

# Klimaadaptive Entwurfsmethodik

*Eine Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Klimadaten, klimagerechten Entwurfsmethoden und dem adaptiven Komfortmodell*

**Genehmigte Dissertation XXXX**  
zur Erlangung des akademischen  
Grades Doktor Ingenieur - Dr. Ing. -  
der HafenCity Universität Hamburg

**Vorgelegt von:**  
M.A Gustavo Linhares de Siqueira

**Promotionsausschuss:**  
Vorsitzende: Prof. Dr.-Ing. Frank Wellershoff  
Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Udo Dietrich  
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Willkomm  
Tag der Einreichung: 17.12.2014  
Tag der mündlichen Prüfung: 23.03.2015  
Hamburg 2015

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	
1.1. <i>Definition</i>	1
1.2. <i>Ziel</i>	2
1.3. <i>Gliederung und Methode</i>	3
<b>2. Klima und die traditionelle Architektur</b>	
2.1. <i>Klima</i>	5
2.2. <i>Klimaklassifikation</i>	6
2.3. <i>Traditionelle Architektur</i>	8
2.4. <i>kritische Betrachtung</i>	9
2.5. <i>Beispiele</i>	10
<b>3. Klimagerechte Architektur</b>	
3.1. <i>Thermodynamische Grundlage</i>	21
3.1.1. <i>Trockentemperatur</i>	
3.1.2. <i>Absolute Luftfeuchtigkeit</i>	
3.1.3. <i>Sättigungspunkt</i>	
3.1.4. <i>Relative Luftfeuchtigkeit</i>	
3.1.5. <i>Feuchttemperatur</i>	
3.1.6. <i>Enthalpie (oder Wärmeinhalt)</i>	
3.1.7. <i>Dichte und Volumen</i>	
3.2. <i>Psychrometrie</i>	26
3.2.1. <i>Sensible Heizung oder Kühlung</i>	
3.2.2. <i>Kühlung durch Verdunstung oder adiabatische Kühlung</i>	
3.2.3. <i>Heizung und Befeuchtung oder Kühlung und Entfeuchtung</i>	
3.3. <i>Klimagerechte Architektur</i>	30
3.3.1. <i>Olgyay</i>	
3.3.2. <i>Mahoney</i>	
3.3.3. <i>Givoni</i>	
3.3.4. <i>Eproklid</i>	
3.4. <i>Kritische Analyse</i>	57
3.5. <i>Weiterentwicklungsvorschläge</i>	59

	Seite
<b>4. Thermischer Komfort und die adaptive Theorie</b>	<b>61</b>
4.1. <i>Wärmebilanzmodelle</i>	62
4.1.1. <i>Two nodes</i>	
4.1.2. <i>Fanger</i>	
4.2. <i>Adaptive Theorie</i>	64
4.2.1. <i>Humphreys</i>	
4.2.2. <i>Auliciems</i>	
4.2.3. <i>ASHRAE 55</i>	
4.2.4. <i>CEN 15251 Adaptive Theorie</i>	
4.3. <i>Kritische Analyse</i>	69
<b>5. Evaluierungsmethode</b>	
5.1. <i>Visuelle Analyse</i>	71
5.1.1. <i>Liste</i>	
5.1.2. <i>Scatter Diagramm</i>	
5.1.3. <i>Scatter Diagramm trivariate</i>	
5.1.4. <i>Heatmap</i>	
5.1.5. <i>Boxplot</i>	
5.2. <i>Ausgleichskurve: mittlere Komforttemperatur</i>	87
5.3. <i>Der gleitende Komfortbereich</i>	90
5.4. <i>Ergebnisvisualisierungen</i>	92
5.4.1. <i>Korrelationsdiagramm</i>	
5.4.2. <i>Zeitreihe</i>	
5.4.3. <i>Komfortdifferenz</i>	
5.4.4. <i>absteigende Reihenfolge</i>	
5.5. <i>Auswertung der vorgeschlagenen Evaluierungsmethoden</i>	96
<b>6. Ergebnisse</b>	
6.1. <i>Baumdiagramm</i>	97
6.2. <i>Fallbeispiel</i>	105
<b>7. Konklusion</b>	109
<b>8. Bibliographie und Bildnachweis</b>	110
<b>9. Anhang</b>	114

## **Abstract**

Passive and low-energy design methods are wide spread and remain constant since many decades, thus the comfort demands and the tools to evaluate design have changed. On the one hand, given the availability of hour-step climate data and the many enhancements in the field of the adaptive comfort theory, it is possible to dynamically simulate the design performance based on user's expectations towards the indoor environment. On the other hand a set of basic design parameters are precondition to start design process and precede any evaluations.

This dissertation investigates the missing link between vernacular architecture, climate responsive design and adaptive comfort theory as an evaluation tool for a recursive and comparative design methodology.

A multi-staged method is proposed, wherein both design parameters and evaluation methods are directly connected to main climate groups.

## **Zusammenfassung**

Klimagerechte Entwurfsmethoden sind sehr verbreitet, aber haben sich in den letzten Jahrzehnten kaum verändert, obwohl sich die Komfortansprüche und deren Evaluierungsmethoden stark entwickelt haben. Die vielen neuen Erkenntnisse im Bereich der adaptiven Komforttheorie kombiniert mit der allgemeinen Verfügbarkeit von Klimadaten in Stundenschritten trugen zur Entwicklung von raffinierten Evaluierungsmethoden bei, welche auf dynamischen Simulationen basieren. Diese Evaluierungen setzen allerdings die Vorauswahl von grundlegenden Entwurfsparametern voraus, die von den klimagerechten Entwurfsmethoden geliefert werden könnten.

Diese Dissertation stellt diese fehlende Verbindung zwischen der traditionellen Architektur, den klimagerechten Entwurfsmethoden und der adaptiven Komforttheorie her, und schlägt eine wissenschaftlich begründete und planerorientierte Entwurfsmethodik vor.

Die in dieser Arbeit vorgeschlagene Methodik basiert auf einer mehrstufigen Struktur, die mit der Aufteilung in Klimagruppen beginnt. Auf die jeweilige Klimagruppe abgestimmte Parameter unterstützen den Planer bei der Herstellung von Entwurfsansätzen. Diese können mithilfe einer selbstentwickelten, ebenfalls auf die Klimagruppe abgestimmten Evaluierungsmethode bewertet werden. Dadurch entsteht die Möglichkeit der Optimierung der Entwurfsansätze, um einen klimaadaptierten Entwurf zu entwickeln.

