die Anlage im Fassadenbereich etwas kleinteiliger wirken als die übrigen Glasfassaden.

In ihrer Maßstäblichkeit ist die PV-Anlage deutlich auf die der übrigen Gebäudehülle abgestimmt; lediglich die kleinteiligere Gliederung, die von den Modul- und Zellgrößen ausgeht, weicht hiervon leicht ab. Insgesamt erscheint sie diesbezüglich dezent-unauffällig bis ausgewogen in Bezug auf die Gestaltprägung des Gebäudes.



### 7.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 7.11: Farbliche Komposition im Innenraum

#### Abgestimmte Farbtöne

Die Farbtöne sind als Kontrast zwischen den warmen Rot-, Orange-, Gelb- und Grüntönen der PV-Anlage einerseits und den kühlen Grau- und Beigetönen der übrigen Teile der Gebäudehülle und des Innenraums andererseits gestaltet.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Die Farbhelligkeiten sind ähnlich. Sowohl in der übrigen Gebäudehülle als auch innerhalb des Farbspektrums der PV-Anlage wird aber auch mit Helligkeitskontrasten gearbeitet. Die Farbhelligkeit der Zellen ist deutlich dunkler als die der Modulrahmen, wodurch ein Kontrast zur übrigen Fassade entsteht.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Analog zum Farbtönenkontrast ist die Farbsättigung der Zellen deutlich höher als die anderer Teile der Fassade und des Innenraums.



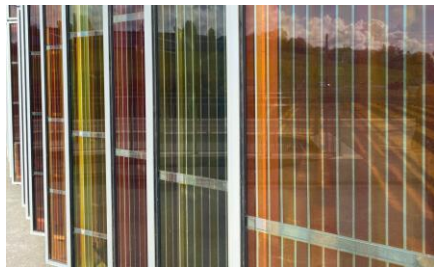


Abb. 7.12: Farbtöne der Grätzel-Zellen

Insbesondere die Farbkomposition ist das Werk der Künstler Catherine Bolle und Daniel Schlaepfer aus Lausanne. Für die PV wurde bewusst eine kontrastierende Farbwirkung gewählt, damit sie gegenüber den in Grau-Beige gehaltenen Bauteilen am Gebäude deutlich zur Geltung zu kommt.



### 7.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 7.13: Materialien am Gebäude



Abb. 7.14: Detailansicht der Materialien der PV-Elemente

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Allgemein ist am Gebäude die Trennung in opake Dachskulptur und transparente Fassadenbereiche sehr scharf. Bezüglich ihrer Transparenz sind die PV-Flächen den Glasflächen der Gebäudehülle zugeordnet und ähnlich (opak) gerahmt wie die einzelnen Glasscheiben.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Entsprechend der Transparenz-Abstimmung stimmt die BIPV auch bezüglich ihrer Glanzgrade mit der Glasfassade überein, der sie zugeordnet ist. Die glänzenden Module in matten Aluminiumrahmen sind stark an die Elemente der Glasfassade angepasst.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Die Oberflächentexturen sämtlicher Glas- und Metall-Elemente am Gebäude stimmen in ihrem glatten Erscheinungsbild weitgehend überein.

Ein weiterer optischer Bezug bzgl. aller genannten Aspekte besteht auch zwischen den Rahmen der Module und der eloxierten Aluminium-Dacheindeckung.

Die Materialien sind sorgsam aufeinander abgestimmt (insbesondere in der diesbezüglichen Ähnlichkeit der Modulrahmen mit der übrigen Gebäudehülle) und gewährleisten damit eine dezent unauffällige Einfügung der Anlage in die Gesamtgestaltung.



### 7.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 7.15: Luftaufnahme Blick in Richtung Nordost

#### Farbliche Bezüge

Die warm und natürlich wirkenden Farben der Grätzel-Zellen stehen in direktem Bezug zu den Farben der umgebenden Naturräume und auch die silbrigen Farben der Modulrahmen finden sich vielfach auf dem Campus und in der näheren Umgebung.

#### Materielle Bezüge

Auch Glas- und Aluminium-Elemente sind an vielen Bauteilen der näheren und weiteren Umgebung zu erkennen.

#### Formale Bezüge

Formale Ähnlichkeiten bestehen zwischen den Farbbändern der BIPV und den handbemalten Faserzementplatten im Innenhof des benachbarten Studentenwohnheims.



Abb. 7.16: Luftaufnahme Blick in Richtung Südost



Abb. 7.17: Farbstreifen am benachbarten Studentenwohnheim

Übergreifende Farb- und Materialbezüge verbinden Kongresszentrum und Studentenwohnheim zu einem Ensemble. Auch die BIPV ist ein wichtiger Teil dieses Konzepts der Künstlerin Catherine Bolle. Das Gebäude selbst kann durch seine scharfkantige, großformatige und eigenständige Form durchaus als Solitär in einer heterogenen Umgebung betrachtet werden. Demgegenüber ist die eingefügte PV stärker an ihre Umgebung angepasst. Sie nimmt zahlreiche Bezüge der Umgebung auf und integriert sich ausgewogen.



### 7.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 7.18: Farbfilternde Wirkung

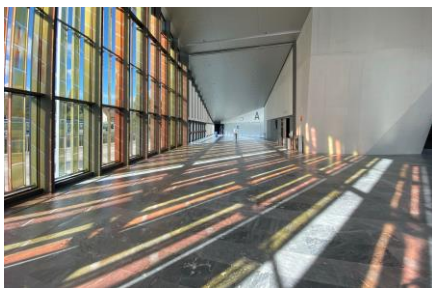


Abb. 7.19: Lichtspiele im Innenraum

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Die künstlerischen Farb- und Musterwirkungen reichen je nach Lichtverhältnissen von einer ornamentalen Verzierung der Fassade über farbfilternden Effekten in der Wahrnehmung der Umgebung aus dem Gebäude heraus bis hin zu atmosphärischen Lichtspielen im Innenraum. Bezüglich dieser Wirkung ist die BIPV kontrastierend auf den im Ganzen eher zurückhaltend gestalteten Baukörper abgestimmt.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Auch in ihrer symbolischen Wirkung erscheint die BIPV als Kontrast zum übrigen Gebäude. Insbesondere durch den Leuchteffekt sind die innovativen PV-Bauteile als Symbol für Fortschritt und erneuerbare Energien deutlich wahrnehmbar. Zusätzlich repräsentieren sie in der Fassade auch universitätsspezifische Inhalte, da die Zelltechnik von Prof. Michael Grätzel an der technisch-naturwissenschaftlichen EPFL entwickelt wurde.

In ihrer deutlich wahrnehmbaren ornamentalen und symbolischen Wirkung steht die BIPV in offenem Kontrast zu der übrigen Gebäudehülle und erweist sich somit als deutlich gestaltprägend.



## 7.4 Funktionen der BIPV-Anlage

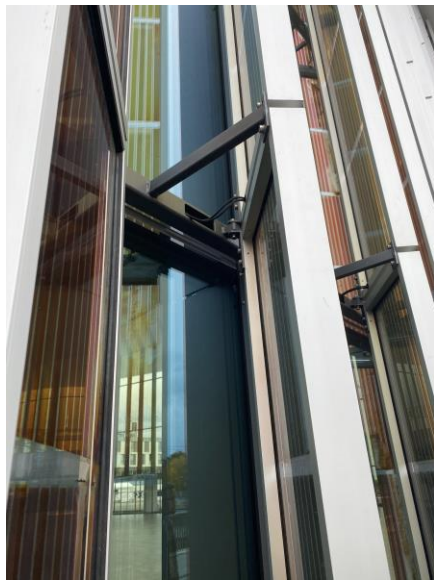


Abb. 7.20: Detailansicht

|   |   |
|---|---|
| <b>Stromproduktion</b>                      | Die Gesamtanlage kann bis zu 2.000 kWh/a erreichen. <sup>[3]</sup>  |
| <b>Witterungsschutz</b>                     | Die PV-Anlage schützt die dahinterliegende Fassade vor der Witterung.   |
| <b>Sonnenschutz/Tageslichtregulierung</b>   | Die PV-Anlage schützt das Gebäude vor direkter Sonneneinstrahlung und verringert dadurch den Energieverbrauch für die Klimatisierung.                                 |
| <b>Wahrung der Privatsphäre/Sichtschutz</b> | Durch ihre Anordnung und Farbfilterwirkung hat die BIPV grundsätzlich auch Sichtschutzeigenschaften.  |
| <b>Repräsentation einer CI</b>              | Als an der EPFL entwickelte Zelltechnologie repräsentieren die Grätzel-Zellen in der Fassade universitätsspezifische Inhalte.   |
| <b>Atmosphärische Effekte</b>               | Durch das Lichtspiel bei Sonnenauf- und -untergang entstehen verschiedenfarbige Lichtstreifen auf dem Boden des Foyers und tauchen den Raum in atmosphärisches Licht. |

## 7.5 Systemtechnik

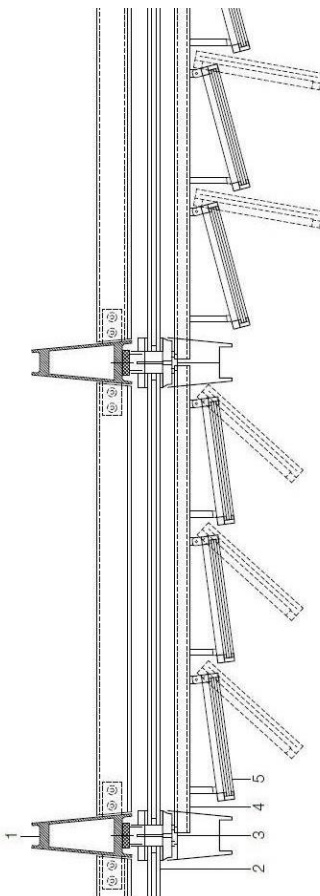
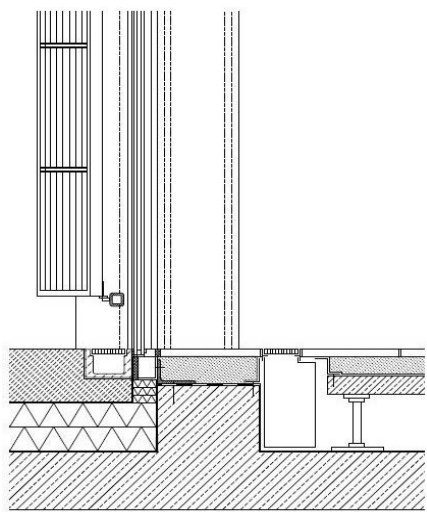
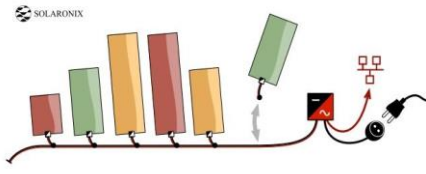


Abb. 7.21: Fassadenschnitt 1

|   |   |
|---|---|
| <b>1. Standort</b>                      | 46° 31' N / 6° 33' O  |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>      | 90 °, Südwest (Winkel variieren im Bereich von 7,5 ° bis 45 ° in 7,5 ° - Schritten <sup>[2]</sup> ) |
| <b>3. Verschattung</b>                  | unverschattet   |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b> |   |
| <u>Gesamtsystem</u>                     |   |
| Anwendungsbereich                       | Fassade   |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 3 %   |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 300 m <sup>2</sup> <sup>[4]</sup>   |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>             | 57,14 Wp/m <sup>2</sup>   |
| Nennleistung                            | 3 kWp <sup>[3]</sup>  |
| Jahresertrag                            | 2.000 kWh/a <sup>26</sup> <sup>[3]</sup>  |
| Solarer Deckungsgrad                    | k. A.   |
| Anschluss                               | Netzanschluss <sup>[3]</sup>  |
| Anzahl Module                           | 1.400   |
| Anzahl Wechselrichter                   | k. A.   |
| <u>Module</u>                           |   |
| Art                                     | Glas-Glas-Modul   |
| Hersteller                              | Solaronix   |
| Größe                                   | 50 x 35 cm <sup>[3]</sup> (Panel = vier Module übereinander: 41 x 210 cm <sup>[1]</sup> )           |
| Produktbezeichnung                      | Handgefertigte Prototypen   |
| Modulwirkungsgrad                       | k. A.   |

<sup>26</sup> Prognostiziert.

|   |   |   |
|---|---|---|
|  <p>Abb. 7.22: Fassadenschnitt 2</p>  <p>Abb. 7.23: Schema Verschaltung</p> | Nennleistung                                  | 10 Wp   |
|   | Modulfläche                                   | 0,18 m <sup>2</sup>   |
|   | Zellen  |   |
|   | Art   | Elektrochemische Dünnschicht-Zellen (Grätzel-Farbstoff-Solarzellen)         |
|   | Größe   | Breite: 2 cm <sup>[3]</sup> (ein Modul enthält je 13 Zellen) <sup>[3]</sup> |
|   | Farbe   | div. Gelb-, Rot- und Grüntöne   |
|   | <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b> | hinterlüftet  |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b>   | k. A.   |   |
| <b>7. Speicherung</b>   | Netzanschluss                                 |   |

## 7.6 Nachweise

### 7.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] Kaltenbach 2015.
- [2] Herzog/Krippner/Lang 2016, S. 313.
- [3] Krippner 2016, S. 130-131.
- [4] Architectes 2015.
- [5] SeV 2014, S. 6.

### 7.6.2 Abbildungsverzeichnis

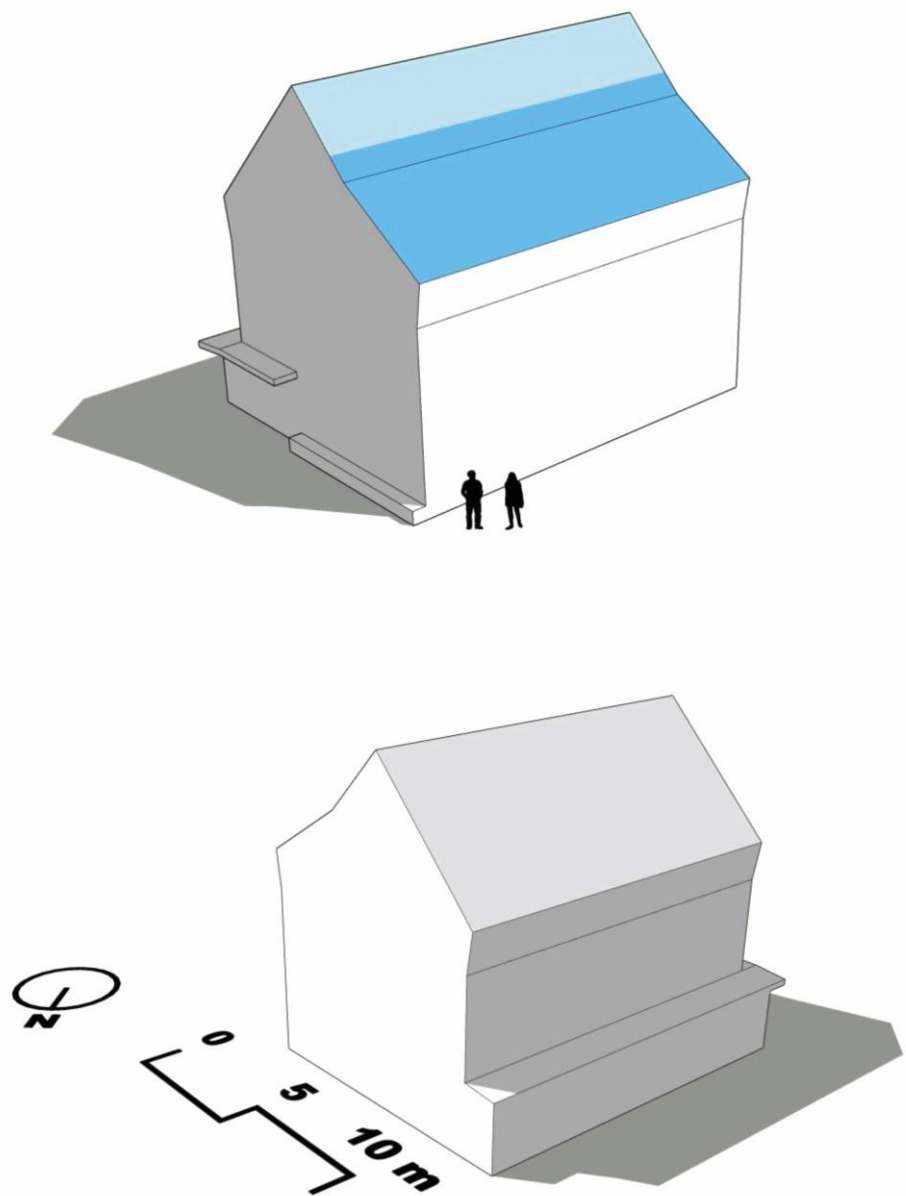
- Abb. 7.1: Ansicht (SwissTech Convention Center/Adrien Barakt, unter: <https://www.stcc.ch/virtual-visit> [11.07.2021])
- Abb. 7.2: Lageplan (Architectes 2015, S. 2)
- Abb. 7.3: Grundriss EG (Architectes 2015, S. 4)
- Abb. 7.4: Entwurfsskizze der Architekt/innen (Catsaros 2013, S. 23)
- Abb. 7.5: Isometrie (DBZ, unter: [https://www.dbz.de/imgs/102510151\\_36b1fd396f.jpg](https://www.dbz.de/imgs/102510151_36b1fd396f.jpg) [22.07.2020])
- Abb. 7.6: Ansicht Südwest (Architectes 2015, S. 2)
- Abb. 7.7: Detailansicht (NZZ/PD, unter: [https://www.nzz.ch/feuilleton/kunst\\_architektur/ein-grauer-diamant-ld.1077147](https://www.nzz.ch/feuilleton/kunst_architektur/ein-grauer-diamant-ld.1077147) [22.07.2020])
- Abb. 7.8: Detailansicht Grätzel-Zellen (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.9: Die Generatorfläche im Zusammenspiel mit anderen Flächen der Gebäudehülle (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.10: Ansicht der PV-Anlage mit einem Passanten (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.11: Farbliche Komposition im Innenraum (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.12: Farbtöne der Grätzel-Zellen (eigene Aufnahme)

- Abb. 7.13: Materialien am Gebäude (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.14: Detailansicht der Materialien der PV-Elemente (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.15: Luftaufnahme Blick in Richtung Nordost (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.16: Luftaufnahme Blick in Richtung Südost (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.17: Farbstreifen am benachbarten Studentenwohnheim (Archello/RDR Architects, unter: <https://archello.com/thumbs/images/2018/01/30/38-56.1517343331.0207.jpg> [23.07.2020])
- Abb. 7.18: Farbfilternde Wirkung (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.19: Lichtspiele im Innenraum (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.20: Detailansicht (eigene Aufnahme)
- Abb. 7.21: Fassadenschnitt 1 (Krippner 2016, S. 130)
- Abb. 7.22: Fassadenschnitt 2 (Krippner 2016, S. 130)
- Abb. 7.23: Schema Verschaltung (Solaronix 2021, S. 4)

### 7.6.3 Bibliografie

- Architectes (2015): Swisstech Convention Center. Kongresszentrum ETHL, unter: <https://www.architectes.ch/fr/pdf> [28.08.2020].
- Bolle, Catherine (2020): Le Semainier et son double, unter: <https://www.catherinebolle.ch/oeuvres/le-semainier-et-son-double> [28.08.2020].
- Catsaros, Christophe (2013): Urbane Inszenierung, in: TEC21 49+50/2013, S. 20-22.
- Herzog, Thomas/Krippner, Roland/Lang, Werner (2016): Fassadenatlas, München, 2016.
- Kaltenbach, Frank (2015): Speerspitze der Forschung. SwissTech Convention Center, Detail online (24.02.2015), unter: <https://www.detail.de/artikel/speerspitze-der-forschung-swisstech-convention-center-13251> [16.02.2018].
- Koller, Michael (2015): Grätzelzellen als Kunst. Swiss Tech Convention Center, Lausanne/CH, in: DBZ Deutsche BauZeitschrift online (04/2015), unter: [https://www.dbz.de/artikel/dbz\\_Graetzelzellen\\_als\\_Kunst\\_Swiss\\_Tech\\_Convention\\_Center\\_Lausanne\\_CH\\_2305942.html](https://www.dbz.de/artikel/dbz_Graetzelzellen_als_Kunst_Swiss_Tech_Convention_Center_Lausanne_CH_2305942.html) [06.07.2021].
- Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, München, 2016.
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2014): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014: Ergebnisse des Wettbewerbs, München.
- Solaronix (2021): Solar Cells brochure, unter: [https://www.solaronix.com/documents/solaronix\\_solar\\_cells.pdf](https://www.solaronix.com/documents/solaronix_solar_cells.pdf) [07.07.2021].

## 8 Wohnhaus Glattfelden (CH), 2013



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau und solarthermischen in Hellblau (eigene Darstellung)

## 8.1 Projektdaten



Abb. 8.1: Ansicht



Abb. 8.2: Schwarzplan

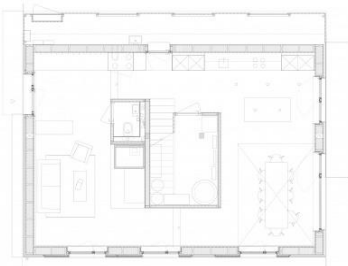


Abb. 8.3: Grundriss EG

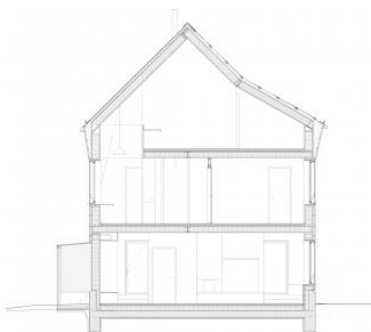


Abb. 8.4: Querschnitt

| <b>Projekt</b>  |   |
|---|---|
| Name  | Einfamilienhaus Glattfelden                                 |
| Standort  | Glattfelden (CH)  |
| Fertigstellung  | 2013  |
| Gebäudenutzung  | Wohngebäude   |
| <b>Planung</b>  |   |
| Bauftrag  | Privater Bauauftraggeber                                    |
| Architektur   | Mirlo Urbano Architekten, Zürich                            |
| Photovoltaik  | Raumanzug GmbH, Zürich                                      |
| <b>BIPV-System</b>  |   |
| Modulart  | Monokristalline Glas-Glas-Module                            |
| Anwendungsbereich   | Dach  |
| Ausrichtung   | 45 ° und 30 °, Südwest                                      |
| PV-Belegung   | ca. 7 % (ca. 40 m <sup>2</sup> von ca. 550 m <sup>2</sup> ) |
| Nennleistung  | 7,59 kWp <sup>[4] [7]</sup>                                 |
| Jahresertrag  | 8.000 kWh/a <sup>[4] [7]</sup>                              |
| Spezifischer Jahresertrag   | 1.054,0 kWh/a/kWp   |
| Solarer Deckungsgrad  | > 100 %   |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |   |
| Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik  |   |
| <b>Wettbewerbe</b>  |   |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014 (Anerkennung)   |   |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |   |
| <p>Das 2013 fertig gestellte Einfamilienhaus in Glattfelden vereint einen einfachen Gebäudekörper mit Holzfassade mit einem geknickten Satteldach. Dieses ist einseitig mit Solarthermie, Photovoltaik und Dachfenstern versehen, die alle derselben Produktreihe entstammen und ein harmonisches Gesamtbild erzeugen. Das Energiekonzept sieht zusätzlich einen Holzofen und eine hochgedämmte Gebäudehülle vor.</p> |   |

## 8.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters



Abb. 8.5: Ansicht von Osten

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2014): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014: Ergebnisse des Wettbewerbs:

„Das Einfamilienhaus Glattfelden fällt durch die klar gegliederte Holzfassade und das leicht abgeknickte Energiedach als selbstbewusster Neubau auf. Dessen Dachform nimmt jedoch Bezug auf die lokalen Satteldächer und nutzt die unterschiedlichen Neigungen für eine optimierte Exposition der PV-Module und Solar Kollektoren. Dem Architekten gelingt mit dem marktgängigen Montagesystem eine äußerst elegante Kombination von Solarthermie und Photovoltaik sowie zwei Dachfenstern. Edelstahl-Solarabsorber und Glasabdeckungen sind in den Bauhöhen aufeinander abgestimmt und durch die geschuppte Anordnung wird die Fläche zusätzlich leicht strukturiert. In diesem schlüssigen Ansatz erscheint einzig der umlaufende Rand der verzinkten Blechabdeckung etwas stark kontrastierend.“<sup>27</sup>

Prix Lignum (2015): Projekte. Einfamilienhaus Creti Howald, Prix Lignum online (2015):

„Die geknickte Dachform bezieht sich auf die im Ort vorherrschende Bauweise mit Satteldächern und konstruktiv bedingten Aufschieblingen. Im vorliegenden Projekt reagiert der Knick auf die optimale Sonnenausrichtung der Photovoltaik- und Kollektorpaneele. Das Solardach ist ein technisches und ästhetisches Novum, bei dem Format und Farbe der thermischen Kollektoren, PV-Module und Dachfenster aufeinander abgestimmt wurden.“

Hier ist Energie (2014): Minergie A: dank Solarwärme, Solarstrom und Kachelofen, Hier ist Energie online (15.07.2014):

„Warum in die Ferne schweifen, wenn das Gute liegt so nah? Wie wahr das im Energiebereich ist, zeigt das neue Holz-Einfamilienhaus in Glattfelden: Das nach Süd-West ausgerichtete Satteldach erntet Solarwärme und Solarstrom und ist auch noch ein Blickfang dank den [...] ästhetisch schön integrierten Solarstrommodulen inklusive zwei SOLRIF-Dachfenstern sowie unverglasten Kollektoren. [...] 33 mit SOLRIF gerahmte Solarmodule [...] liegen auf dem nach Süd-West ausgerichteten Satteldach [...]. Die zwei obersten Reihen des Dachs sind mit 14.6 m<sup>2</sup> unverglasten Kollektoren [...] bestückt, die ebenfalls mit dem PV-Montagesystem SOLRIF der Firma Schweizer gerahmt sind. So ergibt sich eine ästhetisch schöne, einheitliche Dachfläche. Besonders gut gelöst ist auch die Integration der Dachfenster. ‚Sie sind etwas grösser als übliche Dachfenster‘, berichtet Fabio Creti, ‚da sie den Modulgrößen angepasst sind.‘ Die Dachfenster stammen auch aus der SOLRIF-Produktreihe der Ernst Schweizer AG, Metallbau, aus Hedingen.“

Die Integration der PV wird als „elegant“ und „ästhetisch schön“ beschrieben. Dabei wird besonders die Einheitlichkeit der Dachfläche und die Abgestimmtheit von PV, Thermie und Dachfenstern betont sowie der Bezug der Dachform zu umgebenden Bauweisen. Lediglich die optisch deutlich hervortretende Umrandung der Dachfläche fällt teilweise als störend auf. In Bezug auf die Gestaltprägung des Gebäudes erscheint die BIPV insgesamt ausgewogen.