Für Doris

für deine Hilfe,  
für deine Unterstützung,  
für deine Geduld.

ohne sie wäre diese Arbeit gar nicht möglich gewesen

# 1. Einleitung

„Wir tasten uns voran, wir experimentieren, probieren Dinge aus. Niemand weiß, wozu die Umwelt in der Lage ist“

Bruno Latour

## 1.1 Definition: was ist klimaadaptive Entwurfsmethodik?

Der Hauptbegriff des ursprünglichen Titels dieser Dissertation war der einer klimaadaptiven Architektur. Es stellte sich jedoch im Laufe der Arbeit heraus, dass diese Bezeichnung die falschen Erwartungen erweckte, nämlich, eine allgemein gültige architektonische Lösung zu schaffen, die sich an alle klimatische Bedingung anpassen könnte. Daher wurde der Titel geändert in klimaadaptive Entwurfsmethodik, worunter man eine Methode versteht, die sich durch eine sorgfältige Auseinandersetzung mit den spezifischen Klimacharakteristiken eines Standortes auszeichnet und Rücksicht auf die Bedürfnisse der Menschen in Bezug auf das Klima nimmt. Die klimaadaptive Entwurfsmethodik ist ein Versuch, eine Methode zu entwickeln, die die klimagerechten Methoden um die neuesten Erkenntnisse der adaptiven Komforttheorie (adaptive Komfortmodelle) erweitert und im Umkehrschluss die adaptiven Komfortmodelle auf die Bedürfnisse der klimagerechten Methoden anpasst.

Das Verlangen nach Anpassungsfähigkeit des Gebäudes ist in verschiedenen Ebenen zu erkennen. Erstens gibt es allgemeine Klimacharakteristiken, die einen Standort prägen, die die Architektur so beeinflussen, dass sie von derjenigen an anderen Orten deutlich zu unterscheiden ist. Zweitens gibt es die Jahreszeiten, und die von ihnen verursachten Veränderungen innerhalb desselben Standortes. Darüber hinaus entstehen selbst innerhalb eines Tages unterschiedliche Situationen, die die Aufgaben eines Gebäudes ganz verändern.

Da Klima ein dynamischer Prozess ist, soll eine klimaadaptive Entwurfsmethodik auch dynamisch, anpassungsfähig sein können. Die erforderliche Intensität dieser Dynamik wird wiederum von der spezifischen Situation des jeweiligen Standortes bestimmt.

Seit einiger Zeit ist die Tätigkeit des Architekten nicht mehr regional begrenzt, sondern stark auf die internationale Ebene erweitert worden. Die Globalisierung des Berufs ist ein Reiz, aber gleichzeitig eine Herausforderung. Der Einfluss von „Außen“ ist nicht unbedingt ein neues Phänomen und führte in vielen Fällen zu einer Bereicherung der Architektur (Ägyptisch-Römisch-Griechisch, Arabisch-Iberisch, Iberisch-Amerikanisch...). Aber die Geschwindigkeit, in der sich dieser Austausch in der Gegenwart ereignet, macht die Möglichkeit eines schnelleren Überblicks über vollkommen unbekannte Standorte notwendig.

Vor einigen Jahren wurde diese Problematik durch die Anwendung von technischer Gebäudeausrüstung gelöst. Die Vollklimatisierung von Gebäuden, abgesehen von den durch sie verursachten Gesundheitsproblemen, wird nach den ersten Ölkrisen in der 70ern, und

den darauf folgenden ständig steigenden Energiekosten und der Ressourcenverknappung immer mehr in Frage gestellt.

Bei den Berichten des Intergovernmental Panel on Climate Change (Bernstein et al, 2007) wurden Szenarios des Klimawandels dargestellt: es gibt allgemein anerkannte, wirksame Veränderungen, die die Folge des menschlichen Umgangs mit der Umwelt in der Vergangenheit sind. Diese Veränderungen sind unvermeidbar. Außerdem gibt es prognostizierte Szenarien darüber, welche Folgen die gegenwärtigen Handlungen verursachen werden, und Möglichkeiten, wie sie entschärft werden können.

Die Entwicklung einer klimaadaptiven Architektur soll dabei helfen, den menschlichen Beitrag zur globalen Erwärmung zu verringern, indem Ressourcen eingespart und Emissionen verringert werden. Diese Architektur soll auch auf die unvermeidbaren neuen Phänomene reagieren (z.B. die Überhitzungswellen in der gemäßigten Zone, Überschwemmungen in dem Tropengebiet etc.). Diese Ereignisse stellen eine ethische Aufgabe der Architektur dar.

Der größte Vorteil von klimaadaptiver Architektur ist: die von ihr entwickelten Veränderungsvorschläge sind schon in frühen Planungsphasen, nämlich bereits auf der konzeptionellen Ebene wirksam, und deswegen viel weniger aufwändig umzusetzen als die Entwicklung von technischer Gebäudeausrüstung.

## **1.2 Ziel**

Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer wissenschaftlich begründeten Entwurfsmethode, einer analytischen Entscheidungshilfe während des Entwurfsprozesses, bei der die Anpassungsfähigkeit des Menschen auf Klimaphänomene als eine wichtige Grundlage für die Architekturplanung fungiert. Die Anpassung der Menschen, also die Adaptivität ist Gegenstand der adaptiven Komforttheorie. Die hier entwickelte Entwurfsmethode ist für die Planung von passiver und low energy Architektur vorgesehen, wobei der Schwerpunkt auf Wohnungsbau liegt.

Die klimaadaptive Architektur baut auf den vorhandenen Modellen für klimagerechte Architektur. Im englischen heißt klimagerechte Architektur „climate responsive design“ (oder auch „design with climate“). Diese Begriffe, Design (auf Englisch mit Entwurf gleichgesetzt) und Klima, bleiben als Grundmerkmal dieser Arbeit bestehen. Der entscheidende Unterschied zu bestehenden Modellen liegt in ihrem Umfang.

Zum einen entstammen die meisten Entwurfsmethoden zur klimagerechten Architektur aus einer Zeit, in der die Verfügbarkeit von Klimadaten sehr begrenzt war; sie sind deswegen auf Monatsmittelwerte eingeschränkt. Heutzutage sind Klimadaten in Stundenschritten als TRY für die ganze Welt sehr verbreitet und frei verfügbar (z.B: Weather Data Energyplus, Meteororm). Die vorgeschlagene Methode soll auf diesen Anstieg an Information reagieren.

Zum anderen sollen die neuen Erkenntnisse im Bereich von thermischem Komfort berücksichtigt werden und in die Planung von Gebäuden einfließen.

### **1.3 Gliederung und Methode: wie wird die klimaadaptive Entwurfsmethodik erlangt?**

Die Arbeit ist in sieben Kapitel gegliedert, wobei das erste aus einer Einleitung besteht und das letzte eine Konklusion darstellt.

Die weiteren Kapitel sind jeweils in drei Abschnitte gegliedert. Der erste Teil ist eine allgemeine Erläuterung über den Inhalt, der zweite ist die eigentliche Recherche und abschließend folgt eine kritische Betrachtung. Die einzige Ausnahme bildet das Kapitel sechs, welches aufgrund seines Wesens als Ergebnisdarstellung keine kritische Betrachtung enthält.

Bei Kapitel zwei bis vier handelt es sich um Grundlagerecherche und die angewendete Methode basiert hauptsächlich auf Fachliteraturrecherche.

Kapitel fünf basiert auf der Auswertung einer weltweiten Datenbank von Feldforschungen. Diese Auswertung erfolgt sowohl durch statistische Berechnungen mit üblicher Software z. B. Excel, als auch mithilfe von selbstgeschriebenen Skripten (Processing) zur Datenvisualisierung. Das Ziel ist die Entwicklung einer Evaluierungsmethode auf Basis eines Algorithmus sowie eine intuitiv zu erfassende Darstellung der Ergebnisse von thermischen Simulationen.

Kapitel sechs stellt die Ergebnisse der Arbeit in Gestalt einer Entwurfsmethode dar. Darüber hinaus werden Anwendungsbeispiele gegeben und thermische Simulationen mit Primero, eine in der HafenCity Universität Hamburg entwickelte Software für thermische Simulationen, ausgeführt und mithilfe der in Kapitel fünf entwickelten Algorithmen ausgewertet.



## **2. Klima und die traditionelle Architektur**

Dieses Kapitel ist eine Einführung in die Begriffe des Klimas und in die Beziehung von Klima und Architektur. Es stellt die Grundlagen dar, die zum wissenschaftlichen Umgang mit dem Innenraumklima beitragen und ferner eine Auswahl von Methoden, die diese Grundlagen nutzen.

### **2.1 Klima**

Für das Klima spielen die Sonne, die Erdatmosphäre und die Erde selbst eine Rolle. Die Sonne versorgt die Erde durch Strahlung mit Energie. Diese gelangt durch die Atmosphäre auf die Erdoberfläche, wobei die Strahlung gefiltert bzw. absorbiert wird.

In die der Erdoberfläche am nächsten liegenden Schicht der Atmosphäre, die Troposphäre, ereignen sich die für die Menschen sichtbaren Klimaphänomene. (Mayers Taschenlexikon, 1998)

### **Klimafaktoren**

Aus der Kombination der elliptischen Bewegung der Erdbahn und der Neigung der Erdachse ergeben sich die Jahreszeiten, auf der Nord- anders als auf der Südhalbkugel. Aus der Erdrotation entsteht der Unterschied zwischen Tag und Nacht. Die kugelige Form der Erde führt dazu, dass die Sonnenstrahlen in den äquatornahen Gebieten nahezu senkrecht auf die Erdoberfläche treffen, während die den Polen näheren Gebiete in einen flachen Winkel bestrahlt werden. Somit ist die geografische Breite ein wichtiger Klimafaktor.

Hinzu kommen die atmosphärische Zirkulation, die Meeresströmungen und der Wasserkreislauf. Durch sie ergeben sich u.a. die unterschiedlichen klimatischen Charakteristiken von Küsten und Binnenland. Die Ausbildung von Bergen und Tälern und die damit verbundenen Höhenlage sind ein weiterer wichtiger Faktor, die das Klima eines Standortes prägt.

### **Klimaelemente**

Um das Klima eines Standortes zu erfassen, werden meteorologische Messungen bei Wetterstationen durchgeführt und in Datenbanken registriert. Diese Messungen werden in Messeinheiten eingeteilt, die als Klimaelemente bezeichnet werden. Die wichtigsten Klimaelemente sind: Temperatur (°C), Luftdruck (Pa), Windrichtung (°), Windgeschwindigkeit (m/s), Niederschlag (mm), Luftfeuchtigkeit (%), Bewölkung (%) und Sonnenscheindauer (h).

Die Langzeitbeobachtung dieser Elemente (normalerweise eine Periode von 10 bis 30 Jahren) und die statistische Auswertung der Messungen, die diese Vorgänge widerspiegeln (Mittelwerte sowie Abweichungen), führen zu einer stabilen Aufnahme des Klimas eines Standortes.

Da die Wetterstationen meistens nicht in urbanen Räumen liegen, sondern eher an isolierten Orten wie z.B. Flughäfen, spiegeln die ausgewerteten Daten meistens sehr gut die makroklimatischen Charakteristiken wider. Die Tätigkeit der Architekten ist aber meist auf ein dichtes städtisches Gewebe beschränkt, das ein differenziertes Mikroklima aufweist. Diese mikroklimatischen Charakteristiken des zu untersuchenden Standortes sind sehr spezifisch und können deshalb in der vorliegenden Arbeit nicht in ihrem vollen Umfang betrachtet werden. Bei jeder Bauaufgabe muss berücksichtigt werden, ob sich in der direkten Umgebung des Entwurfsareals Barrieren befinden, die etwa die Hauptwindrichtung und die Windgeschwindigkeit verändern können, ob das zu planende Objekt in einem derart dichten Kontext stehen wird, dass solche Phänomene wie etwa „heat Islands“ entstehen, oder auch die direkte Sonneneinstrahlung blockiert wird usw.

## 2.2 Klimaklassifikation: Köppen-Geiger

Um ein allgemeines Verständnis von Klima zu erlangen, sind Klimaklassifikationen sehr praktisch. Sie waren schon in der Zeit der alten Griechen bekannt. Pythagoras ging von einer sphärischen Erde aus und erklärte damit die Verteilung der Wärme auf ihrer Oberfläche. Parmenides, sein Schüler, ergänzte diese Idee durch eine in fünf Zonen gegliederte Klimaklassifikation: eine warme, zwei gemäßigte und zwei kalte Zonen. Diese Konzepte wurden über die Jahrhunderte hinweg überarbeitet und ergänzt, und sie dienen bis in die Gegenwart als Grundlage für Klimaklassifikationsmodelle (Sanderson, 1999).

Im 19. Jahrhundert entwickelte der Botaniker Alphonse de Candolle ein System für die Klassifikation der Pflanzen in Anlehnung an die altgriechische Klimaklassifikation (Sanderson, 1999). Er teilte die Pflanzenarten in fünf Gruppen auf und bezeichnete diese mit Buchstaben: A für die Pflanzen der warmen Klimate, B für jene aus den trockenen Klimate, C für die Pflanzen aus den gemäßigten Klimate, D und E für die Spezies der kalten und polaren Klimate (Essenwanger, 2001).