<sup>27</sup> SeV 2014, S. 7.



## 8.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

### 8.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse

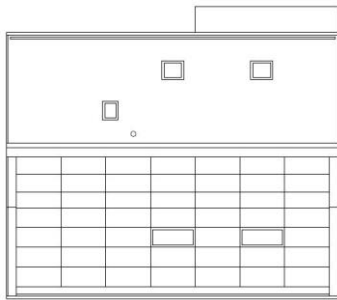


Abb. 8.6: Dachaufsicht



Abb. 8.7: Dachansicht

#### Proportionale Bezüge

Das Solardach belegt die gesamte südöstliche Hälfte des Satteldaches. Das Generatorfeld hebt sich dabei optisch kaum von den Solarkollektoren im oberen Bereich ab. Kollektoren und Module sind klar auf die geknickte Dachform abgestimmt und auf die Proportionen des gesamten Hauses. Die Moduldimensionen sind rechtwinklig liegend. Dadurch ergibt sich eine klar horizontal gegliederte Dachfläche, die auf die ebenfalls horizontal gegliederte Holzfassade Bezug nimmt. Kollektoren, Solarmodule und Dachfenster wurden aus demselben Produktsystem gewählt, um in ihren Proportionen identisch zu erscheinen, auch wenn dies im vorliegenden Fall zu etwas größeren Dachflächenfenstern als üblich führte.<sup>[6]</sup> Die Zellen sind quadratisch, jedes Modul besteht aus 72 von ihnen. Dank der Rückseitenkontakte und einer schwarzen Rückseitenfolie sind die Zellen als solche aber kaum ablesbar.

#### Flächenintegrität

Die zwei obersten Reihen unverglaster Solarkollektoren haben dasselbe Format wie die Solarmodule und sind mit demselben Montagesystem gerahmt. Im Umgang mit der regelmäßigen Flächengeometrie des Daches entstehen keine Restflächen. Die zwei Dachfenster sind optimal in das Dachsystem integriert, da sie in ihren Abmessungen den Solarmodulen entsprechen. Weitere Dachdurchdringungen sind bewusst auf der anderen Seite des Satteldaches angeordnet. Die Ränder der Dachfläche sind recht breit gestaltet und treten zusätzlich durch ihre kontrastierende Materialität und Farbe stark in den Vordergrund, wodurch die Flächenintegrität der Dachfläche etwas gemindert wird. Durch die schmalen Abmessungen der Modulrahmen und ihre farbliche Anpassung, treten sie optisch kaum in Erscheinung und führen nur zu einer leichten Rasterwirkung. Die Flächenbündigkeit der Dachfläche ist dadurch gewährleistet, dass alle Bauteile (Absorber, Module, Dachfenster und Dachabschlussbleche) in ihrer Bauhöhe aufeinander abgestimmt sind.

#### Formprägung

Die geknickte Form des Solardaches nimmt Bezug auf umliegende Bauweisen, ermöglicht aber gleichzeitig auch die optimale Exposition der solaren Bauteile.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Die PV-Anlage ist dem unteren Teil der südwestlichen Satteldachhälfte zugeordnet. Ihr Flächenanteil liegt bei ca. 7 % (ca. 40 m<sup>2</sup> von ca. 550 m<sup>2</sup>) und ist eher niedrig.

Maß- und Mengenverhältnisse zwischen solaren Bauteilen und den übrigen Elementen der Gebäudehülle sind durch die Verwendung von Thermie- und Dachfenster-Elementen gleicher Abmessungen sorgfältig aufeinander abgestimmt. Bezogen auf den Grad der Gestaltprägung erscheint die BIPV insgesamt unauffällig bis ausgewogen.



### 8.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 8.8. Dachansicht

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Verglichen mit anderen Elementen des Gebäudes ist der Generator im Ganzen und in seiner Binnengliederung maßstäblich abgestimmt. In seiner Gesamtgröße entspricht er den Dachflächen, die Größe der Module und der Dachflächenfenster sind exakt aufeinander abgestimmt.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

In Bezug auf menschliche Maßstäbe sind der Generator und die übrigen Teile der Gebäudehülle in ihrer Maßstäblichkeit aufeinander abgestimmt und wirken als Solardach weder unter- noch überdimensioniert.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

In ihrer Größe sind die solaren Bauteile des Daches angepasst, dennoch erscheinen sie maßstäblich etwas größer als bauübliche Dachdeckungsmaterialien.

In ihrer Maßstäblichkeit ist die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle sowie menschliche und bauübliche Maßstäbe abgestimmt und erscheint hinsichtlich ihrer Gestaltprägung insgesamt unauffällig bis ausgewogen.



### 8.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 8.9: Ansicht von Nordost



Abb. 8.10: Ansicht von Südost

#### Abgestimmte Farbtöne

Die Farbtöne des Generators und sämtlicher seiner Bestandteile liegen im anthrazit-schwarzen bis bläulichen Bereich. Lediglich die verzinkten Bleche der Dachränder erscheinen hellgrau und heben sich hierdurch farblich stark ab, sowohl von den Solarbauteilen als auch von der beige Holzfassade. Die Farbharmonie der interagierenden Teile liegt im Bereich eines komplementären Farbklangs.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

In Bezug auf die Farbhelligkeiten steht eine überwiegend dunkle BIPV einer hellen Holzfassade gegenüber und bildet einen deutlichen hell-dunkel-Kontrast. Die Abdeckung am Dachrand hebt sich auch hier in ihrer Helligkeit stark ab.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Die Farbsättigung aller Materialien ist einheitlich niedrig gehalten.

In ihrer Farbgebung erscheint die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle abgestimmt. Auch wenn durchaus Kontraste im Bereich der Farbtöne und -helligkeiten bestehen, ist dieser Effekt zwischen Dach- und Fassadenflächen üblich und bekannt. Lediglich die farblich kontrastierende Gestaltung der Dachumrandung lässt die BIPV hinsichtlich ihrer Gestaltprägung nicht völlig unauffällig erscheinen.



### 8.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 8.11: Detailansicht Dach



Abb. 8.12: Ansicht von Südwest

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Opake solare Bauteile sind am Gebäude eindeutig der opaken Dachfläche zugeordnet. Eine Besonderheit bilden aber die zwei Dachfenster, die durch die abgestimmte Gestaltung Belichtung innerhalb der PV-Fläche ermöglichen, ohne visuell störend zu wirken.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Bezüglich der Glanz- und Reflexionsgrade sind BIPV und übrige Gebäudehülle dahingehend abgestimmt, dass die Solarmodule in ihrem Glanz reduziert sind und so den Kontrast zu der matten Fassade verringern.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Auch die Oberflächentexturen weichen nicht zu stark voneinander ab indem glatte BIPV-Oberflächen ebenfalls für eine Holzfassade eher feineren Holzfassaden gegenüberstehen.

In der materiellen Komposition hebt sich der Generator in seinen Eigenschaften leicht von der Holzfassade ab. Glatte, leicht glänzende Glasoberflächen stehen matten Holzoberflächen gegenüber. Dennoch wirken die Materialien durchaus ausgewogen aufeinander abgestimmt.



### 8.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 8.13: Luftaufnahme der Umgebung



Abb. 8.14: Gebäude der Nachbarschaft

#### Farbliche Bezüge

In ihrer farblichen Gestaltung nimmt die BIPV Bezug auf umliegende ebenfalls dunkle Dächer.

#### Materielle Bezüge

Hinsichtlich der Materialität gibt es außer Aufdach-PV-Anlagen keine glasähnlichen Dachdeckungen in der Umgebung.

#### Formale Bezüge

In seiner Formensprache greift das geknickte Dach regionaltypische Bauweisen auf. Hierfür gibt es auch Beispiele in der näheren Umgebung.

Bezüge zur Umgebung wurden insbesondere farblich und in Bezug auf die Dachform gestaltet, lediglich das Material hebt sich leicht ab. Bezogen auf den Grad der Gestaltprägung erscheint die BIPV insgesamt ausgewogen.



### 8.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 8.15: Ansicht bei Nacht

**Abgestimmte syntaktische Wirkung**  
 Abgesehen von der leichten Strukturierung durch die Gliederung des Generators geht von der BIPV keine deutlich ornamentale Wirkung aus.

**Abgestimmte semantische Wirkung**  
 Die Anlage unterstützt das energetische Konzept des gesamten Gebäudes mit ihrer symbolischen Wirkung als sichtbares Zeichen für die Nutzung erneuerbarer Energien und Nachhaltigkeit.

In ihrer insgesamt zurückhaltenden Zeichenwirkung ist die BIPV auf die übrige Gebäudehülle und auf die Nutzung als privates Wohnhaus abgestimmt und erscheint diesbezüglich unauffällig bis ausgewogen.



### 8.4 Funktionen der BIPV-Anlage

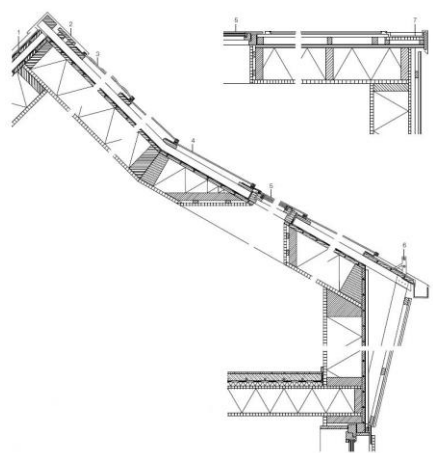


Abb. 8.16: Detailschnitt Dach

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Stromproduktion</b>  | Die Anlage produziert mit 8.000 kWh/a mehr elektrische Energie als benötigt.                     |
| <b>Witterungsschutz</b> | Die Module sind oberhalb der Abdichtungsschicht angeordnet und schützen diese vor der Witterung. |

### 8.5 Systemtechnik



Abb. 8.17: Ansicht Modul

|   |  |
|---|--|
| <b>1. Standort</b>                      | 47° 33' N / 8° 30' O                     |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>      | 45 ° und 30 °, Südost                    |
| <b>3. Verschattung</b>                  | unverschattet                            |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b> |  |
| <u>Gesamtsystem</u>                     |  |
| Anwendungsbereich                       | Dach                                     |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | ca. 7 %                                  |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 40 m <sup>2</sup> von 550 m <sup>2</sup> |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>             | 185 Wp/m <sup>2</sup>                    |

|  |                                     |                                  |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| <p>MM<br/>(N)</p> <p>(A) - MOUNTING HOLES<br/>12X Ø9.8 [29]</p> <p>(B) - GROUNDING HOLES<br/>10X Ø4.2 [17]</p> <p>(B)<br/>BOTH<br/>ENDS</p> <p>(A)</p> | Nennleistung                        | 7,59 kWp <sup>[7]</sup>          |
|  | Jahresertrag                        | 8.000 kWh/a <sup>[7]</sup>       |
|  | Solarer Deckungsgrad                | > 100 %                          |
|  | Anschluss                           | Netzanschluss                    |
|  | Anzahl Module                       | 33                               |
|  | Anzahl Wechselrichter               | k. A.                            |
|  | <u>Module</u>                       |                                  |
|  | Art                                 | Monokristalline Glas-Glas-Module |
|  | Hersteller                          | Solrif                           |
|  | Größe                               | 155,9 x 79,8 cm <sup>[9]</sup>   |
|  | Produktbezeichnung                  | SPR-230-NE-BLK <sup>[10]</sup>   |
|  | Modulwirkungsgrad                   | 18,5 % <sup>[9]</sup>            |
|  | Nennleistung                        | 230 Wp <sup>[9]</sup>            |
|  | Modulfläche                         | 1,24 m <sup>2</sup>              |
| <u>Zellen</u>  |                                     |                                  |
| Art  | monokristallin                      |                                  |
| Farbe  | Dunkelblau                          |                                  |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>  | Hinterlüftet (60 mm) <sup>[4]</sup> |                                  |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b>  | k. A.                               |                                  |
| <b>7. Speicherung</b>  | Netzanschluss                       |                                  |

Abb. 8.18: Detailmaße Modul

## 8.6 Nachweise

### 8.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] SeV 2014, S. 7.
- [2] Mirlo Urbano 2020.
- [3] Krippner 2016, S. 16-17.
- [4] Krippner 2016, S. 112-113.
- [5] Schwarzburger 2017, S. 53.
- [6] Prix Lignum 2015.
- [7] Krippner et al. 2015, S. 17-18.
- [8] Hier ist Energie 2014.
- [9] SunPower 2012.
- [10] Ernst Schweizer 2020.

### 8.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 8.1: Ansicht (Mirlo Urbano Architekten, unter: <https://www.mirlourbano.ch/projekte/haus-in-glattfelden> [11.07.2021])
- Abb. 8.2: Schwarzplan (Baudokumentation/Mirlo Urbano Architekten, unter: [https://www.baudokumentation.ch/m11/47/4\\_57147/99637ebfa9edfff49b3b7fc31d8ab6a9.pdf](https://www.baudokumentation.ch/m11/47/4_57147/99637ebfa9edfff49b3b7fc31d8ab6a9.pdf) [11.07.2021])
- Abb. 8.3: Grundriss EG (Prix Lignum 2015, S. 1)
- Abb. 8.4: Querschnitt (Prix Lignum 2015, S. 1)
- Abb. 8.5: Ansicht von Osten (Krippner 2016, S. 112)
- Abb. 8.6: Dachaufsicht (Krippner 2016, S. 112)
- Abb. 8.7: Dachansicht (Ernst Schweizer, unter: [https://www.ernstschweizer.ch/fileadmin/\\_processed\\_/csm\\_EF-H\\_Dorfstrasse\\_34\\_Glattfelden\\_Fabio\\_Creti\\_5e8ca2734f.jpg](https://www.ernstschweizer.ch/fileadmin/_processed_/csm_EF-H_Dorfstrasse_34_Glattfelden_Fabio_Creti_5e8ca2734f.jpg) [05.05.2021])
- Abb. 8.8: Dachansicht (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/geneigtes-dach/tipps/news-produkte/photovoltaik-als-dachdeckung-5420700/gallery-1/1> [05.05.2021])
- Abb. 8.9: Ansicht von Nordost (Hier ist Energie, unter: <https://hier-ist-energie.ch/assets/images/c/MinergieA-d6f07ba.jpg> [05.05.2021])
- Abb. 8.10: Ansicht von Südost (eigene Aufnahme)
- Abb. 8.11: Detailansicht Dach (Krippner 2016, S. 113)
- Abb. 8.12: Ansicht von Südwest (eigene Aufnahme)
- Abb. 8.13: Luftaufnahme der Umgebung (eigene Aufnahme)
- Abb. 8.14: Gebäude der Nachbarschaft (eigene Aufnahme)
- Abb. 8.15: Ansicht bei Nacht (Damian Poffet, unter: <https://i.pinimg.com/originals/7b/85/14/7b8514e7bd8cc0528bbc9fdb21073677.jpg> [07.07.2021])
- Abb. 8.16: Detailschnitt Dach (Krippner 2016, S. 113)
- Abb. 8.17: Ansicht Modul (SunPower 2012, S. 2)
- Abb. 8.18: Detailmaße Modul (SunPower 2012, S. 2)

### 8.6.3 Bibliografie

- Ernst Schweizer (2020): Referenzen. Einfamilienhaus Dorfstrasse, Glattfelden, unter: <https://www.ernstschweizer.ch/de/produkte/referenzen/photovoltaik-systeme.html#c7593> [31.08.2020].
- Hier ist Energie (2014): Minergie A: dank Solarwärme, Solarstrom und Kachelofen, Hier ist Energie online (15.07.2014), unter: <http://www.hier-ist-energie.ch/projekte/minergie-a-dank-solarwaerme-solarstrom-und-kachelofen> [23.01.2017].
- Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, München, 2016.

Krippner, Roland/Becker, Gerd/Schiebelsberger, Bruno/Weber, Walter/Flade, Fabian (2015): Architektur und Solarenergie. Ausgezeichnete Projekte aus dem SeV-Wettbewerb „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014“. Vortragsfolien vom 03.03.2015 im 7. Forum BIPV im Kloster Banz, Bad Staffelstein.

Mirlo Urbano (2020): Ersatzneubau mit Minergie-A-Standard. Haus in Glattfelden, unter: <https://www.mirlourbano.ch/projekte/haus-in-glattfelden> [31.08.2020].

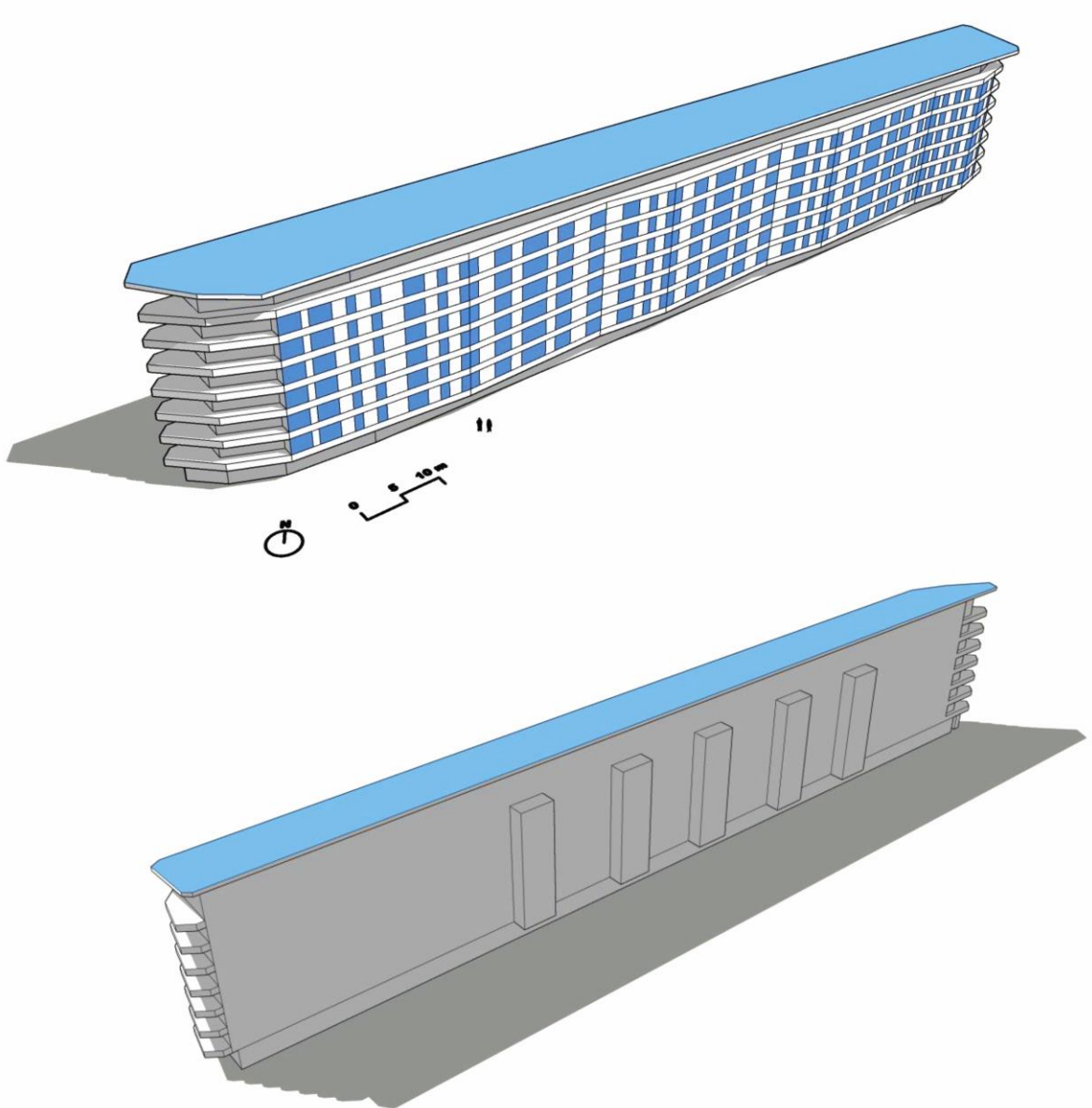
Prix Lignum (2015): Projekte. Einfamilienhaus Creti Howald, Prix Lignum online (2015), unter: <https://prixlignum.ch/de/141/project/projects-down-998-19%7C%7C%7C0%7C0%7C%7C0%7C0~18~1/998/einfamilienhaus-creti-howald.html> [31.08.2020].

Schwarzburger, Heiko (2017): Die Vorbehalte verstehen, in: photovoltaik 10/2017, S. 52-55.

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2014): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2014: Ergebnisse des Wettbewerbs, München.

SunPower (2012): Datenblatt E18/230 SOLAR PANEL, Dokument Nr. 001-68203 Rev\*/A/A4\_DE, unter: [https://solstis.ch/images/SolarPannels\\_DE/SunPower\\_E18\\_225.pdf](https://solstis.ch/images/SolarPannels_DE/SunPower_E18_225.pdf) [07.07.2021].

## 9 Aktiv-Stadthaus, Frankfurt a. M. (DE), 2015



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)



## 9.1 Projektdaten



Abb. 9.1: Ansicht



Abb. 9.2: Schwarzplan

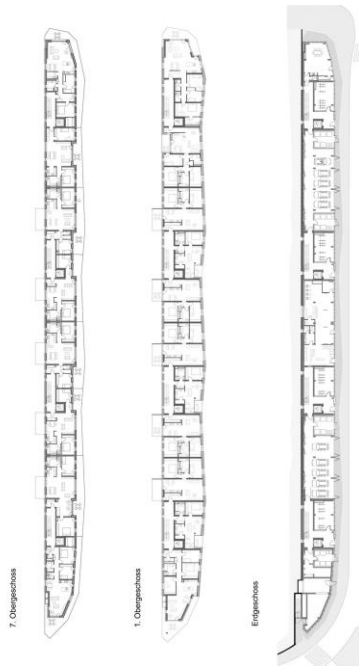


Abb. 9.3: Grundrisse

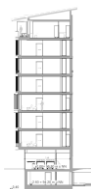


Abb. 9.4: Querschnitt

| <b>Projekt</b>  |   |
|---|---|
| Name  | Aktiv-Stadthaus   |
| Standort  | Frankfurt a. M. (DE)  |
| Fertigstellung  | 2015  |
| Gebäudenutzung  | Wohn- und Geschäftsgebäude  |
| <b>Planung</b>  |   |
| Bauftrag  | ABG Frankfurt Holding   |
| Architektur   | HHS Planer + Architekten AG   |
| Photovoltaik  | EGS-Plan GmbH, Stuttgart  |
| <b>BIPV-System</b>  |   |
| Modulart  | Monokristalline Glas-Glas-Module  |
| Anwendungsbereich   | Dach und Fassade  |
| Ausrichtung   | 10 °, Süd (Dach); 90 °, Süd (Fassade)   |
| PV-Belegung   | ca. 21 % (2.400 m <sup>2</sup> von ca. 11.500 m <sup>2</sup> ) <sup>[1] [5]</sup> |
| Nennleistung  | 365 kWp <sup>[2]</sup>  |
| Jahresertrag  | 292.000 kWh/a <sup>[5]</sup>  |
| Spezifischer Jahresertrag   | 800 kWha/kWp  |
| Solarer Deckungsgrad  | 106 % <sup>[5]</sup>  |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |   |
| Krippner (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik<br>DETAIL Green 02/2015  |   |
| <b>Wettbewerbe</b>  |   |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017 (Anerkennung)   |   |
| European Intersolar Award 2015 (Kategorie Projekte)   |   |
| Europäischer Solarpreis 2015 (Kategorie Architektur & Stadtentwicklung)   |   |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |   |
| Der Neubau eines Plusenergie Wohn- und Geschäftshauses im innerstädtischen Kontext hat acht Geschosse, ist nur 9 m breit und 160 m lang. Zwei PV-Anlagen sind in das Pultdach und in die Südost-Fassade integriert und ermöglichen so in Kombination mit einem Abwasserkanal-Wärmetauscher und einem 300 kW Stromspeicher, dass das Gebäude für die 74 Wohnungen und zwei Geschäftseinheiten einen Energieüberschuss erzielt. |   |

## 9.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

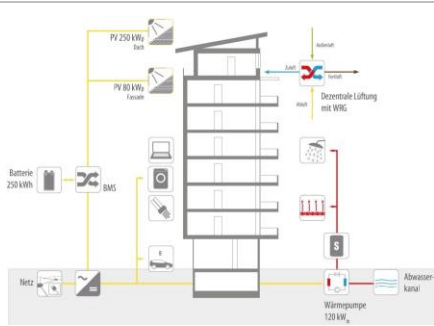


Abb. 9.5: Schema Energiefluss

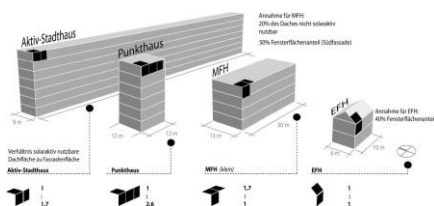


Abb. 9.6: Vergleichsschema solaraktiv nutzbarer Flächen verschiedener Wohnungsbautypologien

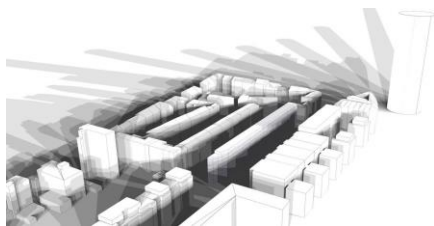


Abb. 9.7: Studie Verschattungssituation

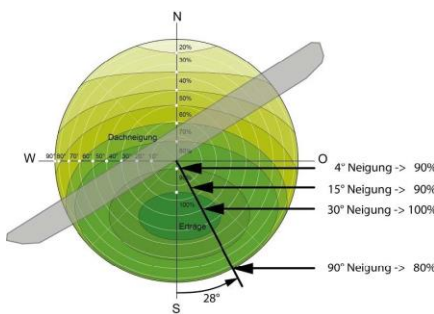


Abb. 9.8: Studie zu Ertrag und Flächenausrichtung

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse des Wettbewerbs:

„Ein herausragendes Projekt mit Pilotcharakter [...] ist das Aktiv-Stadthaus in Frankfurt/Main. Den Architekten gelingt unter schwierigen städtebaulichen Randbedingungen, auf einem 160 m langen und nur 9 m tiefen Grundstück, ein 8-geschossiges Mehrfamilienhaus mit 74 Wohneinheiten im „Effizienzhaus-Plus Standard“ zu realisieren. [...] In der langen, durch eine leichte Faltung moderat rhythmisierten Südfassade wechseln sich monokristalline anthrazitfarbene Module, im Hochformat mit sichtbarer Befestigung montiert, mit den Öffnungen ab und bilden einen wirkungsvollen Kontrast zu der bandartigen weißen Eternitbekleidung wie auch der vertikalen Holzschalung.“<sup>28</sup>

Schoof (2015a): Die Zukunft des Wohnens? Aktiv-Stadthaus in Frankfurt, DETAIL online (15.07.2015):

„Die PV-Fassade mit ihren 350 Modulen ist sicher das sichtbarste Zeichen dafür, dass dieser Modul Neubau etwas anders funktioniert als herkömmliche Wohngebäude. Dazwischen ziehen sich lichtgraue Brüstungsbänder aus Faserzement [...] über die gesamte Gebäudelänge. Die sanfte Faltung der Straßenfront dient vor allem dazu, die exorbitante Gebäudelänge optisch etwas zu gliedern; außerdem vergrößert sie die Fläche, die für die Solarstromerzeugung zur Verfügung stand, zusätzlich. [...] Auch das auffallende Pultdach ist in Form, Größe und Neigung auf einen maximalen Solarertrag abgestimmt.“

Gunßer (2018): Das Aktiv-Stadthaus in Frankfurt von HHS Planer + Architekten AG: Aktiv statt passiv, db deutsche bauzeitung online (2018):

„Das ungewöhnliche Gebäude entstand auf einem Parkplatz an der Speicherstraße im Gutleutviertel. [...] Mit einigen baurechtlichen Kniffen passte ein schlanker Achtgeschoßer auf die Parzelle. Da dessen Breitseite nach Südosten weist, ließen sich Hauptfassade und Dach für die aktive wie passive Solarnutzung optimieren. [...] Die Kennziffern und das interaktive Monitoring des Aktiv-Stadthauses sind gewiss beachtlich. Doch nicht zuletzt verbirgt sich hinter der stromlinienförmig vor- und zurückspringenden, unaufdringlichen Solarfassade ein gut geplanter Wohnungsbau. [...] Das ist im Vergleich zu den klein parzellierten Häusern aus Nachkriegszeit und Postmoderne auf der Rückseite des Blocks ein ganz schön großer Brocken. Der 120 m lange Bau, der aufgrund seiner geringen Tiefe fast scheibenartig im Raum steht, ließe sich denn auch frech als ‚Groundscraper‘ bezeichnen, was eher zur nahen Skyline als zum kleinteiligen Quartier Bezug nimmt. [...] Gerade im Vergleich zur mainwärts gegenüberliegenden Bebauung mit dem Charme eines Plattenbaus wirkt der Aktivhaus-Riegel indes geschmeidig und elegant gestaltet.“

Eurosolar (2015): European Solar Prize 2015:

“More than 1000 façade and rooftop mounted solar modules generate 300,000 kWh/a of green electricity, while a sewage heat pump generates hot water and powers the floor heating. [...] Being developed in cooperation with the federal research initiative ‘Zukunft-Bau’ (Construction Future), the building also serves as a proof of concept – for the first time, findings and practices from single-family energyplus homes have been successfully applied to a large scale residential apartment complex. The design by HHS Planer+Architekten demonstrates that the future of housing can be ecofriendly, economical and aesthetic.”