Der deutsche Wissenschaftler Wladimir Köppen brachte im Jahr 1900 die erste und bis heute, mehr als hundert Jahren später, am meisten verwendete effektive Klassifikation der Welt-Klimate hervor (Sanderson, 1999). Als Grundlage für seine Arbeit benutzte er seine Kenntnis über Pflanzenphysiologie. Wie bei Candolle wird seine Klassifikation in fünf große Hauptgruppen geteilt und mit Buchstaben benannt. Die Nutzung der Beobachtung über die Ausbreitung der Pflanzenarten als Kriterium für eine Klimaklassifikation war damals unumgänglich, da nur eine sehr begrenzte Menge an Klimadaten verfügbar war (Peel et al, 2007). Im Jahr 1936 bekam die Klassifikation von Köppen eine neue Auflage und 1961 eine bedeutende Revision der deutschen Meteorologen Rudolf Geiger, und seitdem wird sie nach den beiden Verfassern benannt.

Ihre Unterteilung des Klimas erfolgt in drei Ebenen. Die erste Hauptebene bestimmt die Klimazone und bezieht sich auf die Monatsmittelwerte der Temperatur. Die zweite Ebene bestimmt den Klimatypen und bemisst sich nach der Niederschlagsmenge. Die dritte und letzte Ebene wird von den Klimauntertypen vertreten, und steht für die Differenzierung von Sommer und Winterverhältnissen. (s. Abb2.1 und 2.2)

Temperatur in °C  
 MAT=Mittelw. Jahrestemp.;  $T_{hm}$ =Temp. heißester Monat;  $T_{km}$ =Temp. kältester Monat;  $T_{mon10}$ =Anzahl Monate > 10°C  
 Niederschlag in mm  
 MAN=Mittelw. Jahres N;  $N_{tm}$ =N. trockenster Monate;  $N_{ts}$ =N. trock. Monate Sommer;  $N_{tw}$ =N. trock. Monate Winter;  
 $N_{fs}$ =N. feuchtester Monat Sommer;  $N_{fw}$ =N. feuchtester Monat Winter;  
 $N_{faktor}$  (wenn 70% MAN Winter =  $2 \times MAT$ ), (wenn 70% MAN im Sommer =  $2 \times MAT + 28$ ), (sonst=  $2 \times MAT + 14$ )

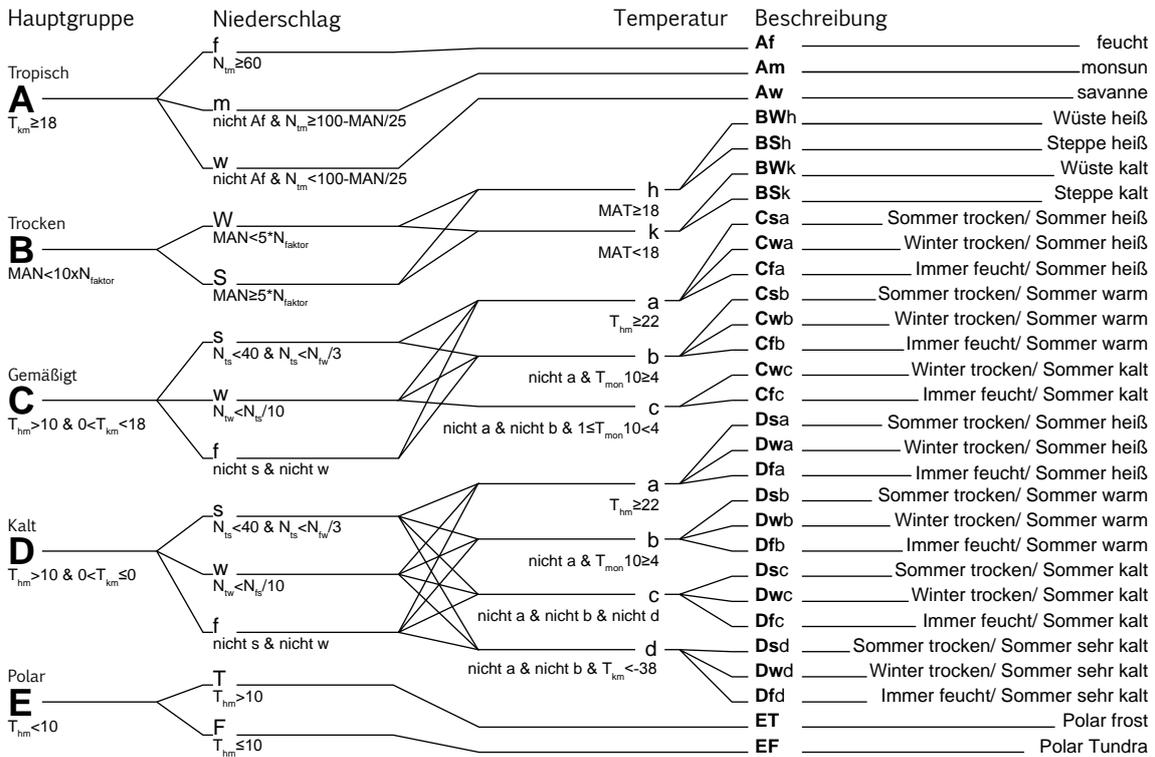


Abb. 2.1 - Klimaklassifikation Köppen-Geiger: Kriterien

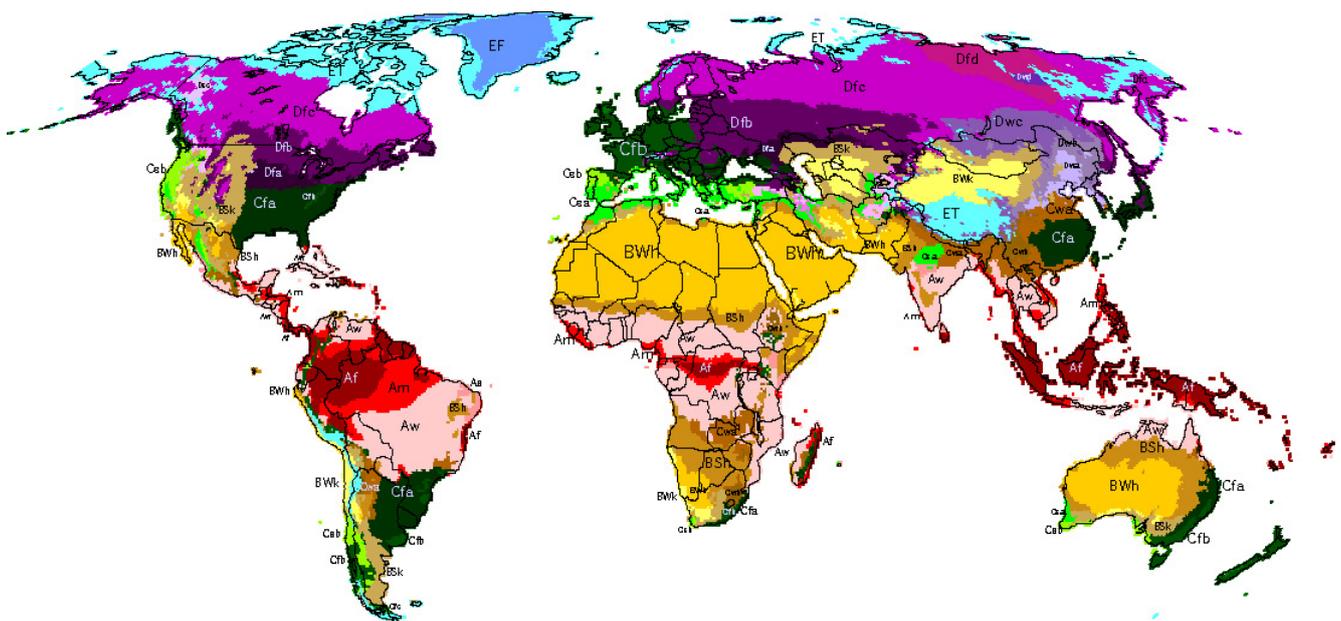


Abb. 2.2 - Klimaklassifikation Köppen-Geiger: Weltkarte

## 2.3 Die traditionelle Architektur

Der Terminus „vernakuläre Architektur“, auch als traditionelle Bauweise bekannt, ist sehr umfangreich und wird sehr unterschiedlich verwendet. Hier steht er für eine Baukultur, die sich an einem bestimmten Ort entwickelt und verwurzelt hat und als typisch für ihn bezeichnet werden kann. Die drei besonderen Merkmale der vernakulären Architektur sind: Nutzung lokaler Ressourcen, Anpassung an klimatische Gegebenheiten, hoher gesellschaftlicher Identifikationsgrad.

Die Entstehung einer für ein Gebiet typischen konstruktiven Tradition erfolgt in langen Zeiträumen und läuft, wenn nicht ausschließlich, dann doch vornehmlich, empirisch ab: durch Versuch und Irrtum. Die Ergebnisse dieses Lernprozesses werden auf konstruktive Techniken übertragen und über Generationen weitergegeben. Das besondere Leitmotiv ist der Schutz gegen ungünstige Witterungen. Die Folge ist die Entwicklung von Bautypologien, die auf die klimatischen Verhältnisse des Ortes reagieren.

Es gibt zahlreiche Erscheinungsformen, die diesen Anpassungsprozess verdeutlichen und hier in Bildern dargestellt werden. Ein gutes Beispiel aus den feucht-warmen Tropen, bei der Köppen-Geiger Klassifikation von der A Zone vertreten, sind die Iban aus dem Dyak See Gebiet in Malaysia (Abb.2.4). Es handelt sich um eine aufgeständerte Bautypologie, die eine optimale Nutzung von Luftbewegung aufweist. Eine weitere ausgeprägte Charakteristik dieser Typologie sind die großen Dachüberstände, die die Innenräume vor direkter Sonneneinstrahlung schützen und starken Regen abweisen. Die Gebäude werden aus Holz oder Bambus gebaut und mit Blättern verkleidet, zwei leichte Materialien, die eine unerwünschte Speicherung der Tageshitze vermeiden.

Das jemenitische Haus (s. Abb. 2.6) ist ein typischer Vertreter des trockenheißen Gebietes, das in die B Zone der Köppen-Geiger Klassifikation eingeordnet wird. Lehm (Ziegelsteine) ist ein schweres Material mit großer Speicherfähigkeit, deshalb gut geeignet, wenn große Tagesschwankungen der Temperatur herrschen, was typisch für Trockengebiete ist. Darüber hinaus werden die Räume dieser Bautypologie kompakt und mit kleinen Fensteröffnungen gebaut, um einen großen Wärmeaustausch zwischen Innen und Außen zu vermeiden.

Aus dem gemäßigten Gebiet, bei Köppen-Geiger die C Zone, zählen die Trulli in Süditalien (s. Abb. 2.8) und die Fachwerkhäuser (s. Abb. 2.10) in Nordeuropa als Beispiel. Beide müssen sich an die saisonalen Variationen der klimatischen Bedingungen anpassen. Im Winter ist die Aufgabe des Gebäudes, die Wärme des Tages zu speichern und schnelle Abkühlung während der Nacht zu vermeiden. Im Sommer soll Schutz gegen die Überhitzung am Tag vorhanden sein und die kühleren Nachttemperaturen ausgenutzt werden. Die Folge ist eine kompakte Bauweise mit schweren Materialien und einer gut gedämmten Außenhülle, mittelgroße Fensteröffnungen und Sonnenschutzvorrichtungen für den Sommer.

Zuletzt sind die Holzkonstruktionen aus Nordamerika - die Log cabins und die alpine Architektur (s. Abb. 2.11) - repräsentativ für das kalte Gebiet. In diesem Gebiet, bei der Köppen-Geiger Klimaklassifikation mit D und E gekennzeichnet, wird der Schwerpunkt auf die Erhaltung der Innentemperatur gesetzt, deswegen wird Holz, ein Material mit guter Dämmfähigkeit, verwendet. Die Fensteröffnungen werden tendenziell klein gebaut und

bei der Orientierung des Hauses wird darauf geachtet, dass eine optimale Ausnutzung der Sonneneinstrahlung gewährleistet wird.

Die vernakuläre Architektur wurde schon von Wright, Aalto und im späteren Werk Corbusiers thematisiert (Frampton, 1980), allerdings lediglich als Ausdrucksform. Eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema findet man unter anderen in den Werken von Fathy (1987), und in den Forschungstätigkeiten von Rudofsky (1989) und Oliver (1987).