<sup>28</sup> SeV 2017, S. 4.

Das Gebäude wird durchaus als „ungewöhnlich“ und „ganz schöner Brocken“ aber auch als „ästhetisch“ bezeichnet. Die Solarfassade selbst wird als „moderat rhythmisiert“, „sanft gefaltet“, „unaufdringlich“, „geschmeidig“ und „elegant“ beschrieben. Teilweise wird der fehlende Bezug zur unmittelbaren Umgebung kritisiert. In Bezug auf die Gestaltprägung des Gebäudes erscheint die BIPV deutlich wahrnehmbar und dennoch auf Gebäude und Umgebung abgestimmt.

### 9.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

Die gestalterischen Untersuchungen im Rahmen dieser Projektstudie beziehen sich sowohl auf die BIPV-Anlage in der Südostfassade des Gebäudes als auch auf die PV-Anlage im Dach.

#### 9.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 9.9: Gesamtansicht der Generatorflächen in Dach und Fassade



Abb. 9.10: Analyse Proportionen Südostfassade

##### Proportionale Bezüge

Der Dachgenerator ist in seinen Proportionen klar der gesamten Dachfläche zugeordnet und auf diese abgestimmt. Seine Binnengliederung folgt Anforderungen des Brandschutzes und der Begehbarkeit, diese ist allerdings nur von sehr hochgelegenen Standpunkten und bei bestimmten Lichtverhältnissen sichtbar. Der Generator der Fassadenfläche ist nur der Südostfassade zugeordnet, die sich in ihrer Gestaltung deutlich von der rückwärtigen Fassade des Gebäudes unterscheidet. Er gliedert die Fassade geschossweise in einzelne Bänder bestehend aus einzelnen aufgereihten Modulen. Die gesamte Fassade ist leicht gefaltet und rhythmisiert durch den Wechsel von Modulen und Öffnungen. Fassadenmodule und übrige Elemente sind speziell für das Gebäude dimensioniert. Zellen sind bei beiden Generatoren nur aus unmittelbarer Nähe ablesbar.

##### Flächenintegrität

Die polygonale Dachfläche ist vollständig ausgefüllt durch die Verwendung von Sondermodulen. Durchdringungen sind reduziert in der Anzahl und dort, wo sie nicht vermeidbar waren, mit Blechen passgenau eingefasst. Zudem ist die Dachfläche schlüssig entsprechend der weißen Geschossbänder eingefasst. In der Fassade sind die Module maßangefertigt und auf die Fensterhöhen abgestimmt. Alle Unterkonstruktionen sind so ausgebildet, dass eine Flächenbündigkeit gewahrt ist.

##### Formprägung

Die Formprägung am Aktiv-Stadthaus geht sowohl vom Gebäudekörper und den besonderen Erfordernissen des Grundstücks aus als auch von der Anlage, die z. B. die generelle Entscheidung für ein Pultdach, als auch seine Neigung und auch die Faltung der Fassade zur Optimierung solarer Gewinne beeinflusst hat.<sup>29</sup>

##### Abgestimmte Flächenanteile

Der Anteil der PV-Fläche liegt bei ca. 21 % (1.500 m<sup>2</sup> Dachanlage und 900 m<sup>2</sup> Fassadenanlage bei ca. 11.500 m<sup>2</sup> Gesamtoberfläche des Gebäudes).<sup>[1] [5]</sup>

<sup>29</sup> Hegger et al. 2014, S. 46-51.



Abb. 9.11: Aufsicht Dach

Maß- und Mengenverhältnisse der BIPV am Aktiv-Stadthaus wurden sehr sorgfältig und in einem aufwändigen Planungsprozess aufeinander abgestimmt. Insgesamt erscheint die PV in Bezug auf ihre Gestaltprägung ausgewogen.



### 9.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 9.12: Ansicht von Südosten



Abb. 9.13: Detailansicht Dach

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

In ihrer Größe sind beide Generatoren exakt auf die Größen von Dach- und Fassadenflächen abgestimmt. Auch die Größe der Fassadenmodule entspricht den Fenstergrößen.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

In ihrer Maßstäblichkeit sind die Generatoren und die übrigen Teile der Gebäudehülle aufeinander abgestimmt und wirken als Solardach bzw. -fassade weder unter- noch überdimensioniert in Bezug auf menschliche Maßstäbe.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Für den jeweiligen Einsatzort im Dach und in der Fassade erscheinen lediglich die Dachmodule maßstäblich etwas größer als bauübliche Dachdeckungsmaterialien.

Die Maßstäblichkeit der Anlagen ist auf die übrigen Teile der Gebäudehülle und entsprechend den Verwendungsbereichen im Dach und in der Fassade angeglichen und erscheint hinsichtlich ihrer Gestaltprägung insgesamt unauffällig bis ausgewogen.



### 9.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 9.14: Farbkomposition Südostfassade

#### Abgestimmte Farbtöne

Die Farbtöne der Generatoren liegen im anthrazit-schwarzen bis bläulichen Bereich. Die Module selbst sind durch schwarze Zellen und schwarze Folien bewusst homogen gestaltet. Die Dachfläche und die Geschosse werden von weißen Bändern gerahmt, das Erdgeschoss ist ebenfalls anthrazit bis schwarz gehalten. Hinzu kommen die grauen Balkone an der Rückseite und beige Holzelemente in der Fassade. Insgesamt ist der Farbklang zwischen den interagierenden Teilen eher analog, durch die bläulichen Effekte der PV-Module im Zusammenspiel mit den Holzelementen der Fassade können farblich aber auch kontrastreiche Momente entstehen.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Die Farbhelligkeiten der Gebäudehülle überspannen das gesamte Spektrum von Weiß bis Schwarz, wobei die Module optisch den dunkleren Bereichen der Gebäudehülle wie z. B. dem Dach, Erdgeschoss und in der Fassade insbesondere den Fenstern zugeordnet sind.



Abb. 9.15: Farbkombi-  
sation Nordwest-  
fassade

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Viele unbunte Farben am Gebäude haben keine Farbsättigung, diesen ordnen sich auch die PV-Bauteile zu. Lediglich die Holz-Elemente haben eine höhere Sättigung und heben sich diesbezüglich ab.

Das gesamte Gebäude ist mithilfe von Farben gegliedert. Die BIPV ordnet sich dabei spezifischen Flächen zu und tritt insgesamt ausgewogen in Erscheinung.



### 9.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien

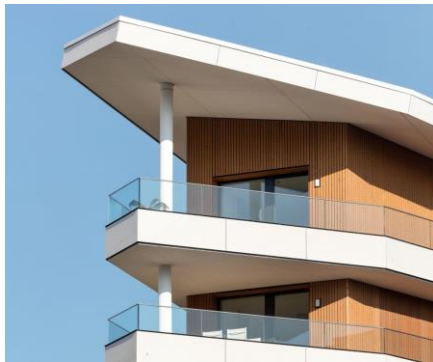


Abb. 9.16: Detail Materialkomposition



Abb. 9.17: Detail Materialkomposition

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Opake solare Bauteile sind am Gebäude eindeutig den opaken Dach- und Fassadenflächen zugeordnet.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

In der Kombination mit den übrigen Teilen der Gebäudehülle sind die PV-Elemente hinsichtlich ihres Glanzgrades wenig abgestimmt. Sowohl der Dachgenerator als auch die Fassadenmodule erscheinen im Vergleich glänzend bis spiegelnd und bilden einen Kontrast zu vielen Teilen ausgenommen der Glasbrüstungen und Fenster.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Auch hinsichtlich ihrer Oberflächentextur erscheint die BIPV im Vergleich zu den übrigen Teilen der Gebäudehülle glatter und leicht kontrastierend zu den übrigen Fassadenflächen. Ein optischer Zusammenhang entsteht hier mit den horizontalen Bändern der Glasbrüstungen.

Innerhalb klar zugeordneter Flächen besteht die Materialkomposition zwischen PV und übrigen Materialien aus überwiegend opaken und glatten Materialien, bezüglich der Glanzgrade hebt sich insbesondere die Anlage in der Fassade leicht ab.



### 9.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 9.18: Luftansicht der Umgebung

#### Farbliche Bezüge

In seiner farblichen Gestaltung nimmt das Gebäude zahlreiche weiße, graue, braune und schwarze Farbtöne der Umgebung auf. Auch die anthrazit-schwarzen bis bläulichen Farben der BIPV finden sich an Gebäuden der unmittelbaren und weiteren Nachbarschaft.

#### Materielle Bezüge

Materiell stehen die Bauteile der BIPV in einem stärkeren Bezug zu Glas-Elementen an Gebäuden der Umgebung als zu den Fassadenmaterialien wie z. B. Putz oder Klinker.



Abb. 9.19: Blick von Westen



Abb. 9.20: Blick von Osten

**Formale Bezüge**

Sowohl das Pultdach als auch die gefaltete Fassade bilden formal einen deutlichen Kontrast zu den Bauweisen der Umgebung, ebenso wie die langgezogene, horizontale Gliederung der Fassade. In den ablesbaren Modulformaten hingegen kann ein Bezug zu umliegenden Fensterformaten erkannt werden.

Insgesamt hebt sich das BIPV-bestückte Gebäude von seiner Umgebung ab. Trotz angepasster Farbgebung führen vor allem Materialität und formale Gestaltung zu einer deutlich skulpturalen und auffälligen Form, die einen größeren Bezug zu den Hochhäusern der weiteren Nachbarschaft hat als zu der unmittelbar umgebenden Wohnbebauung. Das Gebäude ist im Vergleich zu seiner Umgebung durchaus auffallend von der Integration geprägt.



**9.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung**

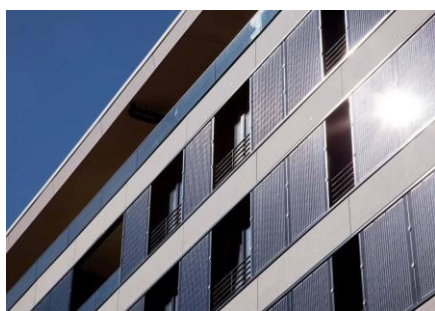


Abb. 9.21: Fassadendetail

**Abgestimmte syntaktische Wirkung**

Sowohl die „Streifen-Optik“ der geschossweisen Gliederung der Fassade als auch die sichtbaren Oberflächenkontakte der Fassaden-Module haben eine ornamentale Wirkung.

**Abgestimmte semantische Wirkung**

Die Sichtbarkeit im Stadtraum ist deutlich. Insbesondere die Fassadenanlage symbolisiert den hohen energetischen Anspruch einer nachhaltigen Gebäudekonzeption, der auch von der symbolischen Wirkung anderer Fassadenmaterialien wie z. B. der Holzverschalung unterstützt wird.

In ihrer Zeichenwirkung ist die BIPV kontrastreich auf die übrige Gebäudehülle abgestimmt und erscheint diesbezüglich ausgewogen bis auffällig gestaltprägend.



**9.4 Funktionen der BIPV-Anlage**

|                         | Dach   | Fassade   |
|-------------------------|--|---|
| <b>Stromproduktion</b>  | Die Anlage produziert mit 292.000 kWh/a mehr elektrische Energie als benötigt wird.    |   |
| <b>Witterungsschutz</b> | Beide Anlagen schützen die hinter bzw. unter ihr liegenden Bauteile vor der Witterung. |   |
| <b>Schallschutz</b>     |  | Als Teil der Fassade dient die PV-Anlage in dieser auch als Lärmschutz. |

## 9.5 Systemtechnik

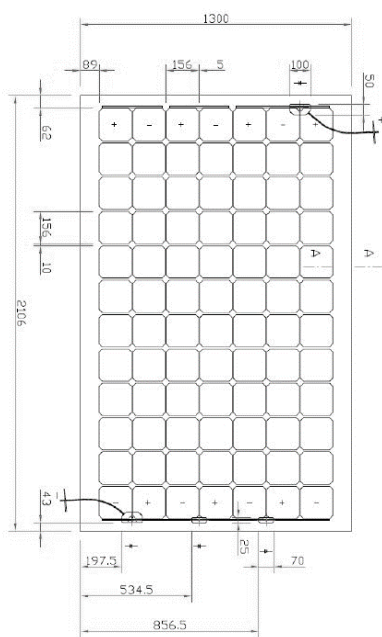


Abb. 9.22: Maße Modul Fassade

|   |  |  |
|---|--|--|
|   | Dach   | Fassade                                    |
| <b>1. Standort</b>  | 50° 06' N / 8° 39' O   |  |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>  | 10°, Süd <sup>[5]</sup>  | 90°, Süd                                   |
| <b>3. Verschattung</b>  | Die unteren Geschosse der Südfassade liegen oft im Schatten.   |  |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b>                                     |  |  |
| <u>Gesamtsystem</u>   |  |  |
| Anwendungsbereich   | Dach   | Fassade                                    |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | ca. 13 %   | ca. 8 %                                    |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | ca. 1.500 m <sup>2</sup> <sup>[5]</sup>  | ca. 900 m <sup>2</sup> <sup>[5]</sup>      |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>   | 164,7 Wp/m <sup>2</sup>  | 123,8 Wp/m <sup>2</sup>                    |
| Nennleistung  | 247 kWp <sup>[3]</sup> <sup>[5]</sup>  | 118 kWp <sup>[3]</sup>                     |
| Jahresertrag  | 237.000 kWh/a <sup>[3]</sup> <sup>[5]</sup>  | 55.000 kWh/a <sup>[3]</sup> <sup>[5]</sup> |
| gesamt:   | 292.000 kWh/a  |  |
| Solarer Deckungsgrad  | 106 % <sup>[5]</sup>   |  |
| Anschluss   | Netzanschluss + Speicher   |  |
| Anzahl Module   | 769 <sup>[3]</sup>   | 348 <sup>[3]</sup>                         |
| Anzahl Wechselrichter   | k. A.  |  |
| <u>Module</u>   |  |  |
| Art   | Glas-Glas  | Glas-Glas                                  |
| Hersteller  | Solarnova  | Solarnova                                  |
| Größe   | 167 x 115 cm   | 210,6 x 130 cm                             |
| Produktbezeichnung  | k. A.  | k. A.                                      |
| Modulwirkungsgrad   | 19,7 % <sup>[3]</sup>  | k. A.                                      |
| Nennleistung  | 245 Wp <sup>[3]</sup>  | 338 Wp <sup>[3]</sup>                      |
| Modulfläche   | 1,95 m <sup>2</sup>  | 2,73 m <sup>2</sup>                        |
| <u>Zellen</u>   |  |  |
| Art   | monokristallin   | monokristallin                             |
| Farbe   | Dunkelblau   | Schwarz                                    |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | hinterlüftet <sup>[5]</sup>  | hinterlüftet <sup>[5]</sup>                |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | k. A.  |  |
| <b>7. Speicherung</b>   | Eine Lithium-Eisen-Phosphat-(LiFePo)-Batterie mit 250 kWh Kapazität sorgt dafür, dass über 50 % des Solarstroms selbst verbraucht werden. <sup>[1]</sup> <sup>[5]</sup> Überschüssiger Strom geht dann zunächst in die Elektromobile und Fahrräder der Carsharing-Station. |  |

## 9.6 Nachweise

### 9.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] Krippner 2016, S. 18.
- [2] SeV 2017, S. 4.
- [3] Wiege/Riegen 2016.
- [4] Solarnova 2015a.
- [5] Schoof 2015a.

### 9.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 9.1: Ansicht (HHS Architekten + Planer AG, unter: <https://www.hhs.ag/projekte-wohnen-aktiv-stadthaus-frankfurt.de.html> [11.07.2021])
- Abb. 9.2: Lageplan (AIS Online/Heinze GmbH, unter: [https://www.ais-online.de/m1/15/12639715/pdf/55/12639755px595\\_x842.pdf](https://www.ais-online.de/m1/15/12639715/pdf/55/12639755px595_x842.pdf) [11.07.2021])
- Abb. 9.3: Grundrisse (AIS Online/Heinze GmbH, unter: [https://www.ais-online.de/m1/15/12639715/pdf/56/12639756px2\\_384x1684.pdf](https://www.ais-online.de/m1/15/12639715/pdf/56/12639756px2_384x1684.pdf) [11.07.2021])
- Abb. 9.4: Querschnitt (AIS Online/Heinze GmbH, unter: [https://www.ais-online.de/m1/15/12639715/pdf/61/12639761px5\\_95x842.pdf](https://www.ais-online.de/m1/15/12639715/pdf/61/12639761px5_95x842.pdf) [11.07.2021])
- Abb. 9.5: Schema Energiefluss (Hegger et al. 2014, S. 59)
- Abb. 9.6: Vergleichsschema solaraktiv nutzbarer Flächen verschiedener Wohnungsbautypologien (Hegger et al. 2014, S. 86)
- Abb. 9.7: Studie Verschattungssituation (Hegger et al. 2014, S. 46)
- Abb. 9.8: Studie zu Ertrag und Flächenausrichtung (Hegger et al. 2014, S. 46)
- Abb. 9.9: Gesamtansicht der Generatorflächen in Dach und Fassade (Espazium/Constantin Meyer, unter: [https://espazium.s3.eu-central-1.amazonaws.com/files/styles/espazium\\_940px\\_height/public/migration/images/5672896bd7f9e.jpg?itok=AeyPWh6m](https://espazium.s3.eu-central-1.amazonaws.com/files/styles/espazium_940px_height/public/migration/images/5672896bd7f9e.jpg?itok=AeyPWh6m) [11.07.2021])
- Abb. 9.10: Analyse Proportionen Südfassade (eigene Darstellung)
- Abb. 9.11: Aufsicht Dach (Herbert Kratzel, unter: [https://www.phovo.de/fileadmin/WPR/Projekte/Frankfurt\\_am\\_Main\\_60\\_327\\_PV-Anlage\\_Speicherstrasse/Frankfurt\\_am\\_Main\\_60327\\_PV-Anlage\\_Speicherstrasse\\_Foto\\_02\\_A\\_GB\\_Herbert\\_Kratzel.jpg](https://www.phovo.de/fileadmin/WPR/Projekte/Frankfurt_am_Main_60_327_PV-Anlage_Speicherstrasse/Frankfurt_am_Main_60327_PV-Anlage_Speicherstrasse_Foto_02_A_GB_Herbert_Kratzel.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 9.12: Ansicht von Südosten (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/elektro/objekte/wohnen/aktiv-stadthaus-in-frankfurt-am-main-4702961/gallery-1/3> [03.08.2021])
- Abb. 9.13: Detailansicht Dach (Wiege/Riegen 2016, S. 25)
- Abb. 9.14: Farbkombiosition Südostfassade (Architekten- und Stadtplanerkammer Hessen, unter: <https://www.akh.de/baukultur/best-practise/nachhaltigkeit-aktiv-stadthaus-in-frankfurt> [08.07.2021])
- Abb. 9.15: Farbkombiosition Nordwest-fassade (Viessmann/Barbara Staubach, unter: <https://www.viessmann.de/de/referenzen/aktiv-stadthaus-in-frankfurt.html> [08.07.2021])
- Abb. 9.16: Detail Materialkomposition (AIS Online/Constantin Meyer, unter: <https://www.ais-online.de/objektreferenz/aktiv-stadthaus/12736074> [08.07.2021])
- Abb. 9.17: Detail Materialkomposition (Detail/Barbara Staubach, unter: [https://www.detail.de/de/de\\_de/die-zukunft-des-wohnens-aktiv-stadthaus-in-frankfurt-13636](https://www.detail.de/de/de_de/die-zukunft-des-wohnens-aktiv-stadthaus-in-frankfurt-13636) [08.07.2021])
- Abb. 9.18: Luftansicht der Umgebung (eigene Aufnahme)
- Abb. 9.19: Blick von Westen (Aktivplus e. V., unter: [https://aktivplusev.de/wp-content/uploads/2018/09/006CM-1351-056\\_2.jpg](https://aktivplusev.de/wp-content/uploads/2018/09/006CM-1351-056_2.jpg) [08.07.2021])
- Abb. 9.20: Blick von Osten (Architekten- und Stadtplanerkammer Hessen, unter: [https://www.akh.de/fileadmin/\\_processed\\_/8/6/csm\\_bk\\_tda15\\_hhs\\_aktivstadthaus\\_bilder\\_ansicht-hafenstrasse01\\_d5439ff677.jpg?\\_=1\\_57562\\_3455](https://www.akh.de/fileadmin/_processed_/8/6/csm_bk_tda15_hhs_aktivstadthaus_bilder_ansicht-hafenstrasse01_d5439ff677.jpg?_=1_57562_3455) [08.07.2021])
- Abb. 9.21: Fassadendetail (Wiege/Riegen 2016, S. 26)
- Abb. 9.22: Maße Modul Fassade (Wiege/Riegen 2016, S. 36)



### 9.6.3 Bibliografie

Eurosolar (2015): European Solar Prize 2015. Broschüre, unter: [https://www.eurosolar.de/wp-content/uploads/2021/08/ESP\\_Ceremony\\_2015\\_web.pdf](https://www.eurosolar.de/wp-content/uploads/2021/08/ESP_Ceremony_2015_web.pdf) [08.07.2021].

Gunßer, Christoph (2018): Das Aktiv-Stadthaus in Frankfurt von HHS Planer + Architekten AG: Aktiv statt passiv, db deutsche bauzeitung online (2018), unter: <https://www.db-bauzeitung.de/db-themen/energie/aktiv-statt-passiv> [07.07.2021].

Hegger, Manfred et al. (2014): Aktiv-Stadthaus: Entwicklungsgrundlage für städtische Mehrfamilienhäuser in Plus-Energie-Bauweise nach EU 2020 und zur Vorbereitung eines Demonstrativ-Bauvorhabens in Frankfurt am Main, Stuttgart, 2014.

Krippner, Roland (2016): Gebäudeintegrierte Solartechnik. Architektur gestalten mit Photovoltaik und Solarthermie, München, 2016.

Schoof, Jakob (2015a): Die Zukunft des Wohnens? Aktiv-Stadthaus in Frankfurt, DETAIL online (15.07.2015), unter: [https://www.detail.de/de/de\\_de/die-zukunft-des-wohnens-aktiv-stadthaus-in-frankfurt-13636](https://www.detail.de/de/de_de/die-zukunft-des-wohnens-aktiv-stadthaus-in-frankfurt-13636) [07.07.2021].

Schoof, Jakob (2015b): Aktiv-Stadthaus in Frankfurt, in: DETAIL Green 02/2015, S. 52-59.