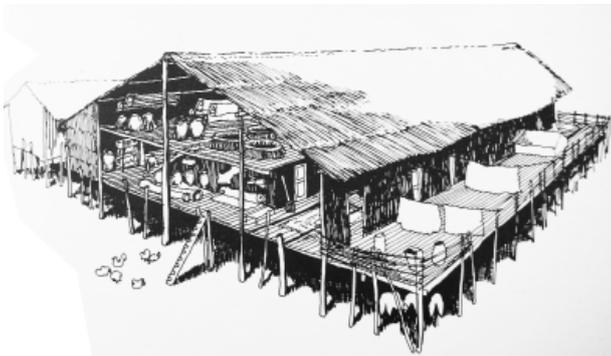
## **2.4 Kritische Betrachtungen**

Die Beobachtung alteingesessener und reichlich geprüfter Baukulturen in Zusammenhang mit den allgemeinen Klimacharakteristiken lässt Rückschlüsse ziehen, wie man mit reduzierten Mitteln eine für einen spezifischen Standort angemessene Baustrategie erzielen kann. Diese Beobachtung bildet die Grundlage für eine gelungene Planung in Umgang mit Klima.

Diese grundlegenden Erkenntnisse können allerdings durch präzisere Analysemethoden weiter verfeinert werden, was u.a. dabei hilft, den erhöhten Ansprüchen nach Komfort des zeitgenössischen Lebensstils gerecht zu werden. Diese Methoden werden in den folgenden Kapiteln eingeführt und vertieft.



*Abb. 2.3 -Vergleich zwischen zwei unterschiedlichen städtebaulichen Typologien. Links ist Marrakesch und rechts Sansibar abgebildet. In Marrakesch besteht ein für ein trockenheißes Klima sehr effizientes System von kompakten Innenhöfen und engen Gassen. Ein geringer Oberflächenanteil der Baukörper ist der Solarstrahlung ausgesetzt, damit bleiben die in der Nacht abgekühlten Massen auch während des Tages verhältnismäßig kühl. In Sansibar dagegen begünstigt die aufgelockerte Struktur eine erhöhte Luftzirkulation zwischen den Gebäuden, was für ein warmfeuchtes Klima angemessen ist.*

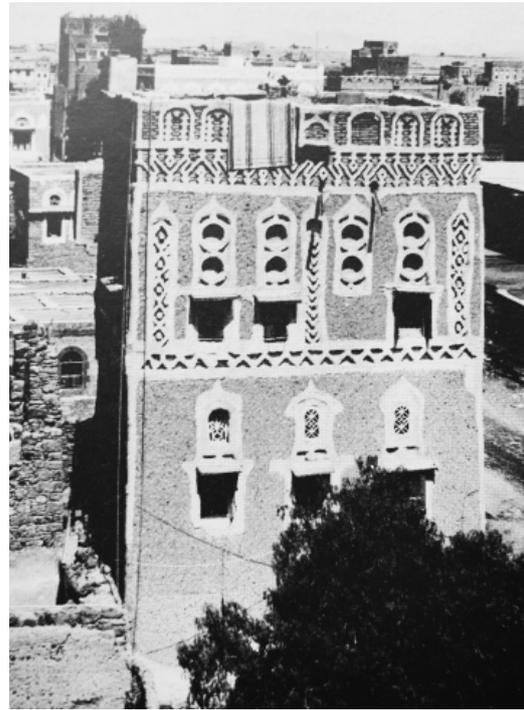


*Abb. 2.4 - Ähnliches Klima, ähnliche Typologien. Das Schema und das Foto oben links zeigen eine leichte Bauweise aus Bambus in Malaysia, die Iban am Dyak-See. Daneben ein Wohnhaus in Kolumbien. Beide Typologien sind für ein warmfeuchtes Klima gut angepasst. Die Dächer sind mit Blättern bedeckt und bilden damit durch ihre Dämmfähigkeit einen Schutz gegen die Solarstrahlung. Die Neigung des Daches und v. a. die Aufständerung der Häusern lassen auf erhöhte Niederschlagsmengen schließen.*



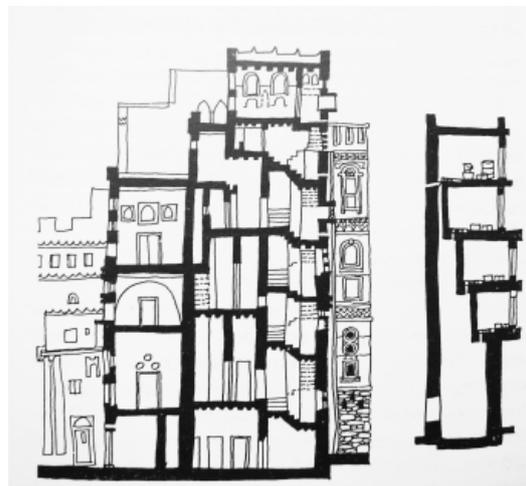
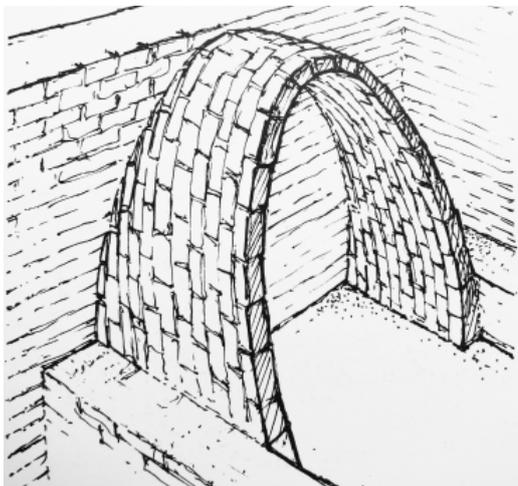
*Abb. 2.5 - Typologien aus einer Siedlung im feuchten, warmen Klima Kameruns. Starke gedämmt und geneigte Dächer leisten Schutz gegen Sonneneinstrahlung und starken Regen. Das Detailfoto zeigt eine winddurchlässige Bauweise.*





*Abb 2.6 - Unterschiedliche Typologien des trocken heißen Klimas. Links eine Berbersiedlung in Tunesien und rechts ein Wohnhaus in Jemen. Die konstruktiven Systeme unterscheiden sich, aber erfüllen den gleichen Zweck: eine wärmespeicherfähige Masse zu bilden. Die Fensteröffnungen sind klein und die Baukörper sehr kompakt.*

*Unten links das Prinzip der nubischen Gewölbe und recht ein Systemschnitt des jemenitischen Hauses.*