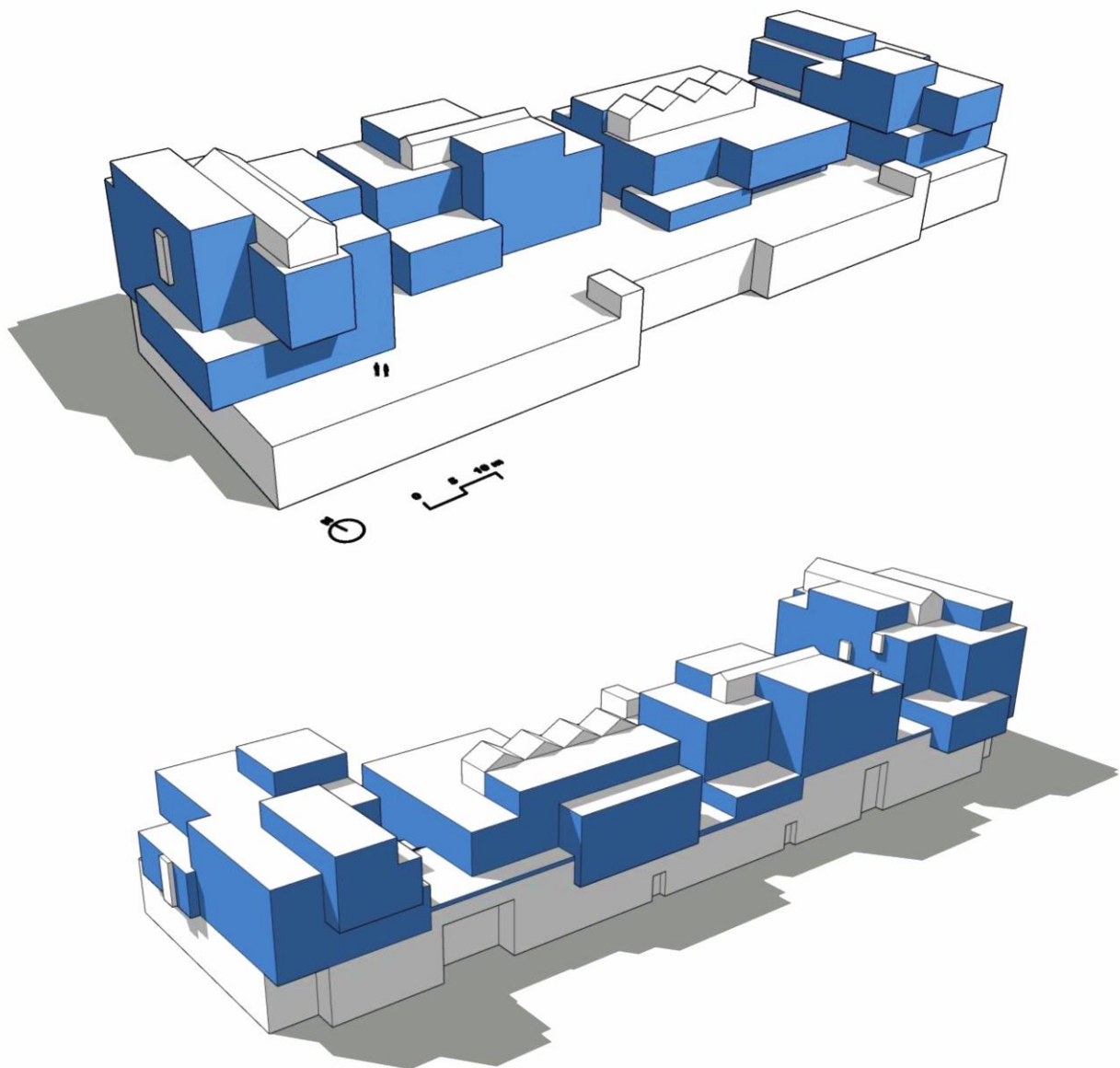
Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse des Wettbewerbs, München.

Solarnova (2015a): Solarnova gewinnt Intersolar Award 2015, Pressemitteilung vom 10.06.2015, unter: [https://www.solarnova.de/files/Inhalte/Presse/20150610\\_PM\\_IntersolarAWARD.pdf](https://www.solarnova.de/files/Inhalte/Presse/20150610_PM_IntersolarAWARD.pdf) [21.06.2017].

Solarnova (2015b): Ästhetik und (Energie)Effizienz sind kein Widerspruch, Pressemitteilung vom Juni 2015, unter: [https://www.solarnova.de/de/presse.html?file=files/Inhalte/Presse/201506\\_PM\\_Aktiv-Stadthaus.pdf](https://www.solarnova.de/de/presse.html?file=files/Inhalte/Presse/201506_PM_Aktiv-Stadthaus.pdf) [21.06.2017].

Wiege, Andreas/Riegen, Heiner v. (2016): Mehr als nur Fassade - BiPV: Aktiv-Stadthaus Frankfurt am Main. Vortragsfolien vom 08.03.2016 im 8. Forum BIPV im Kloster Banz, Bad Staffelstein.

# 10 Copenhagen International School, Nordhavn (DK), 2017



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 10.1 Projektdaten

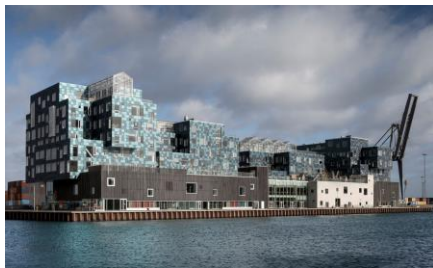


Abb. 10.1: Ansicht



Abb. 10.2: Lageplan

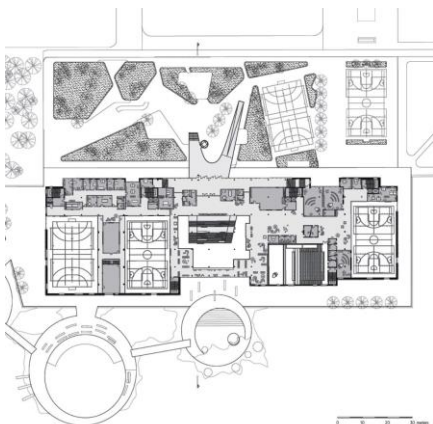


Abb. 10.3: Grundrisse



Abb. 10.4: Querschnitt

| <b>Projekt</b>  |  |
|---|--|
| Name  | Copenhagen International School  |
| Standort  | Nordhavn (DK)  |
| Fertigstellung  | 2017   |
| Gebäudenutzung  | Schulgebäude   |
| <b>Planung</b>  |  |
| Bauftrag  | Ejendomsfonden Copenhagen International School (ECIS)  |
| Architektur   | C. F. Møller Architects, København   |
| Photovoltaik  | Niras, Kopenhagen  |
| <b>BIPV-System</b>  |  |
| Modulart  | Monokristalline Glas-Glas-Module   |
| Anwendungsbereich   | Fassade  |
| Ausrichtung   | 90 °, Nordost/Südost/Südwest/Nordwest (zusätzlich jew. 4 ° rotierend geneigt/gedreht) <sup>[7]</sup> |
| PV-Belegung   | ca. 34 % (6.048 m <sup>2</sup> von ca. 18.000 m <sup>2</sup> ) <sup>[9]</sup>                        |
| Nennleistung  | 720 kWp <sup>[8]</sup> / 730 kWp <sup>[9]</sup>  |
| Jahresertrag  | > 200.000 kWh/a <sup>[6]</sup>   |
| Spezifischer Jahresertrag   | 277,8 kWh/a/kWp  |
| Solarer Deckungsgrad  | > 50 % des Strombedarfs <sup>[2]</sup>   |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |  |
| DBZ 09/2019   |  |
| DETAIL 7+8/2020   |  |
| <b>Wettbewerbe</b>  |  |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017 (Anerkennung)   |  |
| Green GOOD DESIGN Award 2019  |  |
| Active House Award 2018   |  |
| Architecture MasterPrize 2018 (Educational Buildings)   |  |
| Civic Trust Award 2018 (Commendation)   |  |
| ICONIC Award 2017 (Architecture)  |  |
| WAN Education Award 2017 (Regional winner: Best in Europe)  |  |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |  |
| Die Copenhagen International School liegt im Hafengebiet Nordhavns, das derzeit zu einem neuen Stadtquartier im Norden Kopenhagens umgebaut wird und erinnert in ihrer Baukörperperformance an gestapelte Schiffscontainer. Es ist die größte Schule Kopenhagens mit 1.200 Schülern aus 80 Nationen. Das Gebäude ist unterteilt in vier kleinere „Türme“ mit fünf bis sieben Geschossen, die alle auf einem zweigeschossigen Sockel mit Gemeinschaftsflächen angeordnet sind. |  |

## 10.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

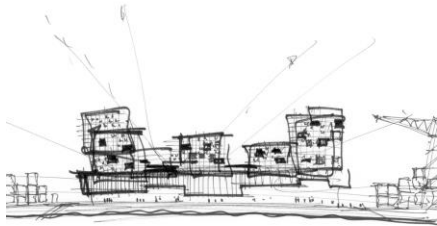


Abb. 10.5: Entwurfsskizze der Architekt/innen

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse des Wettbewerbs:

*„Der neue Schulbau, prominent am Wasser im Hafengebiet Nordhavn gelegen, ist charakterisiert durch eine sehr differenzierte Gliederung der Baumasse, die an gestapelte Schiffs-Container erinnert. Über einer teils verglasten Sockelzone erstrecken sich vor- und zurückspringende Baukörper, deren nahezu quadratische Glaspaneele ein lebhaftes Fassadenbild in hellblau bis türkisgrünen Farbtönen erzeugen. Der technisch und gestalterisch innovative Ansatz: Das speziell beschichtete Deckglas der monokristallinen Module rückt die Photovoltaik in den Hintergrund und ermöglicht neuartige farbige Solarfassaden, indem aufgedampfte Oxidschichten nur einen bestimmten Spektralbereich des Sonnenlichts reflektieren. Zur Akzentuierung der über 6.000 m<sup>2</sup> Fläche sind die 12.000 Module in Metallkassetten unterschiedlich geneigt montiert, sodass die Fassade – je nach Sonneneinstrahlung und Blickwinkel – farbig changiert, obwohl die Module alle die gleiche Farbe haben.“<sup>30</sup>*

C. F. Møller Architects (2020): Projektbeschreibung:

*“The school building’s unique facade is covered in 12,000 solar panels, each individually angled to create a sequin-like effect, which will supply more than half of the school’s annual electricity consumption.”*

SolarLab (2020c): Projektbeschreibung Copenhagen International School:

*“The objective for the school and the BiPV facade design was fundamentally to create the best and most inspiring learning environment. The facade was designed to seamlessly integrate electrical sustainability in a beautiful visual aesthetic that should inspire and delight [...]. This is a new carbon-neutral part of Copenhagen and the schools was the first building in the new development, so we choose a prominent location on the water front and right next to the metrostation. We wanted kids, parents and staff to feel pride and invite the surrounding community to engage and also feel excitement and pride when they saw the building. Designing the BiPV system to support this vision was a key goal and the ever changing character was achieved by individually and randomly tilting the 12.000 custom solarpanels to catch the sunlight slightly differently and therefore reflecting a different colour.”*

Baunetz Wissen (2020): Copenhagen International School:

*„Auffallendstes Merkmal des Neubaus ist die Fassade. Sie setzt sich aus 12.000 Solarmodulen im Format 70 x 70 cm zusammen. [...] Zum Einsatz kam ein neuartiges Solarglas, dessen farbige Front die PV-Technik verdeckt und sich gut in Fassaden integrieren lässt. Das an der Schule verbaute Spezialglas leuchtet je nach Blickwinkel von Meergrün bis Dunkelblau. Der Effekt wird durch die besondere Montage der Solarmodule verstärkt, die in unterschiedliche Richtungen geneigt sind.“*

Schlüter (2019): Integrierte Solarzellen. Copenhagen International School, Kopenhagen/DK, DBZ online (04/2015):

*„In Zusammenarbeit mit den Architekten von C.F. Møller Architects entschieden sich die Bauherren [...] für eine Fassadengestaltung, die das Solarzellensystem in der Fassade fast unsichtbar integriert hat (BiPV).*

*Noch steht sie zwischen Containern und Kränen und je nach Tageszeit und Wetter schimmert sie ebenso wie der vor ihr fließende Öresund in blauen und grünen Farbnuancen: Die Copenhagen International School ist einer der ersten und wohl auch beeindruckenden Bausteine des neuen Stadtteils Nordhavn der dänischen*

<sup>30</sup> SeV 2017, S. 5.

*Hauptstadt. Von weitem mag man den Gebäudekomplex noch in einer Farbe wahrnehmen. Steht man allerdings davor, ist aus der Fläche ein Puzzle aus 12 000 quadratischen Fassadenpaneelen geworden, deren farbiges Wechselspiel man verstehen möchte. ‚Wir wollten der Schule ein Profil geben, das dem Auftrag der Schule entspricht und das auf der Idee einer nachhaltigen Zukunft für die Generationen von morgen basiert.‘ Mads Mandrup Hansen ist einer der acht Partner bei C.F. Møller Architects [...]. ‚Für die Solarmodule haben wir uns in einem sehr späten Stadium des Designprozesses entschieden. Dabei fragten wir uns, warum wir die Paneele nicht in die Architektur integrieren und etwas erschaffen, das sowohl ein starkes Signal erzielt, als auch im Unterricht der Schüler verwendet wird.‘, erklärt Mads Mandrup den Gedankengang zur Energiefassade. [...] Das Format hatte genau die passende Größe für das Puzzeln mit den Fensteröffnungen und für das Volumen des gesamten Gebäudes. [...] Um die gesamte Fassadengestaltung zu bestimmen, haben wir einen Algorithmus verwendet, der auch die Gesamtformate der Fenster berücksichtigt,‘ erklärt Mads Mandrup das scheinbar zufällige Winkelspiel der Solarpaneele. [...] ‚Wir wollten, dass die Kinder sofort ein Verständnis für das System haben. Daher hofften wir, dass die Belichtung der Photovoltaikzellen und die Verspieltheit der Farben und Neigungen der Paneele zu ihrer Neugier beitragen würden. Es war eine sehr positive Erfahrung, den Schülern zu helfen, die Fassade sowohl als Design als auch als Potential für eine positive Beeinflussung unserer Umwelt zu schätzen,‘ erinnert sich Mads Mandrup.“*

Schoof (2017): „Photovoltaik als Pixelbild: Internationale Schule in Kopenhagen“, DETAIL online (26.09.2017):

*„Jetzt prägen 12.000 Photovoltaikpaneele im Einheitsformat 70 x 70 cm das kleinteilig verpixelte Fassadenbild. [...] Einzigartig ist diese Fassade vor allem durch ihre Farbwirkung: Je nach Blickwinkel und Solarertrag changiert sie von türkisgrün bis dunkelblau. [...] Weil die Glasbeschichtung auf dem Prinzip der Interferenz basiert, ändert sich die Farbwirkung mit dem Blickwinkel leicht. Um diesen Effekt zu unterstützen, ließen die Architekten die Module auf 4° abgeschrägte Metallkassetten montieren, die abwechselnd auf- oder abwärts, nach rechts oder links geneigt sind.“*

Die Beschreibungen des Gebäudes unterstreichen deutlich den „lebhaften“, „einzigartigen“, „verspielten“ und „leuchtenden“ Charakter der Fassade, die in zahlreichen, changierenden Farben „schimmert“ und Assoziationen von „Fischschuppen“ über „Wasser“ bis hin zu „Pailletten“ weckt. Gleichzeitig erscheint die eigentliche BIPV-Integration „in den Hintergrund gerückt“, „verdeckt“ und „fast unsichtbar“. Insgesamt sendet die auffällige Fassade „ein starkes Signal“, „weckt Aufmerksamkeit“ und „regt Neugierde an“. Dass es sich um eine BIPV-Integration handelt, lässt sich allerdings erst aus allernächster Nähe erahnen.



## 10.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

### 10.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 10.6: Ansicht Südfassade



Abb. 10.7: Ansicht Fassade



Abb.10.8: Analyse Proportionen Fassade

#### Proportionale Bezüge

Der Generator belegt alle Flächen der Fassade der Geschosse oberhalb des Sockels außer den Flachdächern und den teilweise sichtbaren Unterseiten. Der gesamte Entwurf ist von einer quadratischen Modularität geprägt, die sich sowohl auf die Baukörperformulierung und Grundrissgestaltung als auch auf die Flächenproportionen, die Gliederung der Flächen und ihre Öffnungen bezieht. Die quadratischen Module sind exakt auf diese Organisation abgestimmt. Auch die Zellen selbst sind quadratisch, sind durch die Beschichtungstechnik als solche aber nur aus aller-nächster Nähe erkennbar.

#### Flächenintegrität

Die rechtwinkligen Flächengeometrien der Fassaden sind vollflächig ausgelegt mit Modulen. Alle Öffnungen und Modulgrößen sind aufeinander abgestimmt. Die Rahmen der Module sind so fein, dass sie als solche nicht in den Vordergrund treten. Die Vorderkante der Module ist an ihrem höchsten Punkt jeweils flächenbündig mit den Fenstern und anderen Öffnungen. Die oberflächliche Bewegung des Fassadenflächen, die durch die unterschiedlichen Neigungen der Module entsteht, dient der leichten Strukturierung und Rhythmisierung der Fassadenoberflächen.

#### Formprägung

Die gegenseitige Formprägung ist sehr ausgewogen. Das Gebäude ist hinsichtlich seiner modularen Fassadengliederung auf die Größe der Module angepasst, nicht aber z. B. bezüglich seiner Ausrichtung und Neigung. Die Module wiederum werden ausschließlich in ihrer „Standard“-Form verwendet, dafür aber auch an weniger gut ausgerichteten Stellen.

#### Abgestimmte Flächenanteile

6.048 m<sup>2</sup> BIPV-Fläche <sup>[9]</sup> stehen ca. 18.000 m<sup>2</sup> Gebäudeoberfläche insgesamt gegenüber, die BIPV hat also einen Anteil von ca. 34 %.

Die Maßverhältnisse zwischen Generatorflächen und Modulen auf der einen und den Flächen und übrigen Elementen der Gebäudehülle sind exakt aufeinander abgestimmt und die Flächenintegrität ist klar gewahrt. In Bezug auf die Formprägung und die jeweiligen Flächenanteile erscheint die BIPV dagegen ausgewogen. Insgesamt ergibt sich eine unauffällig bis ausgewogen gestaltprägende Integration.



### 10.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 10.9: Ansicht von Norden



Abb. 10.10: Ansicht Fassade mit Personen

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Der Gesamtgenerator ist im Größenvergleich anderen Flächen der Gebäudehülle ähnlich. Die Generatorgliederung dagegen erscheint durchaus „kleinpixelig“.<sup>[7]</sup> Im Vergleich mit vielen anderen Elementen der Fassaden sind die Module das kleinste Grundmodul, Fenster und Öffnungen dementsprechend jeweils Vielfache.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

In Bezug auf menschliche Maßstäbe sind der Generator und die übrigen Teile der Gebäudehülle in ihrer Maßstäblichkeit aufeinander abgestimmt und wirken als Solarfassade mit 70 x 70 cm großen Einzelementen weder unter- noch überdimensioniert.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Gemessen an üblichen Fassadenverkleidungen bspw. aus Metallblechen sind die Module eher kleinmaßstäblich dimensioniert.

Die BIPV ist im Vergleich mit den anderen Bestandteilen der Gebäudehülle ähnlich bis etwas kleinmaßstäblicher gestaltet und erscheint diesbezüglich im Hinblick auf ihre Gestaltprägung insgesamt unauffällig bis ausgewogen.



### 10.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 10.11: Farbkombi Fassade



Abb. 10.12: Changierende Farbigeit der BIPV

#### Abgestimmte Farbtöne

Obwohl alle Module grundsätzlich die gleiche Farbe haben, erscheinen sie durch variierende Montagewinkel und abhängig von Blickwinkel und Sonneneinfall unterschiedlich farbig von „meergrün bis dunkelblau“.<sup>[2]</sup> In der Kombination mit den übrigen Materialien der Fassade wie dem beige Klinker und den Holz-Elementen können so durchaus komplementäre Kontraste entstehen.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Die Farbhelligkeiten variieren unter bestimmten Lichtsituationen noch stärker als die Farbtöne. In der Komposition aller Farben können so starke Helligkeitskontraste entstehen.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Auch die Farbsättigung variiert in unterschiedlichen Lichtsituationen. Die leuchtenden Farben der BIPV bilden einen deutlichen Kontrast zu den Materialien der unteren Geschosse und heben sich hierdurch ebenfalls von diesen ab.

Das gesamte Gebäude ist farblich kontrastreich gestaltet. Die BIPV ordnet sich dabei spezifischen Flächen zu und tritt insgesamt ausgewogen bis auffällig gestaltprägend in Erscheinung.



### 10.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 10.13: Materialkomposition



Abb. 10.14: Detailsicht Module

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Die PV-Elemente sind eindeutig den opaken Teilen der Fassade zugeordnet und erscheinen im Zusammenspiel mit den transparenten Fensteranteile ausgewogen abgestimmt.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Der Glanzgrad der BIPV ist reduziert und steht dennoch in einem deutlichen Kontrast zu dem matten Sockelgeschoss.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Die Oberflächen der oberen Geschosse sind überwiegend glatt, die des Sockelgeschosses rau.

Bezüglich der materiellen Komposition hebt sich der Generator in seinen Eigenschaften leicht von den Materialien der übrigen Fassade ab. Glatte, leicht glänzende Glasoberflächen stehen matten Klinker- und Holzoberflächen gegenüber. Dennoch wirken die Materialien durchaus ausgewogen aufeinander abgestimmt.



### 10.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 10.15: Luftaufnahme aus Südwest

#### Farbliche Bezüge

Farbliche Bezüge der BIPV bestehen insbesondere in ihrer Ähnlichkeit zu der vielfältigen Erscheinung von Wasser-Farbtönen oder weiter gefassten Assoziationen zu der Farbe von Fischen und anderen Meereslebewesen. Auch zwischen den übrigen Materialien der Fassade und der Umgebung existieren farbliche Bezüge.

#### Materielle Bezüge

Auch materiell greifen die Module in ihrer metallischen Anmutung zahlreiche Bezüge der heterogenen Umgebung auf, die von Schiffscontainern, über Hafenkranen bis hin zu Schiffen oder den Fassadenmaterialien umliegender Lagergebäude reichen.

#### Formale Bezüge

Die Bezüge zu Formationen der Umgebung sind zahlreich. In der Gestaltungsweise der BIPV-Fassade können z. B. Analogien zu einer bewegten Wasseroberfläche oder den Schuppen von Fischen bis hin zu gestapelten Schiffscontainern gesehen werden.

Die BIPV zeigt in ihrer Gestaltung viele farblich, materiell und formal ähnliche Bezüge zu ihrer näheren Umgebung. Von den Fassaden der bisher wenigen benachbarten Gebäuden hebt sie sich eher ab und prägt die Gestalt des Gebäudes diesbezüglich insgesamt ausgewogen bis auffällig.





Abb. 10.16: Luftaufnahme aus Norden



### 10.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 10.17: Musterwirkung der unterschiedlich geneigten Module

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Sowohl durch die Anordnung der Module als auch durch deren unterschiedliche farbliche Komposition entsteht eine deutliche Musterwirkung an der Fassade.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Die Solarmodule in der Fassade symbolisieren nicht nur das grüne Profil der Schule, sie sind auch fester Bestandteil des Lehrplans. Die Schüler können die Energieerzeugung überwachen und gewonnene Daten werden im Physik- und Mathematikunterricht verwendet.



Abb. 10.18: Musterwirkung der unterschiedlich farbig erscheinenden Module

Sowohl in ihrer ornamentalen als auch in ihrer symbolischen Wirkung ist die BIPV auf die übrigen, diesbezüglich eher zurückhaltenden Elemente der Fassade und die Nutzung des Gebäudes abgestimmt und erscheint unauffällig.



### 10.4 Funktionen der BIPV-Anlage

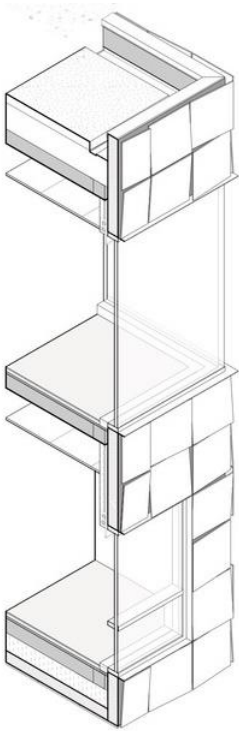
|   |  |   |
|---|--|---|
|  | <b>Stromproduktion</b>                                 | Die Anlage produziert mehr als 200.000 kWh/a und kann damit über 50 % der benötigten Energie pro Jahr abdecken. |
|   | <b>Witterungsschutz</b>                                | Die Module sind oberhalb der Abdichtungsschicht angeordnet und schützen diese vor der Witterung.                |
|   | <b>Schallschutz</b>                                    | Als Teil der Fassade dient die PV-Anlage auch als zusätzlicher Schallschutz.                                    |
|   | <b>Atmosphärische Effekte</b>                          | Reflexionen zwischen den Einzelflächen der Fassade erzeugen interessante Lichtspiele.                           |
|   | <b>Unterstützung aktiver Lüftungs-/Kühlungssysteme</b> | In Zeiten höchster Sonneneinwirkung unterstützt die PV-Anlage das aktive Lüftungssystem.                        |

Abb. 10.19: Isometrie des Fassadenaufbaus

### 10.5 Systemtechnik

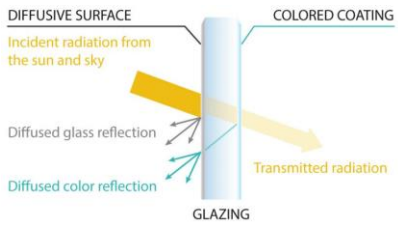
|   |   |  |
|---|---|--|
|  | <b>1. Standort</b>                      | 55° 42' N / 12° 35' O  |
|   | <b>2. Neigung und Orientierung</b>      | 90 °, Nordost/Südost/Südwest/Nordwest (zusätzlich jew. 4 ° abgeneigt/abgedreht) <sup>[7]</sup> |
|   | <b>3. Verschattung</b>                  | teilweise (selbst-)verschattet   |
|   | <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b> |  |
|   | <u>Gesamtsystem</u>                     |  |
|   | Anwendungsbereich                       | Fassade  |
|   | PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 34 %   |
|   | PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 6.048 m <sup>2</sup> <sup>[6]</sup> <sup>[9]</sup>   |
|   | Nennleistung/m <sup>2</sup>             | 119,0 Wp/m <sup>2</sup>  |
|   | Nennleistung                            | 720 kWp <sup>[8]</sup>   |
|   | Jahresertrag                            | > 200.000 kWh/a <sup>[6]</sup>   |
|   | Solarer Deckungsgrad                    | > 50 % des Strombedarfs <sup>[2]</sup>   |
|   | Anschluss                               | Netzanschluss  |
|   | Anzahl Module                           | 12.000 <sup>[4]</sup>  |
|   | Anzahl Wechselrichter                   | k. A.  |
|   | <u>Module</u>                           |  |
|   | Art                                     | Monokristalline, rahmenlose, Glas-Glas-Module  |
|   | Hersteller                              | in Labors der EPF Lausanne   |

Abb. 10.20: Schema Oberflächenbehandlung

| Colour     | Solar transmittance |
|------------|---------------------|
| Grey       | 90 +/- 1 %          |
| Light-Grey | 85 +/- 1 %          |
| Blue       | 88 +/- 1 %          |
| Blue-green | 88 +/- 1 %          |
| Green      | 87 +/- 1 %          |
| Bronze     | 89 +/- 1 %          |
| Gold       | 86 +/- 1 %          |
| Terracotta | 87 +/- 1 %          |

Abb. 10.21: Übersicht Farbigkeit und Effizienzverlust

|   |   |  |
|---|---|--|
|  |   | entwickelt, <sup>[1]</sup> hergestellt von Emirates Insolaire <sup>[7] 31</sup>  |
|   | Größe   | 70 x 70 cm   |
|   | Produktbezeichnung  | Maßgefertigte Solarlab/Swiss-INSO Module mit Kromatix Solar Glas   |
|   | Modulwirkungsgrad   | k. A.  |
|   | Nennleistung  | k. A.  |
|   | Modulfläche   | 6.048 m <sup>2</sup> <sup>[6] [9]</sup>  |
|   | <u>Zellen</u>   |  |
|   | Art   | monokristallin   |
|   | Farbe   | „Meergrün bis Dunkelblau“ <sup>[2]</sup>   |
|   | <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | hinterlüftet   |
|   | <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | Für einen optimalen Ertrag wurde das elektrische Layout der Anlage sorgfältig designt und abgestimmt und u.a. Mikro-Wechselrichter verwendet, die die Panels nach ihren Schattenbedingungen gruppieren. <sup>[9]</sup> |
|   | <b>7. Speicherung</b>   | Netzanschluss  |

Abb. 10.22: Schema Aufbau Module



Abb. 10.23: Modultechnik im Test

## 10.6 Nachweise

### 10.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] Knüsel 2017.
- [2] Baunetz Wissen 2020.
- [3] Krippner 2018, S. 21-22.
- [4] SeV 2017, S. 5.
- [5] Schlüter 2019.
- [6] Archdaily 2017.
- [7] Schoof 2017.
- [8] Cenergia 2018.
- [9] SolarLab 2020a.

### 10.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 10.1: Ansicht (DBZ/Adam Mørk, unter: [https://www.dbz.de/artikel/dbz\\_Copenhagen\\_Inter\\_natio\\_nal\\_School\\_Kopenhagen\\_DK\\_3419295.html](https://www.dbz.de/artikel/dbz_Copenhagen_Inter_natio_nal_School_Kopenhagen_DK_3419295.html) [11.07.2021])
- Abb. 10.2: Lageplan (Archdaily/C.F. Møller Danmark A/S, unter: [https://images.adsttc.com/media/images/59af/6e63/b22e/38c9/7e00/0196/slideshow/Siteplan\\_1-2000.jpg?1504669259](https://images.adsttc.com/media/images/59af/6e63/b22e/38c9/7e00/0196/slideshow/Siteplan_1-2000.jpg?1504669259) [13.07.2021])
- Abb. 10.3: Grundrisse (Archdaily/C.F. Møller Danmark A/S, unter: [https://images.adsttc.com/media/images/59af/6d48/b22e/38b8/4100/00bc/slideshow/First-floor\\_1-200.jpg?1504668946](https://images.adsttc.com/media/images/59af/6d48/b22e/38b8/4100/00bc/slideshow/First-floor_1-200.jpg?1504668946) [13.07.2021])
- Abb. 10.4: Querschnitt (Archdaily/C.F. Møller Danmark A/S, unter: [https://images.adsttc.com/media/images/59af/6cc6/b22e/38b8/4100/00b7/slideshow/Cross-section\\_1-200.jpg?1504668848](https://images.adsttc.com/media/images/59af/6cc6/b22e/38b8/4100/00b7/slideshow/Cross-section_1-200.jpg?1504668848) [13.07.2021])

<sup>31</sup> Die Farbe der Solarzellenfassade entsteht durch die Lichtbrechung in einem optischen Gitter, einer Technologie namens Kromatix™. SolarLab arbeitet mit Swiss INSO zusammen, die das Patent Kromatix™ besitzt. Mehr dazu unter: <https://byggeri-arkitektur.dk/Energiproducerende-facader-et-vigtigt-bidrag-til-baeredygtigt-byggeri> [02.09.2020].

- Abb. 10.5: Entwurfsskizze der Architekt/innen (C.F. Møller Danmark A/S, unter: <https://www.cfmoller.com/img/intra/Copenhagen-International-School-Nordhavn-C-F-Moeller-img-62045-w1900-h988-tD.jpg> [11.07.2021])
- Abb. 10.6: Ansicht Südfassade (eigene Aufnahme)
- Abb. 10.7: Ansicht Fassade (C.F. Møller Danmark A/S, unter: <https://www.cfmoller.com/img/Danish-Event-Skoler-for-fre-ntiden-C-F-Moeller-img-8778-w900-h1000.jpg> [11.07.2021])
- Abb. 10.8: Analyse Proportionen Fassade (eigene Darstellung)
- Abb. 10.9: Ansicht von Norden (eigene Aufnahme)
- Abb. 10.10: Ansicht Fassade mit Personen (Detail/Adam Mørk, unter: <https://detail-cdn.s3.eu-central-1.amazonaws.com/media/catalog/product/C//CIS-CFMoller-06-photo-by-Adam-Moerk.jpg> [11.07.2021])
- Abb. 10.11: Farbkomposition Fassade (eigene Aufnahme)
- Abb. 10.12: Changierende Farbigkeit der BIPV (eigene Aufnahmen)
- Abb. 10.13: Materialkomposition (eigene Aufnahme)
- Abb. 10.14: Detailansicht Module (Produktdaten, unter: <https://www.produktfakta.no/vare-prosjekter-i-inn-og-utland-1196-322/fil-files/solarlab-downloads-98.jpg> [11.07.2021])
- Abb. 10.15: Luftaufnahme aus Südwest (C.F. Møller Danmark A/S, unter: <https://www.cfmoller.com/img/C-F-Moeller-Architects-wins-international-award-with-new-Danish-school-C-F-Moeller-img-8248-w1300-h992.jpg> [11.07.2021])
- Abb. 10.16: Luftaufnahme aus Norden (eigene Aufnahme)
- Abb. 10.17: Musterwirkung der unterschiedlich geneigten Module (C.F. Møller Danmark A/S, unter: <https://www.cfmoller.com/img/Copenhagen-International-School-wins-Green-Good-Design-Award-C-F-Moeller-img-9978-w800-h987.jpg> [11.07.2021])
- Abb. 10.18: Musterwirkung der unterschiedlich farbig erscheinenden Module (Pinterest/Lifegate, unter: <https://i.pinimg.com/564x/ae/9c/47/ae9c477e67c01b8553bbb305dd671e4d.jpg> [13.07.2021])
- Abb. 10.19: Isometrie des Fassadenaufbaus (SolarLab 2020c)
- Abb. 10.21: Schema Oberflächenbehandlung (Kromatix, unter: <http://innovicintl.com/wp-content/uploads/2015/09/Emirates-Insolaire-Brochure.pdf> [13.07.2021])
- Abb. 10.22: Übersicht Farbigkeit und Effizienzverlust (Kromatix, unter: <http://innovicintl.com/wp-content/uploads/2015/09/Emirates-Insolaire-Brochure.pdf> [13.07.2021])
- Abb. 10.23: Schema Aufbau Module (Kromatix, unter: [https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/59f3bdb10abd04\\_6932694051/1517520062345-2FB9QVZ7DN9QHVVW7TP8/Kromatix\\_Blue\\_on\\_black\\_90.png](https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/59f3bdb10abd04_6932694051/1517520062345-2FB9QVZ7DN9QHVVW7TP8/Kromatix_Blue_on_black_90.png) [13.07.2021])
- Abb. 10.24: Modultechnik im Test (SolarLab 2020b, S. 2)

### 10.6.3 Bibliografie

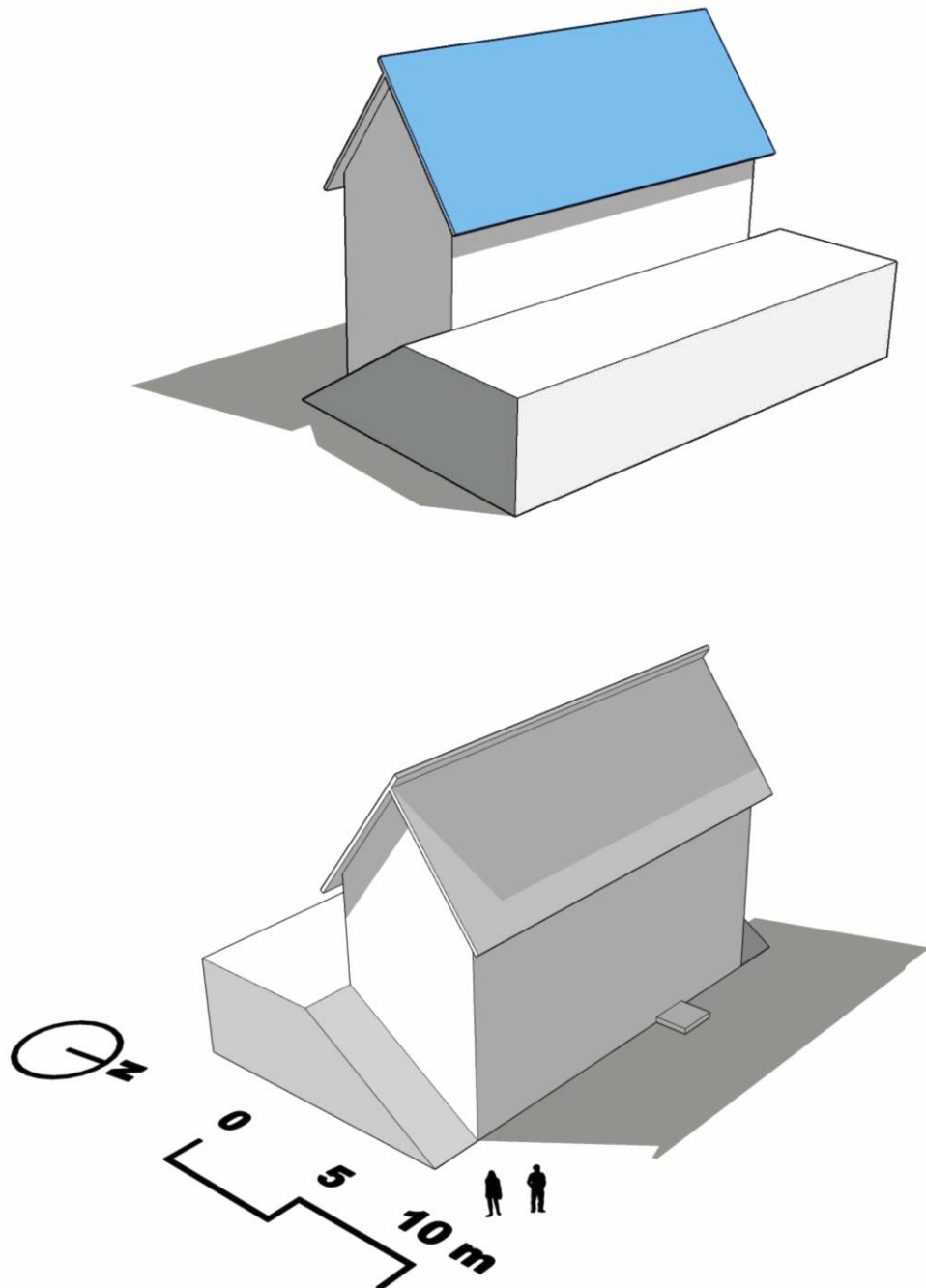
- Archdaily (2017): Projects. Copenhagen International School Nordhavn/C.F. Møller, Archdaily.com (07.09.2017), unter: <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller> [02.09.2020].
- Baunetz Wissen (2020): Copenhagen International School. Photovoltaik-Fassade deckt mehr als fünfzig Prozent des Strombedarfs, unter: <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/objekte/kultur-bildung/copenhagen-international-school-5192420> [02.09.2020].
- Cenergia (2018): Smarter Building E-Book, unter: <http://www.activehouserootsandfacades.com/wp-content/uploads/2018/03/Smart-Building-e-book.pdf> [02.09.2020].
- C. F. Møller Architects (2020), Projektbeschreibung, unter: <https://www.cfmoller.com/p/Copenhagen-International-School-Nordhavn-i2956.html> [02.09.2020].
- Knüsel, Paul (2017): Wer hat Angst vor Solarfassaden?, in: TEC21 48/2017, S. 18-23.
- Krippner, Roland (2018): Solarenergie und Baukultur - Ausgezeichnete Projekte aus dem SeV-Wettbewerb „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017“. Vortragsfolien vom 24.04.2018 im 10. Forum BIPV im Kloster Banz, Bad Staffelstein.
- Schlüter, Mariella (2019): Integrierte Solarzellen. Copenhagen International School, Kopenhagen/DK, in: DBZ Deutsche BauZeitschrift online (09/2019), unter: [https://www.dbz.de/artikel/dbz\\_Copenhagen\\_International\\_School\\_Kopenhagen\\_DK\\_3419295.html](https://www.dbz.de/artikel/dbz_Copenhagen_International_School_Kopenhagen_DK_3419295.html) [09.07.2021].
- Schoof, Jakob (2017): Photovoltaik als Pixelbild: Internationale Schule in Kopenhagen, DETAIL online (26.09.2017), unter: <https://www.detail.de/artikel/photovoltaik-als-pixelbild-internationale-schule-in-kopenhagen-30884> [02.09.2020].
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse des Wettbewerbs, München.

SolarLab (2020a): Factsheet, unter: [https://solarlab.dk/wp-content/uploads/20200317\\_CIS\\_UK.pdf](https://solarlab.dk/wp-content/uploads/20200317_CIS_UK.pdf) [02.0.2020].

SolarLab (2020b): TecSheet, unter: <https://solarlab.dk/wp-content/uploads/SolarLabTechnic.pdf> [02.0.2020].

SolarLab (2020c): Projektbeschreibung Copenhagen International School per Mail erhalten von Anders Smith von SolarLab.

## 11 Wohnhaus Schneller Bader, Tamins (CH), 2016



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 11.1 Projektdaten



Abb. 11.1: Ansicht



Abb. 11.2: Lageplan

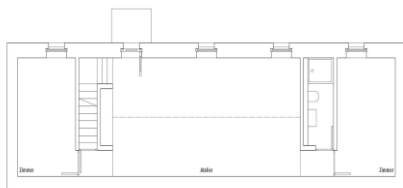


Abb. 11.3: Grundriss EG

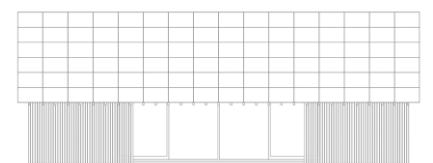


Abb. 11.4: Ansicht Süd

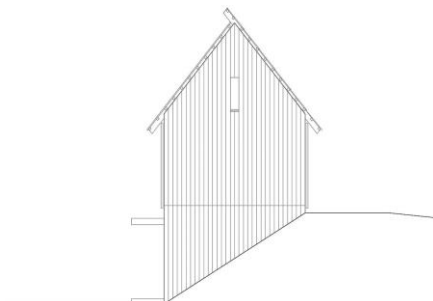


Abb. 11.5: Ansicht West

| <b>Projekt</b>  |   |
|---|---|
| Name  | Wohnhaus Schneller Bader  |
| Standort  | Tamins (CH)   |
| Fertigstellung  | 2016  |
| Gebäudenutzung  | Wohngebäude   |
| <b>Planung</b>  |   |
| Bauftrag  | Georgina Schneller und Sascha Bader                             |
| Architektur   | Bearth & Deplazes Architekten, Chur                             |
| Photovoltaik  | Bouygues E&S InTec Schweiz AG, Geschäftseinheit Helion, Zuchwil |
| <b>BIPV-System</b>  |   |
| Modulart  | Monokristalline PV-Module                                       |
| Anwendungsbereich   | Dach <sup>[1][2]</sup>  |
| Ausrichtung   | 45 °, Süd <sup>[2][3]</sup>                                     |
| PV-Belegung   | ca. 22 % (108 m <sup>2</sup> von ca. 500 m <sup>2</sup> )       |
| Nennleistung  | 17.3 kWp <sup>[1][2]</sup>                                      |
| Jahresertrag  | 22.800 kWh/a <sup>[1][2]</sup>                                  |
| Spezifischer Jahresertrag   | 1.317,92 kWha/kWp   |
| Solarer Deckungsgrad  | 144 % <sup>[1]</sup>  |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |   |
| TEC21 46+47/2017  |   |
| DETAIL 05/2018  |   |
| <b>Wettbewerbe</b>  |   |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017 (Anerkennung)   |   |
| Schweizer Solarpreis 2017   |   |
| Norman-Foster-Solar-Award 2017  |   |
| Callwey „Häuser des Jahres“ 2018 (Auszeichnung)   |   |
| Raiffeisen „Das beste Einfamilienhaus“ 2018 (Gewinner Sonderpreis Energie)  |   |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |   |
| Das Einfamilienhaus Schneller Bader liegt am Rande eines Hofes zentral in Tamins und ist in einen Hang eingebettet. Zum Hof zwei-, zum Garten eingeschossig gestaltet, soll der reduzierte Baukörper mit dem großen, ausragenden Satteldach an einen Schiffsrumpf mit Segel erinnern. Das einseitig mit PV bestückte Dach erzeugt 144 % der benötigten Energie. |   |

## 11.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters



Abb. 11.6: Südansicht bei Abend

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse des Wettbewerbs:

„Für den Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser stellt das Photovoltaikdach des Wohnhauses in Tamins eine beispielhafte Lösung dar. Den langgestreckten und schmalen Baukörper kennzeichnet eine klare Formensprache mit reduzierter Materialästhetik. Die südorientierte Dachfläche (108 m<sup>2</sup>) ist vollflächig mit monokristallinen PV-Modulen (17,28 kW) auf einer Unterkonstruktion aus Holz belegt, die im Bereich von Traufe und Ortgang ablesbar ist. Die Solartechnik harmoniert ebenso mit der leicht abgesetzten Dachfläche mit Wellplatten-Deckung, wie mit den Sichtbetonflächen und der offenen vertikalen Holzschalung.“<sup>32</sup>

Solar Agentur Schweiz (SAS) (2017): 27. Schweizer Solarpreis 2017: Die beste Schweizer Solararchitektur:

„Das Wohnhaus in Tamins von Bearth und Deplazes überzeugte mit einer starken Idee und der qualitätsvollen Architektur und Umsetzung, auch in den Details. Die dachflächenintegrierte PV-Anlage auf der Südseite des schmalen Gebäudes mit Satteldach wirkt selbstverständlich, leicht und ästhetisch. Die Leichtigkeit der Solarpaneele wird im Überstand und First des Daches auf einfache Weise sichtbar gemacht. Das Weglassen von Dachrinne, Traufblech und Ortabschluss erzeugt eine fast magische Wirkung der Paneele. Diese konstruktive Einfachheit zusammen mit der Verwendung von Holz als Baumaterial sind eine schlüssige Referenz an den örtlichen Kontext.“

Solt (2017): Es muss nicht immer hässlich sein, TEC21 46+47/2017:

„Das neue Wohnhaus steht im weitgehend intakten Ortsbild von Tamins und fügt sich mit seinem klaren, schlichten Ausdruck in den Kontext ein. Die geschosshohen, gesprengten Holzschiebeläden sind aus sägerohren Tannenbrettern gefertigt, das stilisierte Satteldach ist mit Photovoltaikpaneelen und Eternitplatten gedeckt.“

Bearth & Deplazes Architekten AG (2020): Projektbeschreibung. Haus Schneller Bader, Tamins:

„Zwischen einem Gehöft und freiem Feld, in einer topografischen Kante, liegt das lange und sehr schmale Haus [...]. [...] darüber spannt sich das Dach über den offenen Wohnraum wie die Take-lage über das Schiffsdeck [...].“

Die verschiedenen Beschreibungen heben insbesondere die „Einfachheit“, „Klarheit“, „Schlichtheit“ und „Ablesbarkeit“ der BIPV-Integration hervor. Das von den Architekt/innen selbst in Schiffs-Analogien beschriebene Konzept erscheint als „leicht und ästhetisch“. Auch das harmonische Zusammenwirken mit den übrigen Materialien der Gebäudehülle und das „schlüssige Einfügen in den Kontext“ werden betont. Insgesamt fügt sich die BIPV gleichberechtigt und ausgewogen ein.



<sup>32</sup> SeV 2017, S. 6.



## 11.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

### 11.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 11.7: Ansicht Süd

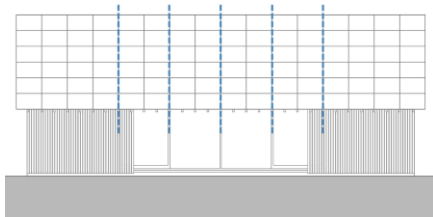


Abb. 11.8: Analyse gemeinsame Ordnungslinien Dach und Fassade



Abb. 11.9: Detail Giebel

#### Proportionale Bezüge

Der Generator ist rechteckig dimensioniert. Er nimmt genau die südliche Hälfte des Satteldaches ein und erscheint in der Ansicht ähnlich groß wie die südliche Fassade. Die Generatorfläche ist klar orthogonal gegliedert durch die einzelnen rechteckigen Module in liegendem Format. Sie korrespondiert mit der zweiten Dachfläche, die mit Wellblech-Elementen belegt und ähnlich gegliedert ist, wenn auch mit größeren Formaten. Die Binnengliederung ist auch auf die Verglasung der Südfassade abgestimmt. Einzelne Zellen der monokristallinen Module sind nur aus kürzerer Distanz erkennbar.

#### Flächenintegrität

Der Generator ist ganz auf den südlichen Teil des Daches bezogen und füllt diese Fläche vollständig aus. Durch ihr Herausragen über die Gebäudekanten, ist die Dachfläche gegenüber den anderen Flächen hervorgehoben und akzentuiert. Dachdurchdringungen sind auf die nördliche Satteldachfläche beschränkt. Passend zu der reduzierten Baukörpergestaltung ist auch die Konstruktion der PV-Anlage sehr schlicht gehalten und verzichtet bewusst auf einfassende Rahmenteile für die Dachfläche. Durch die Rahmenlosigkeit der Module und die sehr feinen, vertikalen Schienenprofile können Rastereffekte, die die Flächenintegrität beeinflussen würden, weitestgehend verhindert werden. Dadurch, dass für beide Seiten des Daches dieselbe Unterkonstruktion verwendet wurde, und diese an den Giebelkanten sichtbar offen gestaltet ist, ist die Flächenbündigkeit der PV-Anlage gut ablesbar.

#### Formprägung

Das geneigte Dach entspricht optimal den Anforderungen der PV, das aber nicht weiter angepasst wurde z. B. hinsichtlich einer Vergrößerung der südlich ausgerichteten Flächen o.ä.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Der Anteil der PV-Fläche liegt mit 108 m<sup>2</sup> gegenüber der Gesamtgebäudeoberfläche von ca. 500 m<sup>2</sup> bei ca. 22 %.

Maß- und Mengenverhältnisse zwischen solaren Bauteilen und den übrigen Elementen der Gebäudehülle sind sorgfältig aufeinander abgestimmt. Bezogen auf den Grad der Gestaltprägung erscheint die BIPV insgesamt ausgewogen.



### 11.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 11.10: Ansicht südliche Dachfläche



Abb. 11.11: Ansicht nördliche Dachfläche

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Der Generator ist in seiner Größe auf die Größe anderer Flächen der Gebäudehülle abgestimmt und ähnlich groß wie z. B. die Nordfläche des Daches oder die südliche Fassadenfläche. In seiner Binnengliederung ist er maßstäblich auf die nördliche Dachfläche abgestimmt und auch auf die übrigen Fassadenmaterialien.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Für menschliche Maßstäbe sind die Module mit einer Größe von 130 x 87,5 cm eher großformatige Bauteile. Im Zusammenspiel mit großen Fenster- und Fassadenflächen wird aber insgesamt eine ausgewogene Komposition der Elemente erzeugt.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Auch für bauübliche Maßstäbe sind die PV-Elemente in ihrer Größe für den Dachbereich eher großmaßstäblich abgestimmt.

In ihrer Maßstäblichkeit ist die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle sowie menschliche und bauübliche Maßstäbe abgestimmt und erscheint hinsichtlich ihrer Gestaltprägung insgesamt ausgewogen bis auffällig.



### 11.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 11.12: Farbkomposition Ansicht aus Süden



Abb. 11.13: Farbkomposition Ansicht aus Norden

#### Abgestimmte Farbtöne

Der Farbton der PV-Bauteile und aller ihrer Bestandteile ist einheitlich anthrazit-schwarz gehalten und harmonisiert monochrom mit der Nordseite des Daches, analog mit der nördlichen Betonfassade des Erdgeschosses und komplementär mit der Holzfassade des oberen Geschosses.

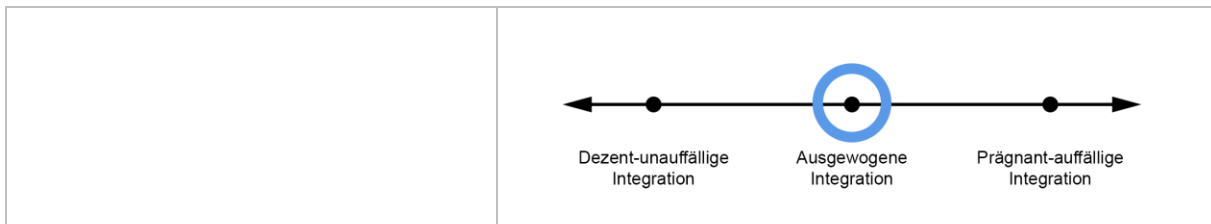
#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Die Farbhelligkeit des Daches ist einheitlich deutlich dunkler als die Fassaden, während die Betonfassade noch etwas heller erscheint als die Holzfassade. So steht eine überwiegend dunkle BIPV einer hellen Beton- und Holzfassade gegenüber und bildet einen hell-dunkel-Kontrast.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Die Farbsättigung betreffend weicht nur die Holzfassade, je nach fortschreitender Verwitterung, leicht ab, alle restlichen Materialien der Gebäudehülle sind insgesamt sehr unbunt mit einer Farbsättigung nahe null abgestimmt.