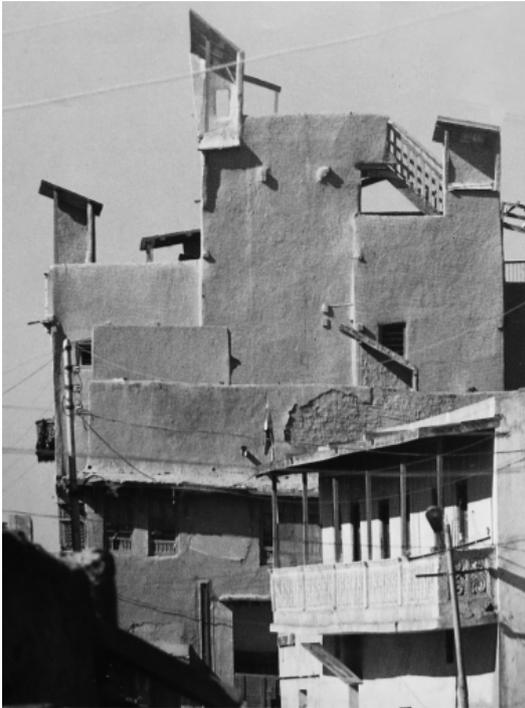
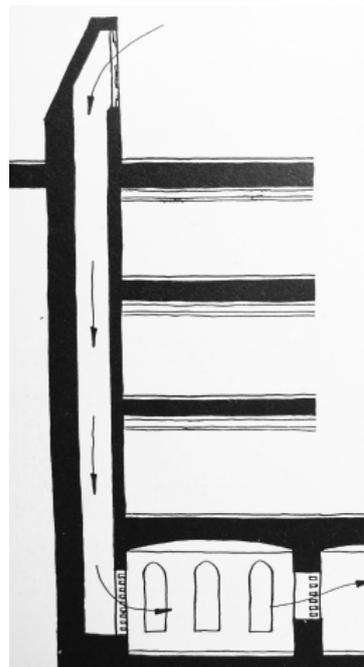
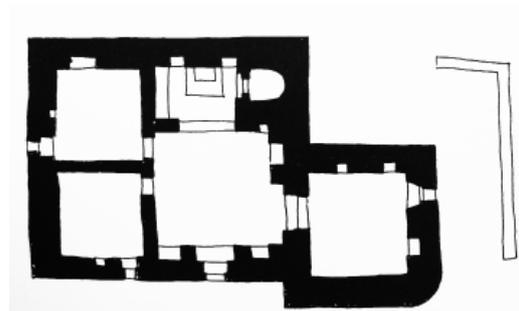
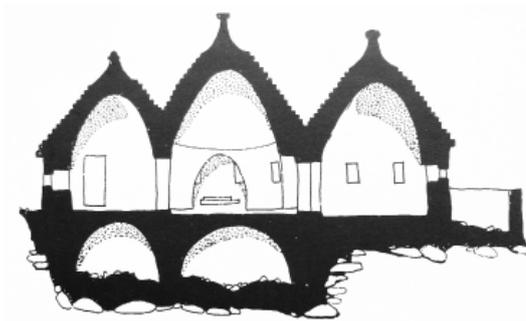


Abb 2.7 - Unterschiedliche Typologien der Kühlungtürme des trockenheißen Klimas. Oben links ein Haus in Pakistan, in der Mitte ein Haus im Oman. Beide Beispiele bestehen aus kompakten Baumassen und schweren Materialien. Der Luftaustausch wird durch den Turm gewährleistet und vermeidet die Solareinstrahlung durch Fensteröffnungen. Im Oman werden diesen Türmen öfters mit Wasserbehältern versehen, um eine Verdunstungskühlung zu ermöglichen. Das Schema zeigt die Badgir (traditionelle Haustypologie in Bagdad).



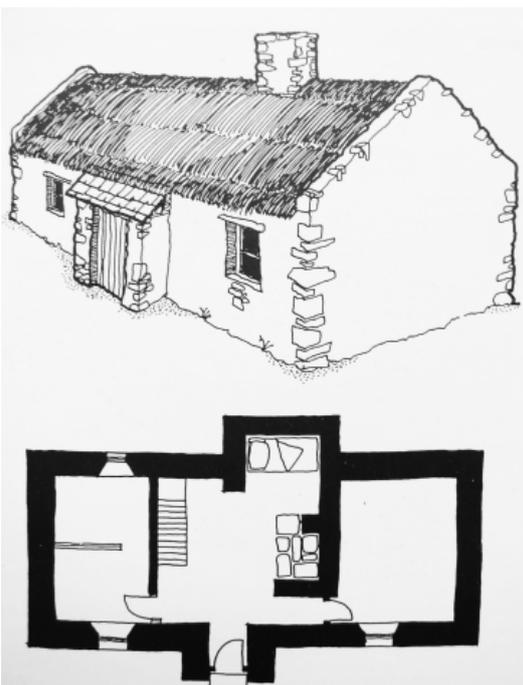


*Abb 2.8 - die Trulli sind eine Bauweise in Süditalien, einem Übergangsgebiet der gemäßigten Klimazone und der trockenheißen Zone. Die Baukörper sind sehr kompakt und die weißgestrichenen Fassaden bieten Schutz gegen die Hitze, da sie das Sonnenlicht reflektieren.*





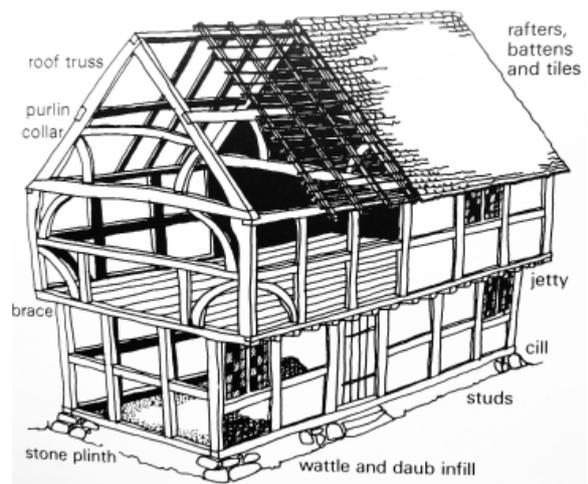
*Abb 2.9 - ein irisches Bauernhaus. Kompakte Bauweise mit schweren Materialien und stark gedämmtem Dach.*





*Abb 2.10 - Fachwerkhäuser als Typologien der gemäßigten Klimazonen. Das Bild oben stammt aus Süddeutschland und das Schema aus einem britischen Haus in Devon.*

*Die stark geneigte Dachform weist auf hohe Niederschlagsmengen (auch in Form von Schnee). Die Mauern bestehen aus einer Kombination aus Holz (Dämmung) und Ziegelsteine (Speichermasse). Die Fensteröffnungen sind auffällig klein.*





*Abb 2.11 - ein Beispiel aus dem kalten Gebiet. Ein Haus in Törbel, Schweiz. Die Gründung ist aus Stein gemauert, aber die Wände sind aus Holz (starke Dämmfähigkeit).*