Bezüglich ihrer Farbgebung erscheint die BIPV auf verschiedenen Ebenen auf die übrigen Elemente der Gebäudehülle abgestimmt. Auch wenn leichte Kontraste im Bereich der Farbtöne und -helligkeiten bestehen, ist dieser Effekt zwischen Dach- und Fassadenflächen üblich und bekannt. Insgesamt erscheint sie hinsichtlich ihrer farblichen Gestaltprägung ausgewogen.



### 11.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 11.14: Ansicht Materialien aus Südwest



Abb. 11.15: Ansicht Materialien aus Nordost

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Die opaken PV-Elemente sind den ebenfalls opaken Dachflächen zugeordnet. Transparente Flächenanteile sind ausschließlich in der Fassade vorhanden, lediglich die semitransparente Holz-schiebeläden übernehmen hier eine Vermittlerrolle.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Glanz- und Reflexionsgrade der Materialien am Gebäude sind dahingehend abgestimmt, dass in ihrem Glanzgrad reduzierte PV-Module den Kontrast zu der matten Fassade verringern und keinen zu starken Kontrast bilden.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Bezüglich der Oberflächentexturen sind die glatten PV-Module mit rauen, unbehandelten Holz- und Betonoberflächen kombiniert, sodass hier durchaus ein Kontrast entsteht.

Materialbezogen entsprechen sich insbesondere das Blechdach, die Holz- und die Betonfassade, während Glas- und PV-Flächen mit ihren Eigenschaften leicht kontrastierend ergänzen.



### 11.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 11.16: Unmittelbare Nachbarschaft

#### Farbliche Bezüge

Hinsichtlich farblicher Bezüge erscheint das PV-Dach eher kontrastierend zu den Dächern umliegender Gebäude, deren Farben überwiegend im rot-bräunlichen Bereich mit geringer Helligkeit und Sättigung liegen.

#### Materielle Bezüge

In Bezug auf ihre materielle Ähnlichkeit zur Umgebung erscheint die BIPV je nach Lichtsituation durch ihre matte und strukturierte Oberfläche deutlich angepasster.

#### Formale Bezüge

Insbesondere aber in seiner Form und in der allgemein klar formulierten Gestaltung fügt sich das PV-Dach stark angepasst in den Kontext seiner unmittelbaren Nachbargebäude und den Ortskern von Tamins ein.



Abb. 11.17: Luftaufnahme der Umgebung

Bezüge zur Umgebung wurden insbesondere durch die angepasste Dachform und die materielle Ähnlichkeit gestaltet, farblich hebt sich die BIPV leicht ab. Bezogen auf den Grad der Gestaltprägung erscheint sie insgesamt ausgewogen.



### 11.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung

**Abgestimmte syntaktische Wirkung**

Von der Gestaltung der PV-Anlage geht ebenso wie von den übrigen Materialien der Gebäudehülle keine dezidiert ornamentale Wirkung aus.

**Abgestimmte semantische Wirkung**

In der Gebäudehülle ergänzt die BIPV harmonisch die übrigen Materialien als Symbol für Nachhaltigkeit, Materialästhetik und Einfachheit.

In ihrer insgesamt zurückhaltenden Zeichenwirkung ist die BIPV auf die übrige Gebäudehülle und auf die Nutzung als privates Wohnhaus abgestimmt und erscheint diesbezüglich unauffällig bis ausgewogen.



### 11.4 Funktionen der BIPV-Anlage

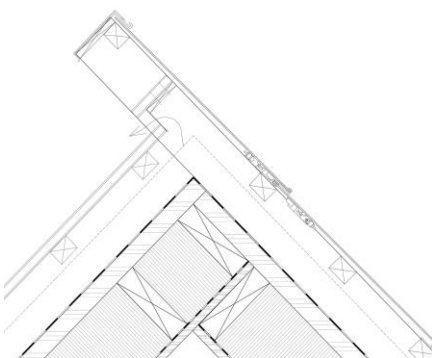
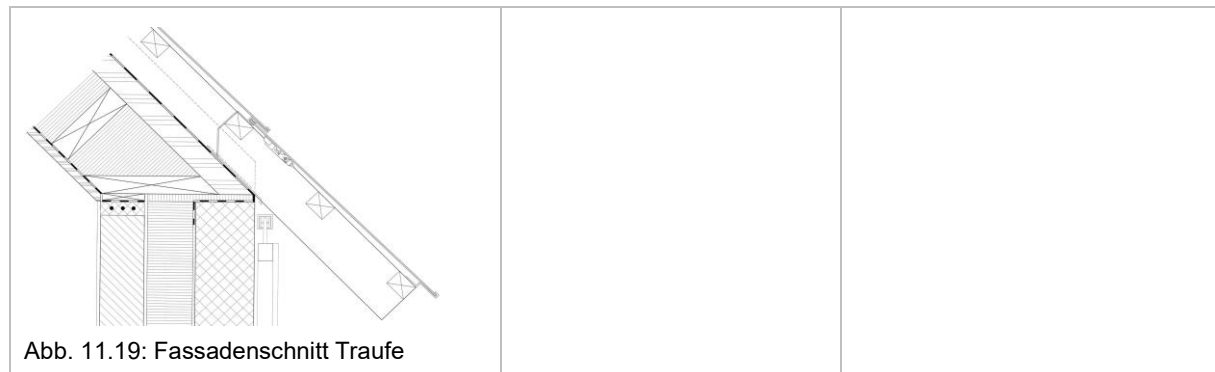


Abb. 11.18: Fassadenschnitt Giebel

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Stromproduktion</b>  | Die Gesamtanlage kann bis zu 22.800 kWh/a erreichen und deckt damit 144 % der benötigten Energie ab. <sup>[1]</sup> |
| <b>Witterungsschutz</b> | Durch die Verwendung der Module wie Dachziegel, ist keine weitere, wasserdichte Schicht erforderlich.               |



## 11.5 Systemtechnik

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p>Abb. 11.20: Isometrie Dachaufbau</p>                                     | <b>1. Standort</b>                      | 46° 49' N / 9° 24' O  |
|   | <b>2. Neigung und Orientierung</b>      | 45 °, Süd <sup>[3]</sup>  |
| <p>Abb. 11.21: Montage Module</p>   | <b>3. Verschattung</b>                  | unverschattet   |
|   | <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b> |   |
|   | <u>Gesamtsystem</u>                     |   |
|   | Anwendungsbereich                       | Dach  |
|   | PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 22 %  |
|   | PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 108 m <sup>2</sup> <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup> von ca. 500 m <sup>2</sup> |
|   | Nennleistung/m <sup>2</sup>             | 160,2 Wp/m <sup>2</sup>   |
|   | Nennleistung                            | 17,3 kWp <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>                                      |
|   | Jahresertrag                            | 22.800 kWh/a <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>                                  |
|   | Solarer Deckungsgrad                    | 144 % <sup>[1]</sup>  |
| <p>Abb. 11.22: Detailansicht Modul</p>                                      | Anschluss                               | Netzanschluss   |
|   | Anzahl Module                           | 96  |
|   | Anzahl Wechselrichter                   | 1   |
|   | <u>Module</u>                           |   |
|   | Art                                     | Monokristalline Standard-Module <sup>[2]</sup>                              |
|   | Hersteller                              | Meyer Burger / 3S   |
|   | Größe                                   | 130 x 87,5 cm <sup>[4]</sup>  |
|   | Produktbezeichnung                      | MegaSlate   |
|   | Modulwirkungsgrad                       | 16,8 % <sup>[4]</sup>   |
|   | Nennleistung                            | 180 Wp  |
| Modulfläche   | 1,14 m <sup>2</sup> <sup>[4]</sup>      |   |
| <u>Zellen</u>   |   |   |
| Art   | monokristallin                          |   |
| Farbe   | Anthrazit                               |   |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | hinterlüftet                            |   |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | k. A.                                   |   |
| <b>7. Speicherung</b>   | Netzanschluss                           |   |

## 11.6 Nachweise

### 11.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] SAS 2017, S. 3.
- [2] SeV 2017, S. 6.
- [3] ETH Zürich 2020.
- [4] Meyer Burger 2016.

### 11.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 11.1: Ansicht (Solararchitecture/Ralph Feiner, unter: [https://solararchitecture.ch/wp-content/uploads/2019/04/2\\_view-of-the-building\\_photo\\_graber2.jpg](https://solararchitecture.ch/wp-content/uploads/2019/04/2_view-of-the-building_photo_graber2.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 11.2: Lageplan (afasiaarchzine/Bearth & Deplazes Architekten AG, unter: <https://afasiaarchzine.com/wp-content/uploads/2016/12/Bearth-Deplazes-.House-Schneller-Bader-.TAMINS-13.jpg> [11.05.2020])
- Abb. 11.3: Grundriss EG (afasiaarchzine/Bearth & Deplazes Architekten AG, unter: <https://afasiaarchzine.com/wp-content/uploads/2016/12/Bearth-Deplazes-.House-Schneller-Bader-.TAMINS-19.jpg> [11.05.2020])
- Abb. 11.4: Ansicht Süd (afasiaarchzine/Bearth & Deplazes Architekten AG, unter: <https://afasiaarchzine.com/wp-content/uploads/2016/12/Bearth-Deplazes-.House-Schneller-Bader-.TAMINS-14.jpg> [11.05.2020])
- Abb. 11.5: Ansicht West (afasiaarchzine/Bearth & Deplazes Architekten AG, unter: <https://afasiaarchzine.com/wp-content/uploads/2016/12/Bearth-Deplazes-.House-Schneller-Bader-.TAMINS-16.jpg> [11.05.2020])
- Abb. 11.6: Südansicht bei Abend (SeV 2017, S. 6)
- Abb. 11.7: Ansicht Süd (Pinterest/Bearth & Deplazes Architekten AG, unter: <https://i.pinimg.com/564x/0a/19/a1/0a19a1b78739761d25c4e718f3ce0509.jpg> [11.05.2020])
- Abb. 11.8: Analyse gemeinsame Ordnungslinien Dach und Fassade (eigene Darstellung)
- Abb. 11.9: Detail Giebel (Bearth & Deplazes Architekten AG 2020, S. 3)
- Abb. 11.10: Ansicht südliche Dachfläche (Bearth & Deplazes Architekten AG, unter: <https://bearth-deplazes.ch/app/uploads/bearth-deplazes-386-kopie-1600x1067.jpg> [11.05.2020])
- Abb. 11.11: Ansicht nördliche Dachfläche (Bearth & Deplazes Architekten AG, unter: <https://i.pinimg.com/564x/89/5d/be/895dbe4ccfef724bd8d7b858e3b71bd.jpg> [11.05.2020])
- Abb. 11.12: Farbkomposition Ansicht aus Süden (Solararchitecture/Andreas Graber, unter: [https://solararchitecture.ch/wp-content/uploads/2019/07/8\\_MegaSlate-installation.jpg](https://solararchitecture.ch/wp-content/uploads/2019/07/8_MegaSlate-installation.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 11.13: Farbkomposition Ansicht aus Norden (SeV 2017, S. 6)
- Abb. 11.14: Ansicht Materialien aus Südwest (Swiss Heritage/Pierre Marmy, unter: [https://www.patrimoinesuisse.ch/fileadmin/\\_processed\\_/f/2/csm\\_Tamins-GR-Solar\\_d6ada68379.jpg](https://www.patrimoinesuisse.ch/fileadmin/_processed_/f/2/csm_Tamins-GR-Solar_d6ada68379.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 11.15: Ansicht Materialien aus Nordost (Wikipedia/Brutarchitekt, unter: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1f/Brutarchitekt\\_Haus\\_Tamins.jpg/800px-Brutarchitekt\\_Haus\\_Tamins.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1f/Brutarchitekt_Haus_Tamins.jpg/800px-Brutarchitekt_Haus_Tamins.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 11.16: Unmittelbare Nachbarschaft (eigene Aufnahme)
- Abb. 11.17: Luftaufnahme der Umgebung (eigene Aufnahme)
- Abb. 11.18: Fassadenschnitt Giebel (ETH Zürich 2020, S. 2)
- Abb. 11.19: Fassadenschnitt Traufe (ETH Zürich 2020, S. 2)
- Abb. 11.21: Isometrie Dachaufbau (ETH Zürich 2020, S. 1)
- Abb. 11.23: Montage Module (afasiaarchzine/Bearth & Deplazes Architekten AG, unter: <https://afasiaarchzine.com/wp-content/uploads/2016/12/Bearth-Deplazes-.House-Schneller-Bader-.TAMINS-23.jpg> [11.05.2020])
- Abb. 11.24: Detailansicht Modul (ETH Zürich 2020, S. 3)

### 11.6.3 Bibliografie

Bearth & Deplazes Architekten AG (2020): Projektbeschreibung. Haus Schneller Bader. Tamins, unter: <https://bearth-deplazes.ch/de/projekte/haus-schneller-bader-tamins> [03.09.2020].

ETH Zürich (2020): Solardatenbank. Meyer Burger: Haus Schneller Bader, unter: <https://www.buk.arch.ethz.ch/Solardatenbank/Meyer-Burger-Deplazes> [02.09.2020].

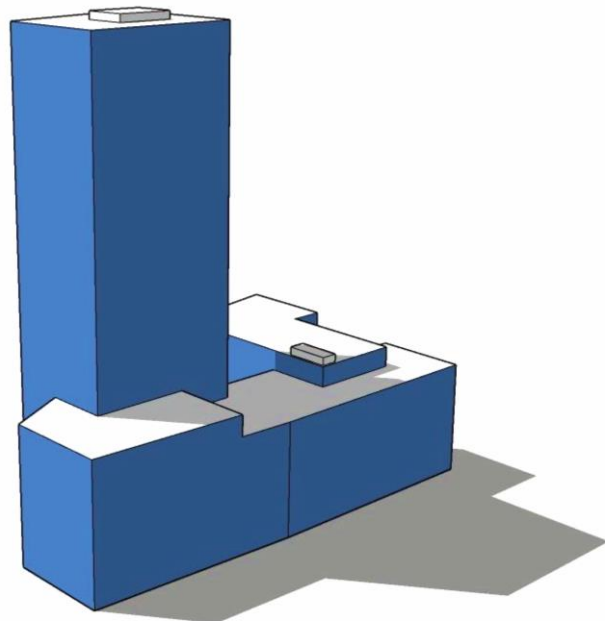
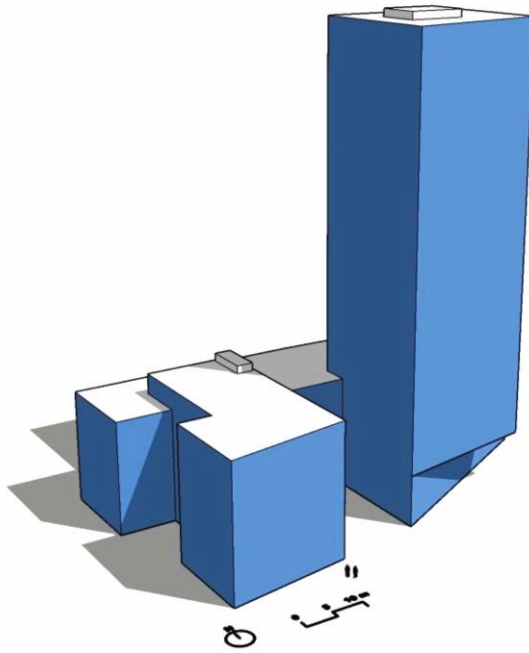
Meyer Burger (2016): Datenblatt MegaSlate Solardachsystem L180 (2016), unter [https://solarmotion.ch/downloads/produkte/meyerburger\\_megaslate\\_180\\_solarmotion.pdf](https://solarmotion.ch/downloads/produkte/meyerburger_megaslate_180_solarmotion.pdf) [03.09.2020].

Solar Agentur Schweiz (SAS) (2017): 27. Schweizer Solarpreis 2017: Die beste Schweizer Solararchitektur, Zürich, 2017.

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse, München.

Solt, Judit (2017): Es muss nicht immer hässlich sein, in: TEC21 46+47/2017, S. 28-31.

## 12 Grosspeter Tower, Basel (CH), 2017



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)



## 12.1 Projektdaten



Abb. 12.1: Ansicht

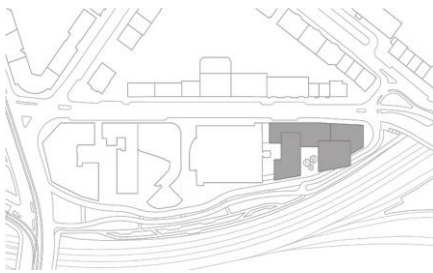


Abb. 12.2: Lageplan

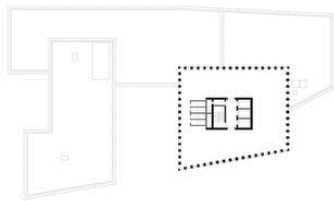
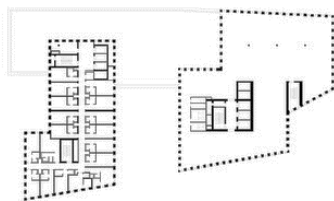
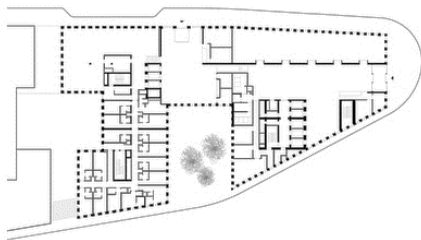
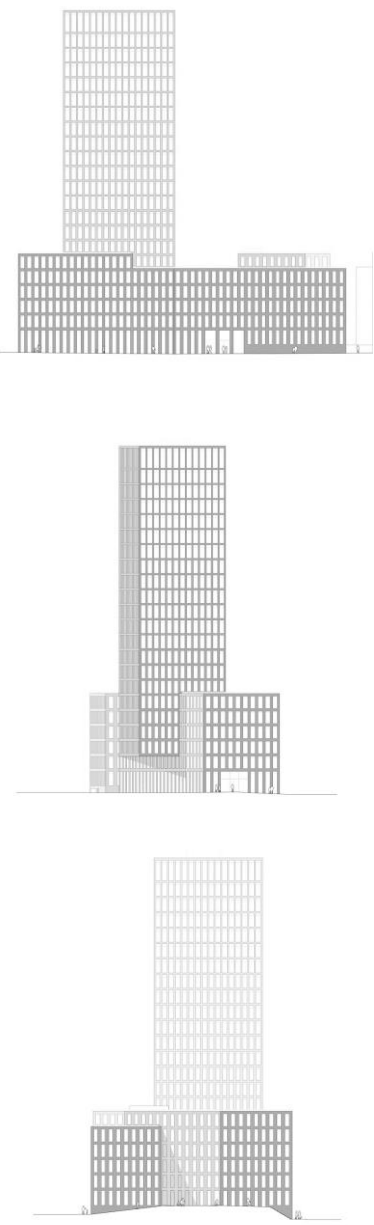


Abb. 12.3: Grundrisse EG, 5. &amp; 6. OG

| <b>Projekt</b>  |   |
|---|---|
| Name  | Grosspeter Tower  |
| Standort  | Basel (CH)  |
| Fertigstellung  | 2017  |
| Gebäudenutzung  | Bürogebäude und Hotel   |
| <b>Planung</b>  |   |
| Bauftrag  | PSP Real Estate AG, Zürich  |
| Architektur   | Burckhardt + Partner AG, Basel  |
| Photovoltaik  | Planeco GmbH, Münchenstein (Planung), energiebüro AG, Zürich (Ausführung) |
| <b>BIPV-System</b>  |   |
| Modulart  | CIGS Dünnschicht-Module (Fassade)   |
| Anwendungsbereich   | Fassade und Dach  |
| Ausrichtung   | 90 °, Nord/Süd/Ost/West (Fassade), ca. 10 °, Nord/Süd/Ost/West (Dach)     |
| PV-Belegung   | ca. 21,5 % (5.570 m <sup>2</sup> von ca. 25.000 m <sup>2</sup> )          |
| Nennleistung  | 540 kWp <sup>[4]</sup> <sup>[5]</sup>                                     |
| Jahresertrag  | 260.000 kWh/a <sup>[4]</sup> <sup>[5]</sup>                               |
| Spezifischer Jahresertrag   | 481,48 kWha/kWp   |
| Solarer Deckungsgrad  | 28 % <sup>[4]</sup> <sup>[5]</sup>  |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |   |
| TEC21 24+25/2017  |   |
| DETAIL 8/2020   |   |
| <b>Wettbewerbe</b>  |   |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017 (Anerkennung)   |   |
| Schweizer Solarpreis 2017 (Kategorie Neubauten)   |   |
| Sun21 Faktor-5 Award 2018 (Jury Preis)  |   |
| Prixforix 2018 (Dritter Platz)  |   |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |   |
| Der Grosspeter Tower bildet eine neue Landmark in der Skyline von Basel. Die klar gegliederte anthrazitfarbene Fassade des Hotel- und Bürohochhauses ist vollständig mit Photovoltaik belegt. Weitere Komponenten des Energiekonzeptes sind ein Erdwärmesondenfeld sowie eine zusätzliche, aufgeständerte PV-Anlage auf den Flachdächern. Insgesamt erzeugt das Gebäude so 28 % seiner benötigten Energie selbst. |   |

## 12.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters



Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse des Wettbewerbs:

„Bei dem Bürohochhaus prägt die Fassade umlaufend eine klare Rasterstruktur mit nach oben breiter werdenden Öffnungen. [...] Durch die unterschiedlichen Dimensionen und architektonischen Anforderungen gibt es rund 450 unterschiedliche Fassadenelement-Typen [...]. Es entsteht eine homogene Oberflächenwirkung, die in Verbindung mit dem Einsatz von Stringoptimierern eine elegante und leistungsfähige Alternative zu Naturstein und Metallfassaden darstellt.“<sup>33</sup>

Solar Agentur Schweiz (SAS) (2017): 27. Schweizer Solarpreis 2017: Die beste Schweizer Solararchitektur:

„Die Solarmodule sind sorgfältig integriert; 450 unterschiedliche Modulgrößen mit unterschiedlichen PV-Substratgrößen und Zellbreiten sind fassadenbündig montiert. Die ganzflächige, opake PV-Fassade genügt ästhetisch hohen Ansprüchen.“

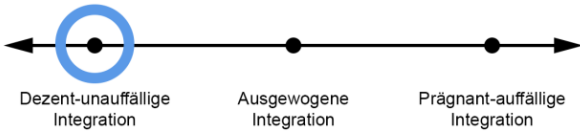
Schoof (2018): Kraftwerk in Nadelstreifen: Grosspeter Tower in Basel, DETAIL online (23.08.2018):

„Die nüchterne, ausgewogen proportionierte Fassade lässt auf den ersten Blick kaum erahnen, dass sie mit Ausnahme der Fenster komplett mit Solarmodulen belegt ist. [...] Die etwas eigentümliche Gebäudeform [...] war dem Bebauungsplan geschuldet. [...] Die Fassadengestaltung überspielt diese Unregelmäßigkeit mit bemerkenswertem Ebenmaß und ausgewogenen Proportionen: Sockel und Turm erhielten gleichermaßen Lochfassaden mit hochrechteckigen Fenstern, deren Größe nach oben hin zunimmt. Mit dieser sukzessiven Auflösung in Glasflächen entspricht die Fassadengestaltung auch dem Kräfteverlauf des Stahltragwerks, das aus Vierendeelträgern in Fassadenebene gebildet wird. Die anthrazitfarbene Fassadenverkleidung erinnert aus der Ferne an Metallpaneele oder bedrucktes Glas. Es handelt sich jedoch um 10.000 Dünnschicht-Solarmodule, die in 450 unterschiedlichen Größen angefertigt werden mussten, um der Fassadengliederung zu folgen.“

González (2020): Projektbeschreibung. Grosspeter Tower, Archdaily online (2020):

“As the solar cells are almost unrecognisable the Swiss architects Burckhardt+Partner AG could reinterpret the otherwise seen as technoid expression of these elements into an item of design and architecture. [...] ‘Just as we started the design of the façade a significant development within the solar power market was made’ says Andreas Kaufmann, project architect [...]. The solar elements, which up to 2014 were only available in standardised dimensions could now be manufactured according to client and project specifications.”

Die BIPV-Integration wird als „klar“ und „elegant“ beschrieben, so dass sie „höchsten ästhetischen Ansprüchen genügt“. Dabei wird insbesondere die „sorgfältige“ und „ebenenmäßige“ Ausführung hervorgehoben, die die Anlage „homogen“ wirken lässt und „als Design- und Architektur-Element uminterpretiert“ das kaum erahnen lässt, dass es sich um PV handelt.



Dezent-unauffällige Integration      Ausgewogene Integration      Prägnant-auffällige Integration

Abb. 12.4: Zwei ineinandergreifende Volumen, von verschiedenen Standpunkten aus eine unterschiedliche Form bildend

<sup>33</sup> SeV 2017, S. 9.

## 12.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

Am Grosspeter Tower sind zwei PV-Anlagen integriert, eine in der gesamten Fassade und eine weitere, aufgeständerte Dachanlage. Die gestalterischen Analysen im Rahmen dieser Projektstudie beziehen sich vorwiegend auf die Fassaden-Anlage, zur besseren Vergleichbarkeit der Projekte werden ergänzend aber auch die systemtechnischen Daten der Dachanlage dargestellt (vgl. Abs. 12.5).

### 12.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 12.5: Ansicht aus Südost



Abb. 12.6: Ansicht Ostfassade



Abb. 12.7: Detailansicht Flächenbündigkeit Fassade

#### Proportionale Bezüge

Der Hauptgenerator des Gebäudes besteht aus der großflächigen PV-Anlage, die den gesamten opaken Fassadenanteil des Gebäudes bildet. Der Generator ist so gleichmäßig auf alle Fassadenflächen abgestimmt, die insgesamt ausgewogen proportioniert sind. Ein weiterer Generator besteht aus aufgeständerten Dachanlagen. Diese ergänzende Anlage tritt allerdings hinter das Konzept der fassadenintegrierten PV zurück und leistet im Vergleich einen eher ergänzenden energetisch Beitrag. Der Fassadengenerator ist in seiner Gliederung klar vertikal abgestimmt auf die Fassadengliederung mit nach oben breiter werdenden Öffnungen und unterstützt die klare Baukörperkomposition. Die Module sind als solche ablesbar und gliedern die Fassade konsequent den Geschosshöhen entsprechend, während sie das Vierendeel-System der Tragwerkskonstruktion widerspiegeln. Auch die schwach erkennbaren Submodule wurden so gestaltet, dass sich ein harmonisches Gesamtbild ergibt.

#### Flächenintegrität

Die überwiegend rechteckige Flächengeometrien werden vollständig ausgefüllt. Durchdringungen sind sorgsam angepasst. Die Modulgrößen sind auf die Fensteröffnungen abgestimmt. Der Rastereffekt der Binnengliederung des Generators wird zusammen mit der Anordnung von Fenstern und Öffnungen zu Gliederung der großen Fassadenflächen eingesetzt. Alle Elemente der Fassade sind so ausgeführt, dass eine bündige Vorderkante entsteht, die ein unauffälliges, homogenes Gesamtbild erzeugt.

#### Formprägung

Insgesamt ist der Generator deutlich von der Form des Gebäudes geprägt, die wiederum aus Überlegungen der bestmöglichen Grundstücksausnutzung und skulpturalen Wirkung resultiert.

#### Abgestimmte Flächenanteile

Die PV-Fläche der Fassade ist ca. 4.800 m<sup>2</sup> groß, die des Dachgenerators ca. 770 m<sup>2</sup>. Dies entspricht ca. 37 % (Fassade) und 6 % (Dach) Anteil an der Gebäudeoberfläche.

Insbesondere die Verfügbarkeit von Sonderformaten hat den hohen Grad der Qualität in Bezug auf maßliche und mengenbezogene Abstimmung möglich gemacht und dazu geführt, dass sich die BIPV dezent-unauffällig einfügt.



### 12.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 12.8: Fassadenansicht mit Passanten

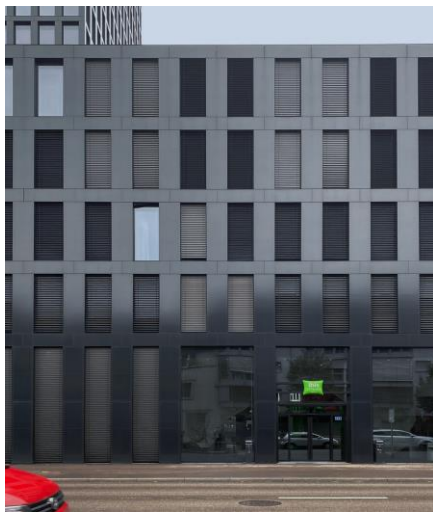


Abb. 12.9: Bauteilgrößen im Fassadenverbund

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Der Gesamtgenerator entspricht exakt den Größen der Gebäude-Einzelflächen. Im Vergleich der Bauteilgrößen erscheinen die vertikalen Module in gleicher Größe wie die bodentiefen Fenster, während die horizontalen die jeweiligen Geschossdecken nachzeichnen. Einzelne Zellen sind nicht ablesbar.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

In Bezug auf menschliche Maßstäbe erscheint die Anlage insgesamt durchaus großdimensioniert, da die solaraktiven Bauteile überwiegend geschosshoch sind, auch wenn sie bei näherem Hinsehen zusätzlich in zwei bzw. drei Submodule geteilt sind.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Durch ihre klare Orientierung an den Fenstergrößen und Geschosshöhen, entsprechen die Anlage und ihre einzelnen Bestandteile in ihren Größen bauüblichen Maßstäben für die Fassade.

Auch in Bezug auf die Möglichkeiten maßstäblicher Abstimmung ist die Verfügbarkeit von Sonderformaten Haupteinflussgröße auf den hohen Grad der Abstimmung der BIPV. Zwei bis drei Submodule wurden so gestaltet, dass sie wie ein Einzelmodul erscheinen. Insgesamt erscheint die Anlage so unauffällig bis ausgewogen.



### 12.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 12.10: Ansicht Südfassade

#### Abgestimmte Farbtöne

Die Komposition der Farbtöne aller Bauteile der PV-Anlage und der Fassade sind einheitlich monochrom anthrazit-schwarz gehalten.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Auch bezüglich der Farbhelligkeiten erscheinen alle Bauteile, die optisch miteinander in Bezug stehen, einheitlich dunkel.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Alle Farben sind anthrazit bis schwarz und haben daher je nach Lichtsituation nahezu keine Sättigung.

Die Möglichkeiten der Dünnschichttechnologie wurden gezielt genutzt, um die gesamte Farbkomposition monochrom anthrazit bis schwarz zu halten. Die BIPV erscheint so fast vollständig unsichtbar.





Abb. 12.11: Detailansicht der Farbkomposition am Gebäude

### 12.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 12.12: Osteingang



Abb. 12.13: Detailansicht Oberfläche Modul

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Die opaken solaraktiven Bauteile sind klar den opaken Teilflächen der Gebäudehülle zugeordnet.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Die Module sind bewusst reflexionsarm gewählt und mit den spiegelnden Glasflächen zu einer Komposition ähnlicher Eigenschaften kombiniert.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Die Oberfläche der PV-Module ist leicht strukturiert, sodass sie mit den Glaselementen der Gebäudeoberfläche harmonisiert und dennoch im Fassadenbereich nicht zu glänzend erscheint.

Durch die Verwendung von mattiertem und strukturiertem Glas, harmonisiert die BIPV in ihrer Materialität einheitlich mit den Glas- und Metall-Elementen der übrigen Gebäudeoberfläche. Sie erscheint diesbezüglich dezent-unauffällig.



### 12.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 12.14: Basel Skyline



Abb. 12.15: Umgebung, Blick aus Westen



Abb. 12.16: Nachbarbebauung, Blick aus Osten

#### Farbliche Bezüge

Die PV-Fassade nimmt zahlreiche, farbliche Bezüge der umgebenden heterogenen Umgebung auf. Dazu zählen sowohl dunkle Fassaden der Nachbarbebauung als auch weiter entfernter Büro-Hochhäuser. Zu Gebäuden der unmittelbaren Nachbarschaft mit hellen Fassaden bilden die anthrazitfarbenen Module aber teilweise auch einen deutlichen Kontrast.

#### Materielle Bezüge

Hohe Verglasungsanteile und auch metallische Elemente sind sowohl an näheren als auch weiter entfernten Gebäuden, zu denen die PV-Anlage in einem visuellen Bezug steht, vorhanden. Die PV-Fassade interpretiert hier zahlreiche materielle Bezüge der Umgebung, bildet aber auch Kontraste zu den Putzfassaden einiger Gebäude der direkten Umgebung.

#### Formale Bezüge

Auch formal ähnliche Bezüge bestehen insbesondere zu der Bauweise benachbarter und weiter entfernter Bürogebäude und Hochhäuser, benachbarte historische Fassaden bilden hierzu einen deutlichen Kontrast.

Bezüge der BIPV werden im übergeordneten Kontext der Stadt farblich, materiell und formal ähnlich gestaltet, zu den Gebäuden der näheren Umgebung sind deutliche Kontraste zu erkennen, sodass sich die BIPV hinsichtlich ihrer Gestaltprägung insgesamt ausgewogen einfügt.



### 12.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 12.17: Logo Grosspeter Tower

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Die BIPV zeigt explizit keine PV-typische Musterwirkung.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Die PV-Anlage entzieht sich bewusst ihrer Symbolik, indem sie andere Materialien wie Glas und Metall nachahmt. Gleichzeitig wird stark mit der BIPV-Fassade für die Nachhaltigkeit des Gebäudes geworben z. B. im Bereich der Büroflächen-Vermietung. Ihre symbolische Wirkung entfaltet die BIPV erst durch deutliche Hinweise.

Auch bezüglich ihrer Zeichenwirkung ist die BIPV-Integration auf das Konzept der nahezu vollständigen Unsichtbarkeit abgestimmt. Entsprechend der übrigen Gebäudehülle und den Vorgaben der Auftraggebenden hat sie keine unmittelbare, PV-assoziierte ornamentale oder symbolische Wirkung.

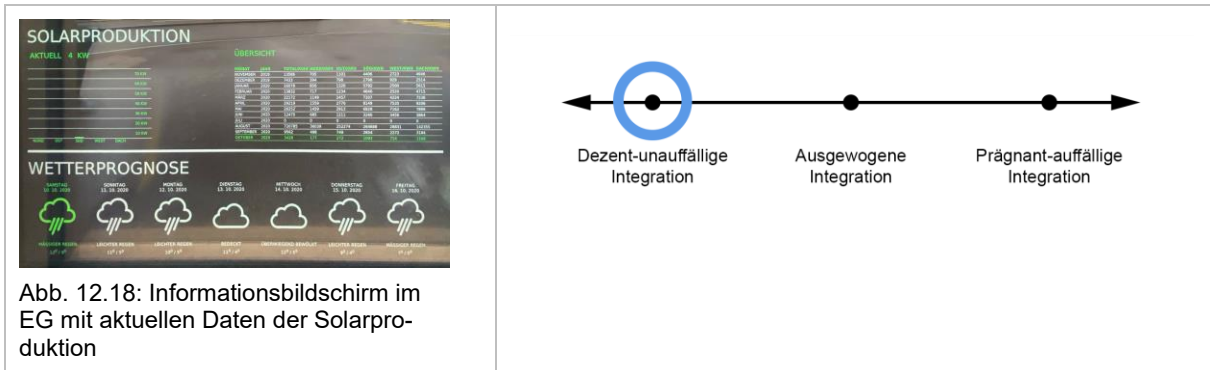


Abb. 12.18: Informationsbildschirm im EG mit aktuellen Daten der Solarproduktion



### 12.4 Funktionen der BIPV-Anlage

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | <b>Stromproduktion</b>                                 | Die Gesamtanlage kann bis zu 260.000 kWh/a erreichen und deckt damit 28 % der benötigten Energie ab. <sup>[4] [5]</sup> |
|  | <b>Witterungsschutz</b>                                | Die Module sind oberhalb der Abdichtungsschicht angeordnet und schützen diese vor der Witterung.                        |
|  | <b>Schallschutz</b>                                    | Die PV-Anlage dient als zusätzlicher Schallschutz, dadurch dass sie Teil der Fassade ist.                               |
|  | <b>Unterstützung aktiver Lüftungs-/Kühlungssysteme</b> | In Zeiten höchster Sonneneinwirkung unterstützt die PV-Anlage das aktive Lüftungs- und Kühlungssystem.                  |

Abb. 12.19: Fassadenschnitte vertikal und horizontal

### 12.5 Systemtechnik

|   | Fassade                      | Dach                        |
|---|------------------------------|-----------------------------|
| <b>1. Standort</b>                      | 47° 32' N / 7° 36' O         |                             |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>      | 90 °, Nord/Süd / Ost/West    | ca. 10 °, Nord/Süd/Ost/West |
| <b>3. Verschattung</b>                  | Teilweise verschattet        |                             |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b> |                              |                             |
| <u>Gesamtsystem</u>                     |                              |                             |
| Anwendungsbereich                       | Fassade                      | Dach                        |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | ca. 37 %                     | ca. 6 %                     |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche           | 4.800 m <sup>2</sup> [3] [6] | 770 m <sup>2</sup> [2] [6]  |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>             | 110 Wp/m <sup>2</sup> [2]    | ca. 130 Wp/m <sup>2</sup>   |

|   |  |                            |
|---|--|----------------------------|
| Nennleistung  | 440 kWp <sup>[6]</sup>   | 100 kWp <sup>[2] [6]</sup> |
| Jahresertrag  | 252.000 kWh/a <sup>[6]</sup>                                     |                            |
| Solarer Deckungsgrad  | 28 % <sup>[4] [6]</sup>  |                            |
| Anschluss   | Netzanschluss  |                            |
| Anzahl Module   | 10.000 <sup>[4]</sup>  | ca. 630                    |
| Anzahl Wechselrichter   | Ein zentraler Wechselrichter in Verbindung mit Stringoptimierern |                            |
| <u>Module</u>   |  |                            |
| Art   | CIGS Dünnschicht   | k. A.                      |
| Hersteller  | NICE Solar Energy, Schwäbisch Hall / Firma Manz <sup>[1]</sup>   | k. A.                      |
| Größe   | 120 x 60 cm  | k. A.                      |
| Produktbezeichnung  | CIGS Modul M-PCSXXX  | k. A.                      |
| Modulwirkungsgrad   | 14,6 %   | k. A.                      |
| Nennleistung  | 105 Wp bei einem Standardmodul von 1,2 x 0,6 m                   | k. A.                      |
| Modulfläche   | 284 x 58 cm  | k. A.                      |
| <u>Zellen</u>   |  |                            |
| Art   | Dünnschicht  | k. A.                      |
| Farbe   | Anthrazit  | Dunkelblau                 |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | hinterlüftet   |                            |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | Einsatz von Stringoptimierern                                    |                            |
| <b>7. Speicherung</b>   | Netzanschluss  |                            |

## 12.6 Nachweise

### 12.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] SeV 2017, S. 9.
- [2] Solarchitecture 2020.
- [3] Krippner 2018, S. 21-22.
- [4] Schoof 2018.
- [5] SolarEdition 2020.
- [6] SAS 2017, S.74-75.



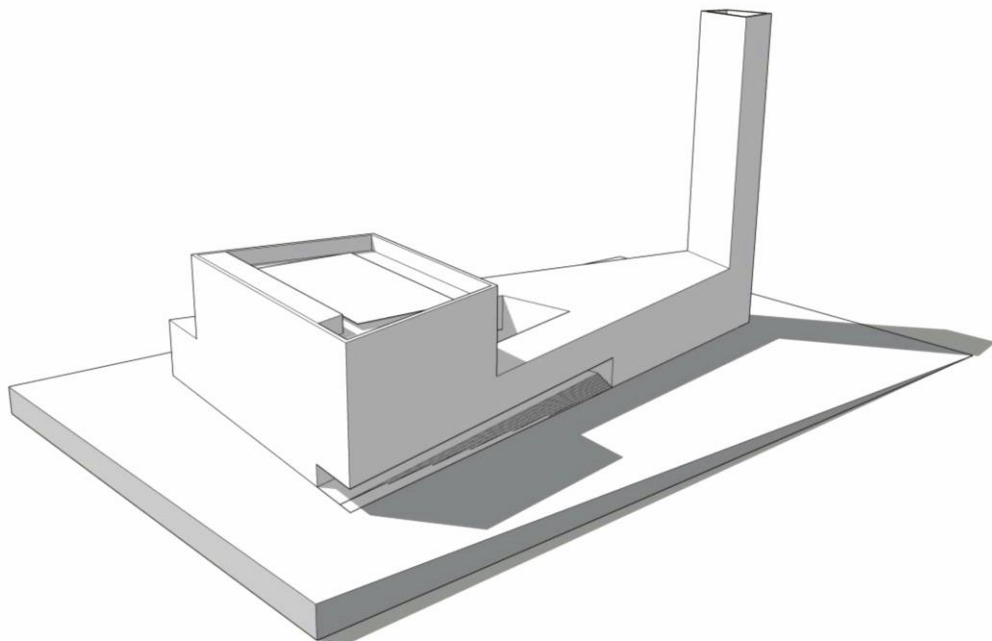
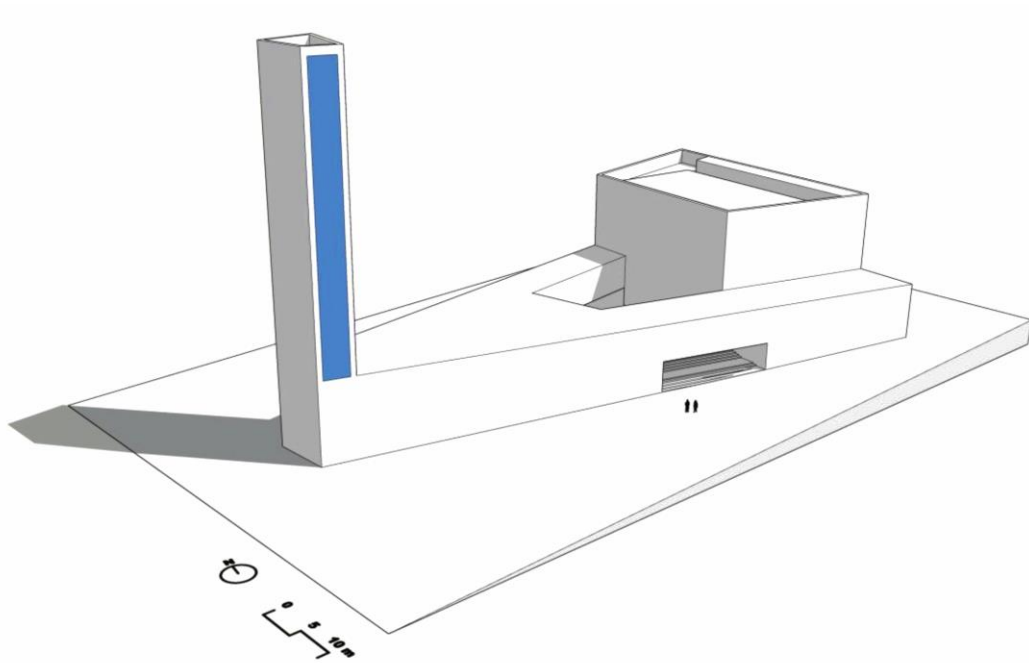
## 12.6.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 12.1: Ansicht (Detail/Adriano Biondo, unter: [https://www.detail.de/de/de\\_de/kraftwerk-in-nadelstreifen-grosspeter-tower-in-basel-32661](https://www.detail.de/de/de_de/kraftwerk-in-nadelstreifen-grosspeter-tower-in-basel-32661) [11.07.2021])
- Abb. 12.2: Lageplan (Archdaily/Burckhardt+Partner AG, unter: [https://images.adsttc.com/media/images/5b85/a99a/f197/cc4c/2700/01c6/slideshow/GPT-SIT-BEST-A4\\_1\\_2000.jpg](https://images.adsttc.com/media/images/5b85/a99a/f197/cc4c/2700/01c6/slideshow/GPT-SIT-BEST-A4_1_2000.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 12.3: Grundrisse EG, 5. & 6. OG (Archdaily/Burckhardt+Partner AG, unter: [https://images.adsttc.com/media/images/5b85/a89c/f197/cc4c/2700/01c3/slideshow/GPT-G-5OG-A4\\_1\\_500.jpg](https://images.adsttc.com/media/images/5b85/a89c/f197/cc4c/2700/01c3/slideshow/GPT-G-5OG-A4_1_500.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 12.4: Zwei ineinandergreifende Volumen, von verschiedenen Standpunkten aus eine unterschiedliche Form bildend (Archdaily/Burckhardt+Partner AG, unter: [https://images.adsttc.com/media/images/5b85/a7c9/f197/cc4c/2700/01c0/slideshow/GPT-A-WE-A4\\_1\\_500.jpg](https://images.adsttc.com/media/images/5b85/a7c9/f197/cc4c/2700/01c0/slideshow/GPT-A-WE-A4_1_500.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 12.5: Ansicht aus Südost (Xen-on Foto, unter: <https://xen-on.ch/wp-content/uploads/2020/09/X249-134-HDR-1024x682.jpg> [11.07.2021])
- Abb. 12.6: Ansicht Ostfassade (Adriano Biondo, unter: [www10.aeccafe.com/blogs/arch-showcase/files/2018/10/AAB\\_2673r.jpg](http://www10.aeccafe.com/blogs/arch-showcase/files/2018/10/AAB_2673r.jpg) [11.07.2021])
- Abb. 12.7: Detailansicht Flächenbündigkeit Fassade (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.8: Fassadenansicht mit Passanten (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.9: Bauteilgrößen im Fassadenverbund (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.10: Ansicht Südfassade (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.11: Detailansicht der Farbkomposition am Gebäude (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.12: Osteingang (Fotostudio Fokus, unter: <https://www.fotostudio-fokus.ch/media/architektur-immobilien-fotograf-22.jpg> [13.07.2021])
- Abb. 12.13: Detailansicht Oberfläche Modul (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.14: Basel Skyline (Baunetz Wissen/Adriano Biondo, unter: <https://www.baunetzwissen.de/elektro/objekte/buero-gewerbe/grosspeter-tower-in-basel-5457459/gallery-1/3> [13.07.2021])
- Abb. 12.15: Umgebung, Blick aus Westen (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.16: Nachbarbebauung, Blick aus Osten (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.17: Logo Grosspeter Tower (PSP Management AG, unter: <https://www.grosspeter-areal.ch/tower/logo.jpg> [13.07.2021])
- Abb. 12.18: Informationsbildschirm im EG mit aktuellen Daten der Solarproduktion (eigene Aufnahme)
- Abb. 12.19: Fassadenschnitte vertikal und horizontal (Baunetz Wissen/Burckhardt+Partner AG, unter: <https://www.baunetzwissen.de/elektro/objekte/buero-gewerbe/grosspeter-tower-in-basel-5457459/gallery-1/33> [13.07.2021])

## 12.6.3 Bibliografie

- González, María Francisca (2020): Projektbeschreibung. Grosspeter Tower/Burckhardt+Partner AG, Archdaily online (2020), unter: <https://www.archdaily.com/900948/grosspeter-tower-burckhardt-plus-partner-ag> [04.09.2020].
- Krippner, Roland (2018): Solarenergie und Baukultur - Ausgezeichnete Projekte aus dem SeV-Wettbewerb „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017“. Vortragsfolien vom 24.04.2018 im 10. Forum BIPV im Kloster Banz, Bad Staffelstein.
- Schoof, Jakob (2018): Kraftwerk in Nadelstreifen: Grosspeter Tower in Basel, DETAIL online (23.08.2018), unter: <https://www.detail.de/artikel/kraftwerk-in-nadelstreifen-grosspeter-tower-in-basel-32661> [04.09.2020].
- Solar Agentur Schweiz (SAS) (2017): 27. Schweizer Solarpreis 2017: Die beste Schweizer Solararchitektur, Zürich, 2017.
- Solarchitecture (2020): Projektbeschreibung. Grosspeter Tower, Solarchitecture online (2020), unter <https://solarchitecture.ch/grosspeter-tower> [04.03.2020].
- Solar Edition (2020): Grosspeter Tower as a BIPV project used the Sun and earth as building materials, Solar Edition online (11.01.2020), unter: <https://solaredition.com/grosspeter-tower-as-a-bipv-project-used-the-sun-and-earth-as-building-materials> [04.03.2020].
- Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse, München.

### 13 Kath. Propsteikirche St. Trinitatis, Leipzig (DE), 2015



Schematisches 3D-Modell mit solaraktiven Flächen in Blau (eigene Darstellung)

## 13.1 Projektdaten



Abb. 13.1: Ansicht

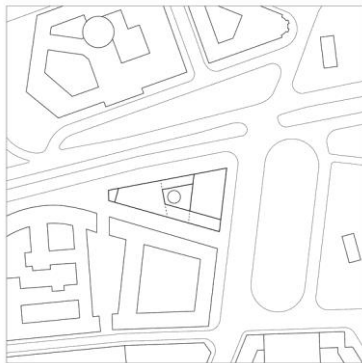


Abb. 13.2: Lageplan

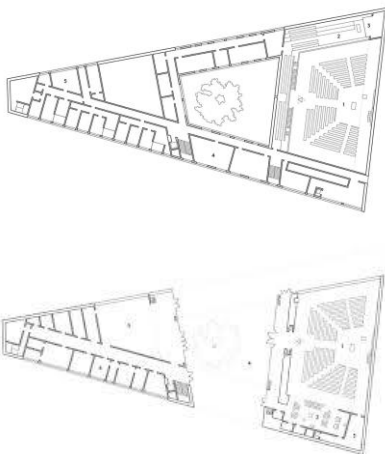


Abb. 13.3: Grundriss EG und 1. OG

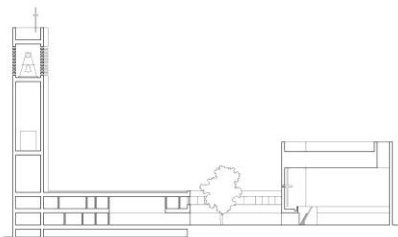


Abb. 13.4: Längsschnitt

| <b>Projekt</b>  |   |
|---|---|
| Name  | Kath. Propsteikirche St. Trinitatis                             |
| Standort  | Leipzig (DE)  |
| Fertigstellung  | 2015  |
| Gebäudenutzung  | Kirche  |
| <b>Planung</b>  |   |
| Bauftrag  | Kath. Propsteipfarrei St. Trinitatis                            |
| Architektur   | Schulz und Schulz Architekten, Leipzig                          |
| Photovoltaik  | Dachschneider GmbH (Fassade), MR Sunstrom, Dresden (Dach)       |
| <b>BIPV-System</b>  |   |
| Modulart  | CIGS-Dünnschichtmodule (Fassade), Polykristalline Module (Dach) |
| Anwendungsbereich   | Fassade und Dach  |
| Ausrichtung   | Südliche Ausrichtung  |
| PV-Belegung   | ca. 11 % (540 m <sup>2</sup> von ca. 5.000) <sup>[2]</sup>      |
| Nennleistung  | 67,35 kWp <sup>[4]</sup>  |
| Jahresertrag  | ca. 60.000 kWh/a <sup>[5]</sup>                                 |
| Spezifischer Jahresertrag   | 857,14 kWha/kWp   |
| Solarer Deckungsgrad  | 40 % <sup>[2]</sup>   |
| <b>Veröffentlichungen</b>   |   |
| Baumeister (2015): Baukulturführer 97: Propsteikirche St. Trinitatis Leipzig  |   |
| DBZ 04/2016   |   |
| DETAIL 07+08/2015   |   |
| <b>Wettbewerbe</b>  |   |
| Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017 (Anerkennung)   |   |
| World Architecture Festival 2016 (Auszeichnung „Religiöses Gebäude des Jahres“)   |   |
| „Nike“ Preis vom Bund Deutscher Architekten   |   |
| Balthasar Neumann Preis 2016  |   |
| Deutscher Solarpreis 2016 (Plakette)  |   |
| <b>Kurzbeschreibung</b>   |   |
| <p>Nach ihrer Zerstörung im Zweiten Weltkrieg und einem temporären Zwischenbau ist der Neubau gegenüber dem Rathaus nun der dauerhafte Standort der Propsteikirche St. Trinitatis in Leipzig. Er versinnbildlicht eine über den gesamten Lebenszyklus ressourcensparende Architektur von der Produktion bis zur Revision. Teil dieses Konzepts ist neben regionalen, nachwachsenden Materialien und anpassungsfähiger Anlagentechnik auch die deutlich sichtbare PV-Anlage am Glockenturm, die von einer weiteren Anlage über dem Kirchenraum ergänzt wird.</p> |   |

## 13.2 Beschreibung des Gestaltungscharakters

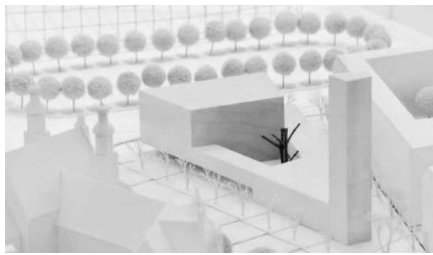


Abb. 13.5: Entwurfsmodell

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse des Wettbewerbs:

*„Dem Kirchenneubau liegt ein ambitioniertes Nachhaltigkeitskonzept zugrunde, das von der Wahl dauerhafter regionaler Materialien bis zur sichtbaren Solarstromanlage reicht. An der schmalen Südfassade des Kirchturms ist oberhalb des ersten Obergeschosses ein dunkles Band (140 m<sup>2</sup>) mit CIGS-Dünnschichtmodulen (15,6 kW) präzise und flächenbündig integriert. Die querformatig angeordneten, rahmenlosen PV-Paneele gliedern mit einem Seitenverhältnis von 2:1 wohlproportioniert die Binnenfläche und bilden einen wirkungsvollen Kontrast gegenüber der gestuften Fassadenbekleidung aus rotvioletterm Rochlitzer Porphy. Der ‚solare‘ Kirchturm ist am Rand der Leipziger Innenstadt eine wichtige städtebauliche Dominante und avanciert zum Zeichen der Kirchengemeinde für die Sonnenenergie.“<sup>34</sup>*

Baunetz Wissen (2020): Propsteikirche St. Trinitatis in Leipzig, Baunetz Wissen online (2020):

*„Zwei Photovoltaikanlagen erzeugen 40% des benötigten Stroms; fallen Überschüsse an, werden sie ins Stromnetz gespeist. Eine der beiden PV-Anlagen befindet sich an der Südseite des Kirchturms. Ihre 144 Quadratmeter große Modulfläche ist wie eine Intarsienarbeit in die Porphyrfassade eingelassen.“*

Fröhlich (2016): Balthasar Neumann Preis 2016, in: DBZ Deutsche BauZeitschrift 04/2016:

*„Der diesjährige Preisträger, der Neubau der Propsteikirche St. Trinitatis in Leipzig steht beispielhaft dafür, wie durch die Integration der Themen Funktion, Ästhetik und Städtebau eine ressourcensparende Architektur entstehen kann. Gleichzeitig steht die Propsteikirche St. Trinitatis auch für ein wichtiges und bedeutendes Zeichen baukultureller Haltung. Insgesamt erfüllt der diesjährige Preisträger nicht nur die Bedingungen zum Balthasar Neumann Preis, sondern auch die von Vitruv: firmitas, utilitas und venustas - Stabilität, Nützlichkeit und Schönheit und mit concinnitas auch noch die Angemessenheit.“<sup>35</sup>*

Baumeister (2015): Baukulturführer 97: Propsteikirche St. Trinitatis Leipzig:

*„Gegen zahlreiche renommierte Mitbewerber [...] konnten sich die Leipziger Architekten Ansgar und Benedikt Schulz [...] durchsetzen. Selbst Mitglieder der Kirchengemeinde, überzeugten sie die Jury vor allem dadurch, dass sie das gesamte dreieckige Grundstück [...] geschickt ausnutzten und dabei mit dem kompakten Körper der Kirche [...] und dem selbstbewusst auftretenden Turm [...] zwei markante ‚Eckpunkte‘ im Stadtraum schufen. Der hohe Kirchturm, auf dessen Südfassade Photovoltaik-Module integriert sind, ist im Quartier ein weithin sichtbares Zeichen. [...] Bereits im Architekturwettbewerb war der Anspruch auf umfassende Nachhaltigkeit ein entscheidendes Thema. [...] Umsetzung des selbstgenügsamen Handelns: 7. Erzeugung, Nutzung und Einspeisung von Ökostrom über Photovoltaik.“<sup>36</sup>*

<sup>34</sup> SeV 2017, S. 10.

<sup>35</sup> Fröhlich 2016, S. 5.

<sup>36</sup> Baumeister 2015, S. 8, 12-13.

Neben der allgemeinen Würdigung als „ästhetische“ „ressourcensparende Architektur“ wird auf die BIPV bezogen vor allem deren „präzise“ und „flächenbündige“ Gestaltung betont, die „wohlproportioniert gliedert“, einen „wirkungsvollen Kontrast“ in der Fassade bildet und hier auch ein bewusstes Zeichen setzt. Insgesamt erscheint die Integration hinsichtlich ihres Gestaltprägungsgrads ausgewogen.



### 13.3 Untersuchung nach BIPV-Gestaltungskriterien

An der St. Trinitatis Kirche sind zwei PV-Anlagen integriert, eine in der Fassade des Turms und eine weitere, aufgeständerte Dachanlage über dem Kirchenraum. Die gestalterischen Analysen im Rahmen dieser Projektstudie beziehen sich vorwiegend auf die Fassaden-Anlage, zur besseren Vergleichbarkeit der Projekte werden ergänzend aber auch die systemtechnischen Daten der Dachanlage dargestellt (vgl. Abs. 13.5).

#### 13.3.1 Kriterium 1 - Abgestimmte Maß- und Mengenverhältnisse



Abb. 13.6: Luftaufnahme



Abb. 13.7: Ansicht Süd

##### Proportionale Bezüge

Die vertikal orientierte PV-Fläche ähnelt bzgl. ihrer Form und Positionierung den Proportionen des Turms, an dem sie angebracht ist, und den Fensterbändern der übrigen Fassade. Die Dimensionen der Module treten optisch kaum in Erscheinung. Sie sind angenehm gegliedert im Verhältnis 1:2. Es sind keine einzelnen Zellen ablesbar, die als eigenständige Form wirksam werden könnten.

##### Flächenintegrität

Die der PV gewidmete Fläche ist exakt in Module aufgeteilt und wie eine „Intarsien-Arbeit“ in die Fassade eingelassen. Es sind keine Durchdringungen vorhanden und die Fläche ist nicht durch spezielle Rahmungen oder ähnliches begrenzt. Ein Rastereffekt ist nur leicht erkennbar. Auch der große Abstand des Betrachters zur Fläche führt hier zu einer homogenen Wahrnehmung des Generators.

##### Formprägung

Die BIPV ist deutlich an den Turm angepasst, dessen Form aus den Erfordernissen seiner Funktion als Glockenturm und dem Grundstückszuschnitt resultiert. Die Generatorfläche der Dachanlage dagegen ist deutlich weniger an die Geometrie des Gebäudes angepasst.

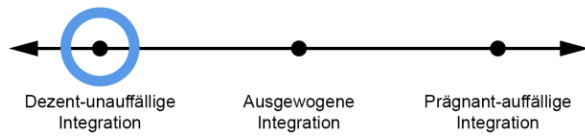
##### Abgestimmte Flächenanteile

Die PV-Anlage in der Fassade hat eine Größe von 144 m<sup>2</sup>, die Dachanlage ist ca. 400 m<sup>2</sup> groß. Bei einer Gebäudeoberfläche von insgesamt ca. 5.000 m<sup>2</sup> [2], liegen die Flächenanteile also bei ca. 3 % (Fassade) und 8 % (Dach).

Maßliche und mengenbezogene Beziehungen wurden auf vielen Ebenen sorgfältig gestaltet. Dabei halfen die skulpturale Gesamtform des Gebäudes und die Stellung der BIPV als Kunst am Bau, sodass diese sich insgesamt unauffällig einfügt.



Abb. 13.8: Ansicht Turm



### 13.3.2 Kriterium 2 - Maßstäblichkeit



Abb. 13.9: Ansicht von Süden

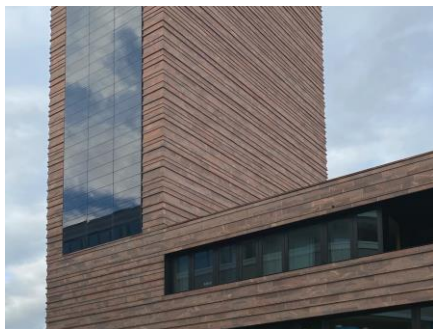


Abb. 13.10: Detailansicht Südfassade

#### Mit Größen des Gebäudes abgestimmt

Der Generator ist in seiner Gesamtgröße anderen Elementen des Gebäudes wie z. B. dem Turm oder den Fensterbändern ähnlich. Sind einzelne Module bei entsprechender Lichtsituation ablesbar, erscheinen sie ähnlich groß wie einzelne Fenster. Einzelne Zellen sind nicht ablesbar.

#### Mit menschlichen Maßstäben abgestimmt

Für menschliche Maßstäbe ist insbesondere der Gesamtgenerator (ca. 65 x 6 m groß) überdimensional groß. Die Einzelmodule mit Abmessungen von 2 x 1 m mildern diesen Effekt etwas ab.

#### Mit bauüblichen Maßen abgestimmt

Entsprechen der Gesamtgestaltung ist das Generatorfeld auch für bauübliche Maße großmaßstäblich integriert. Die Einzelmodule sind diesbezüglich deutlich angepasster.

Insgesamt ist die Fassaden-Anlage auf verschiedenen Ebenen maßstäblich sorgfältig auf das übrige Gebäude abgestimmt. Aufgrund der Großmaßstäblichkeit bestand keine Notwendigkeit auf Sondermaße zurückzugreifen. Insgesamt fügt sich die Anlage ausgewogen ein.



### 13.3.3 Kriterium 3 - Korrespondierende Farben



Abb. 13.11: Ansicht aus Südost



Abb. 13.12: Detailansicht der Farbkombinationen in der Fassade

#### Abgestimmte Farbtöne

Je nach Lichtsituation entsteht zwischen der anthrazit-schwarzen bis bläulichen PV und dem vulkanischen, roten Porphyр-Stein ein leicht komplementärer Farbklang.

#### Abgestimmte Farbhelligkeiten

Die Farben der übrigen Fassade sind deutlich dunkler als die der Module, sodass auch hier ein Kontrast in Bezug auf die Farbhelligkeiten besteht. Zu Farben anderer Elemente wie z. B. Fenstern besteht dagegen kein Helligkeitsunterschied.

#### Abgestimmte Farbsättigungen

Die Farbsättigung der roten Fassade ist höher als die der Module.

Die Farbkomposition zwischen der PV-Fläche und dem Haupt-Fassadenmaterial ist eher kontrastreich gestaltet, während sie mit anderen Elementen monochrom abgestimmt ist. Insgesamt die BIPV am Gebäude so ausgewogen bis auffällig.



### 13.3.4 Kriterium 4 - Korrespondierende Materialien



Abb. 13.13: Materialität der Südfassade



Abb. 13.14: Detailansicht Materialkombinationen in der Fassade

#### Abgestimmte Transparenzen/Opazitäten

Die opaken PV-Module sind den opaken Fassadenflächen zugeordnet, auch wenn sie visuell auch in Verbindung mit den transparenten Fensterbändern stehen.

#### Abgestimmte Glanz-/Reflexionsgrade

Die Oberfläche des Generators ist überwiegend stark glänzend und steht diesbezüglich im deutlichen Kontrast zur matten Oberfläche der Stein-Fassade, erscheint wiederum aber ähnlich zu den Glasbauteilen.

#### Abgestimmte Oberflächentexturen

Auch bezüglich der Oberflächentexturen stehen glatte PV-Module kontrastreich einer rauen Steinfassade gegenüber, deren Einzelsteine in Maßen von 8,5 x 12, 17 x 10 und 25,5 x 8 cm eine „lebendige, griffige Struktur“<sup>[2]</sup> erzeugen.

Die glatten Glas-Module stehen auf allen Ebenen in Kontrast zu den rauen Stein-Oberflächen der übrigen Fassadenteile, erscheinen diesbezüglich aber nahezu identisch zu den Fensterbändern. Insgesamt integrieren sie sich materiell ausgewogen bis auffällig.





Abb. 13.15: Detailansicht Porphyr-Stein

### 13.3.5 Kriterium 5 - Bezug zur Umgebung



Abb. 13.16: Umgebung



Abb. 13.17: Das Gebäude in seiner Nachbarschaft, Blick von Norden



Abb. 13.18: Gebäude der unmittelbaren Umgebung

#### Farbliche Bezüge

Die schwarze, rechteckige Fläche des PV-Generators setzt sich deutlich ab von den Putz- und historischen Stein-Fassaden der Umgebung. In unmittelbarer Nachbarschaft finden sich aber auch neuere Bürofassaden mit schwarzen Fassadenanteilen.

#### Materielle Bezüge

Materielle Bezüge der PV-Anlage bestehen zu verglasten Elementen an Gebäuden der Nachbarschaft.

#### Formale Bezüge

Die einfache, geometrische Flächengestaltung des Generators hebt sich deutlich von den stark verzierten, historischen Fassaden der Umgebung ab. Dennoch nimmt die horizontal aufragende PV-Fläche am Turm in ihrer formalen Gestaltung auch Bezug auf andere „Landmarks“ der Umgebung wie z. B. den Turm des unmittelbar dahinterliegenden Rathauses und bildet mit diesem eine Torsituation, die in die Stadt einleitet.

Die Einfügung der BIPV in die Umgebung wurde entsprechend der restlichen Gebäudehülle überwiegend kontrastreich gestaltet. Trotz ihrer teilweise städtebaulichen Einfügung z. B. aufgrund formaler Entsprechung gegenüber anderen Baukörpern der Umgebung hebt sie sich durch ihre Flächengestaltung, durch ihre Farbe und ihr Material von der Umgebung ab.





### 13.3.6 Kriterium 6 - Abgestimmte Zeichenwirkung



Abb. 13.19: Ansicht Turmspitze

#### Abgestimmte syntaktische Wirkung

Die Anlage wurde gezielt ohne PV-typische Musterwirkung und sehr homogen gestaltet.

#### Abgestimmte semantische Wirkung

Die horizontale Gliederung der Porphyrfassade lässt das Gebäude fest auf dem Boden stehend erscheinen, während die vertikal orientierte PV-Fläche am Turm auf die solare Energie und in den Himmel verweist. Als wesentliche Charakteristik von Gemeindearbeit verstanden, soll die Anlage auf eine höhere Energie im Sinne einer höheren Macht verweisen und Nachhaltigkeit und gesellschaftliche Verantwortung als zentrale Botschaft der modernen Kirche symbolisieren.

Von der BIPV geht keine explizit ornamentale Wirkung aus, ihre Position und Größe sendet aber im Zusammenspiel mit dem übrigen Gebäude und dessen Nutzung eine deutliche Symbolwirkung.



### 13.4 Funktionen der BIPV-Anlage

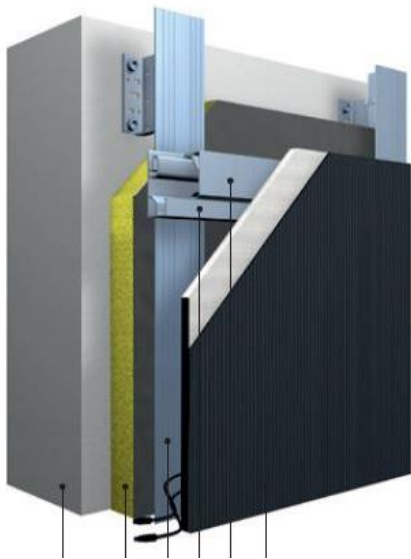


Abb. 13.20: Systemaufbau PV-Fassade

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Stromproduktion</b>         | Die Gesamtanlage kann bis zu 63.500 kWh/a erreichen und deckt damit 40 % der benötigten Energie ab.                                 |
| <b>Witterungsschutz</b>        | Die Module in der Fassade sind oberhalb der Abdichtungsschicht angeordnet und schützen diese vor der Witterung.                     |
| <b>Schallschutz</b>            | Als Teil der Fassade dient die PV-Anlage auch als zusätzlicher Schallschutz.  |
| <b>Repräsentation einer CI</b> | Die Anlage repräsentiert Inhalte der Kirchengemeinde wie z. B. Spiritualität, aber auch Nachhaltigkeit als religiöse Verantwortung. |

## 13.5 Systemtechnik



Abb. 13.21: Ansicht Dachanlage

|   | Fassade                               | Dach                            |
|---|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>1. Standort</b>  | 51° 20' N / 12° 22' O                 |                                 |
| <b>2. Neigung und Orientierung</b>  | 90 °, Süd                             | 3 °, Süd                        |
| <b>3. Verschattung</b>  | unverschattet                         |                                 |
| <b>4. Leistungsfähigkeit der Anlage</b>                                     |                                       |                                 |
| <u>Gesamtsystem</u>   |                                       |                                 |
| Anwendungsbereich   | Fassade                               | Dach                            |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | 2,8 % <sup>[2]</sup>                  | 8 %                             |
| PV-Belegung Gebäudeoberfläche   | 144 m <sup>2</sup> <sup>[1] [2]</sup> | ca. 400 m <sup>2</sup>          |
| Nennleistung/m <sup>2</sup>   | 108,3 Wp/m <sup>2</sup>               | 155,7 Wp/m <sup>2</sup>         |
| Nennleistung  | 15,6 kWp <sup>[4]</sup>               | 54 kWp                          |
| Jahresertrag  | ca. 10.000 kWh/a <sup>[4]</sup>       | 53.500 kWh/a                    |
| Solarer Deckungsgrad  | 40 % <sup>[2]</sup>                   |                                 |
| Anschluss   | Netzanschluss                         |                                 |
| Anzahl Module   | 195                                   | 208                             |
| Anzahl Wechselrichter   | k. A.                                 | k. A.                           |
| <u>Module</u>   |                                       |                                 |
| Art   | rahmenlose CIGS-Dünnschichtmodule     | polykristalline Silizium Module |
| Hersteller  | Sto                                   | IBC                             |
| Größe   | 120 x 60 cm                           | 167 x 100 cm                    |
| Produktbezeichnung  | StoVentec ARTline Invisible           | PolySol 260 TX                  |
| Modulwirkungsgrad   | k. A.                                 | 15,6 %                          |
| Nennleistung  | 80 Wp                                 | 260 Wp                          |
| Modulfläche   | 0,72 m <sup>2</sup>                   | 1,67 m <sup>2</sup>             |
| <u>Zellen</u>   |                                       |                                 |
| Art   | Dünnschicht                           | Polykristallin                  |
| Farbe   | Anthrazit                             | Blau                            |
| <b>5. Temperatureffekte und Hinterlüftung</b>                               | hinterlüftet                          | aufgeständert                   |
| <b>6. Verschaltung, elektrischer Anschluss und übrige Systemkomponenten</b> | k. A.                                 |                                 |
| <b>7. Speicherung</b>   | Batteriespeicher und Netzanschluss    |                                 |

## 13.6 Nachweise

### 13.6.1 Quellenverzeichnis

- [1] SeV 2017, S. 10.
- [2] Baunetz Wissen 2020.
- [3] Fröhlich 2018.
- [4] DBU 2014.
- [5] Kirchbauförderverein der Propstei Leipzig 2015.
- [6] Eurosolar 2016, S. 12.
- [7] Holl 2017.
- [8] Krippner 2018, S. 26.

### 13.6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 13.1: Ansicht (SeV 2017, S. 10)

Abb. 13.2: Lageplan (Schulz und Schulz Architekten/PSA Publishers Ltd., unter: <https://www.german-architects.com/images/CmsPageElementImage/72/67/50/56af87959fe842ebb77705070ab566b6/56af87959fe842ebb77705070ab566b6.c4b964ca.png> [13.09.2021])

Abb. 13.3: Grundriss EG und 1. OG (Baunetz Wissen/Schulz und Schulz Architekten, unter: <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/objekte/kultur-bildung/propsteikirche-st-trinitatis-in-leipzig-5054948/gallery-1/17> [13.09.2021])

Abb. 13.4: Längsschnitt (Archdaily/Schulz und Schulz Architekten, unter: [https://images.adsttc.com/media/images/5841c21d/e58e/ce9e/1900/04c8/slideshow/Schulz\\_Schulz\\_St\\_Trinitatis\\_Plan\\_05\\_Section.jpg?1480704527](https://images.adsttc.com/media/images/5841c21d/e58e/ce9e/1900/04c8/slideshow/Schulz_Schulz_St_Trinitatis_Plan_05_Section.jpg?1480704527) [13.09.2021])

Abb. 13.5: Entwurfsmodell (DBU 2014, S. 9)

Abb. 13.6: Luftaufnahme (eigene Aufnahme)

Abb. 13.7: Ansicht Süd (Sto/Christian Günther, unter: [https://www.sto.com/media/images/references/catholic\\_church\\_/27942\\_Kirche\\_1200.jpg](https://www.sto.com/media/images/references/catholic_church_/27942_Kirche_1200.jpg) [13.09.2021])

Abb. 13.8: Ansicht Turm (eigene Aufnahme)

Abb. 13.9: Ansicht von Süden (Flickr/Sascha Schröder, unter: <https://www.flickr.com/photos/187666612@N04/50095881983> [13.09.2021])

Abb. 13.10: Detailansicht Südfassade (eigene Aufnahme)

Abb. 13.11: Ansicht aus Südost (Propstei-Leipzig, unter: [https://www.propstei-leipzig.de/medien/bilder/Propstei\\_Abendstimmung\\_1280.jpg](https://www.propstei-leipzig.de/medien/bilder/Propstei_Abendstimmung_1280.jpg) [13.09.2021])

Abb. 13.12: Detailansicht der Farbkombinationen in der Fassade (eigene Aufnahme)

Abb. 13.13: Materialität der Südfassade (Baunetz Wissen, unter: <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/objekte/kultur-bildung/propsteikirche-st-trinitatis-in-leipzig-5054948/gallery-1/5> [13.09.2021])

Abb. 13.14: Detailansicht Materialkombinationen in der Fassade (eigene Aufnahme)

Abb. 13.15: Detailansicht Porphyr-Stein (eigene Aufnahme)

Abb. 13.16: Umgebung (eigene Aufnahme)

Abb. 13.17: Das Gebäude in seiner Nachbarschaft, Blick von Norden (eigene Aufnahme)

Abb. 13.18: Gebäude der unmittelbaren Umgebung (eigene Aufnahme)

Abb. 13.19: Ansicht Turmspitze (Propsteikirche St. Trinitatis Leipzig, unter: <https://www.propstei-leipzig.de/download/463/229/17> [13.09.2021])

Abb. 13.20: Systemaufbau PV-Fassade (Sto, unter: [https://buildup-assets-1500.s3.eu-central-1.amazonaws.com/Sto\\_AG/Images/23530\\_2.jpg](https://buildup-assets-1500.s3.eu-central-1.amazonaws.com/Sto_AG/Images/23530_2.jpg) [15.09.2021])

Abb. 13.21: Ansicht Dachanlage (Propsteikirche St. Trinitatis Leipzig, unter: <https://www.propstei-leipzig.de/download/463/229/17> [13.09.2021])

### 13.6.3 Bibliografie

Baumeister, Nicolette (2015): Baukulturführer 97: Propsteikirche St. Trinitatis Leipzig, Amberg, 2015.

Baunetz Wissen (2020): Propsteikirche St. Trinitatis in Leipzig, Baunetz Wissen online (2020), unter: <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/objekte/kultur-bildung/propsteikirche-st-trinitatis-in-leipzig-5054948> [14.11.2020].

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) (Hg.) (2014): Neubau Propsteikirche St. Trinitatis. Abschlussbericht - DBU AZ 28590/01. Unter Mitarbeit von ee concept GmbH, unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-28590-01.pdf> [14.11.2018].

Europäische Vereinigung für Erneuerbare Energien e. V. (EUROSOLAR) (Hg.) (2016): Deutscher Solarpreis 2016. Würdigungsbroschüre, unter: [http://www.eurosolar.de/de/images/stories/DSP\\_2016/W%C3%BCrdigungen/DSP\\_W%C3%BCrdigungsbrosch%C3%BCre\\_2016.pdf](http://www.eurosolar.de/de/images/stories/DSP_2016/W%C3%BCrdigungen/DSP_W%C3%BCrdigungsbrosch%C3%BCre_2016.pdf) [13.12.2021].

Fröhlich, Burkhard (2018): Balthasar Neumann Preis 2016: Neubau Katholische Propsteikirche St. Trinitatis, DBZ Deutsche BauZeitschrift online (22.01.2018), unter: [http://www.dbz.de/news/dbz\\_Nebau\\_Katholische\\_Propsteikirche\\_St.\\_Trinitatis\\_Das\\_katholische\\_2530021.-html](http://www.dbz.de/news/dbz_Nebau_Katholische_Propsteikirche_St._Trinitatis_Das_katholische_2530021.-html) [14.11.2020].

Fröhlich, Burkhard (2016): Balthasar Neumann Preis 2016, in: DBZ Deutsche BauZeitschrift 04/2016, S. 5.

Holl, Christian (2017): Kritischer Regionalismus reloaded, Marlows online (31.01.2017), unter: <https://www.marlowes.de/dam-preis-2017> [04.09.2020].

IBC Solar; Lindner, Christian (2015): Photovoltaik und Kirche: Alles Gute kommt von oben, ibc-blog online (09.01.2015), unter: <https://www.ibc-blog.de/2015/01/photovoltaik-und-kirche-alles-gute-kommt-von-oben/> [04.09.2020].

Kirchbauförderverein der Propstei Leipzig (Hg.) (2015): Propsteikirche St. Trinitatis Leipzig. Ein nachhaltiges Haus dem Schöpfer zur Ehre, Leipzig, 2015.

Krippner, Roland (2018): Solarenergie und Baukultur - Ausgezeichnete Projekte aus dem SeV-Wettbewerb „Architekturpreis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017“. Vortragsfolien vom 24.04.2018 im 10. Forum BIPV im Kloster Banz, Bad Staffelstein.

Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV) (2017): Europäischer Preis Gebäudeintegrierte Solartechnik 2017: Ergebnisse, München.