*Die Fensteröffnungen sind in Richtung der „Sonnenseite“ ausgerichtet.*



## vorgeschlagene Zusammenfassung der Charakteristiken der vernakulären

### Architektur:

Klimagruppe	Charakteristiken:	Strategie:
Warmfeucht <b>A</b>	hohe relative Luftfeuchtigkeit hohe Niederschlagsmengen niedrige Temperaturschwankung	Orientierung: Hauptwindrichtung geringe Raamtiefe Schutz vor dir. Sonnenstrahlung leichte Bauweise Dauerlüftung stark gedämmtes Dach  Beispiel:  Rumah Adat, Indonesien Kampung, Malaysia Malocca, Kolumbien
Trockenheiß <b>B</b>	niedrige relative Luftfeuchtigkeit niedrige Niederschlagsmengen hohe Temperaturschwankung hohe Sonnenstrahlungsintensität	kompakte Bauweisen kleine Fassadenöffnungen Schutz vor dir. Sonnenstrahlung hohe Speichermaße Nachtlüftung  Beispiel:  Lehmarchitektur der Dogon Ziegelsteine Häuser, Yemen Berbersiedlung, Tunesien
Gemäßigt <b>C</b>	mittlere relative Luftfeuchtigkeit mittlere Niederschlagsmenge mittlere Temperaturschw. jahr mittlere Temperaturschw. Tag mittlere Sonnenstrahlungsintensität	Winter: kompakte Bauweisen stark gedämmte Außenhülle hohe Speichermaße  Sommer: Sonnenschutzvorrichtungen Nachtlüftung  Beispiel:  Fachwerkhäuser, Deutschland Truli, Italien
Kalt <b>D+E</b>	niedrige Temperaturen niedrige Sonnenstrahlungsintensität	stark gedämmte Außenhülle Fensteröffnung zur Sonnenseite  Beispiel:  Log cabin in Nordamerika Alpenhäuser, Töbel



### 3. Klimagerechte Architektur

Dieses Kapitel beginnt mit einer Einführung in die Grundlagen der thermodynamischen Prozesse, welche das Innenraumklima beeinflussen. Mit ihrer Hilfe kann eine passive Innenraumklimatisierung ermöglicht werden. Danach werden die gewonnenen Erkenntnisse mit den wissenschaftlich begründeten und auf verschiedenen Komfortmodellen beruhenden Entwurfsmethoden zur klimagerechten Architektur in Zusammenhang gebracht.

#### 3.1 Thermodynamische Grundlage

Der Zustand des Innenraumklimas wird von thermodynamischen Faktoren bestimmt. In diesem Zusammenhang spielt das Verhältnis von Gas-Dampfmischungen bzw. die Mischung von Trockenluft und Wasserdampf eine Hauptrolle. Die Psychrometrie ist der Forschungszweig, der sowohl die Eigenschaften als auch das Verhalten dieser Mischungen untersucht, sowie sich mit deren praktischen Anwendungen beschäftigt. (Auliciems & Szokolay, 2007).

Die Psychrometrie wird von zwei Forschern stark geprägt: Carrier und Mollier. Von jedem stammt ein psychrometrisches Diagramm. Psychrometrische Diagramme werden üblicherweise auf einem zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystem dargestellt, wobei auf einer Hauptachse (entweder der Abszisse X-Achse oder der Ordinate Y-Achse) die Luftfeuchtigkeit repräsentiert wird und auf der anderen die Trockentemperatur. Auf dem Mollier-Diagramm stehen die absolute Luftfeuchtigkeit auf der Abszisse und die Trockentemperatur auf der Ordinate. Auf dem Carrier-Diagramm ist die Zuordnung der Achsen umgekehrt, abgesehen davon sind beide Diagramme analog.

Die Ausführung des Mollier-Diagramms (auch h,x Diagramm genannt) wird in Europa, insbesondere in Nordeuropa und Russland, bevorzugt. Dagegen hat sich das Carrier-Diagramm, dank seiner Weiterentwicklung seitens der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), weltweit behauptet, und soll hier genauer vorgestellt werden.

Die Eigenschaften und das Verhalten der trockenen Luft in Beziehung mit der Luftfeuchtigkeit ändern sich bei Veränderung des barometrischen Luftdrucks, deshalb ist die Darstellung des Diagramms immer nur für eine bestimmte Höhenlage gültig.

Die wichtigsten im psychrometrischen Diagramm (psychrometric chart) dargestellten Zustandsgrößen sind:

- Trockentemperatur
- Absolute Luftfeuchtigkeit
- Sättigungspunkt
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Feuchttemperatur
- Enthalpie (oder Wärmeinhalt)
- Dichte und Volumen

### **3.1.1 Trockentemperatur, x-Achse**

Die Trockenkugeltemperatur oder auch Trockentemperatur (Dry Bulb Temperature – DBT) wird normalerweise einfach als Lufttemperatur bezeichnet. Sie wird von einem konventionellen Thermometer mit trockenem Gefäß gemessen. Ihre Werte werden entweder in °C oder K angegeben. Im psychrometric chart (ASHRAE) wird die Trockentemperatur durch Isothermen dargestellt, die bei 50°C orthogonal zur Abszisse verlaufen und bei sinkender Temperatur zunehmend geneigt werden. (deutscher Wetterdienst) (s. Abb. 3.1)

### **3.1.2 Absolute Luftfeuchtigkeit, y-Achse**

Die absolute Luftfeuchtigkeit (Absolute humidity – AH), absolute Feuchte oder Wassergehalt (Moisture Content, Moisture Ratio) ist die Zustandsgröße, die den Gehalt an Wasserdampf in einer bestimmten Luftmasse wiedergibt. Die Besonderheit der AH ist, dass sie unabhängig von der Lufttemperatur ist. Die AH wird meistens in Gramm Wasserdampf pro Kilogramm trockener Luft (g/kg) ausgegeben, kann aber auch in kg/kg oder auch in kg/m<sup>3</sup> ausgedrückt werden. (deutscher Wetterdienst) (s. Abb. 3.2)

### **3.1.3 Sättigungspunkt und Sättigungskurve**

Bei jeder Temperatur hat die Luft nur eine bestimmte Aufnahmefähigkeit für Wasserdampf. Wenn die Luft ihren maximalen Feuchtigkeitswert erreicht, nennt man dies ihren Sättigungspunkt. Wenn man die Sättigungspunkte bei jeder Temperatur auf dem psychrometrischen Diagramm markiert und verbindet, entsteht daraus eine Kurve: die Sättigungskurve. Diese entspricht einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100%. (deutscher Wetterdienst) (s. Abb. 3.3)

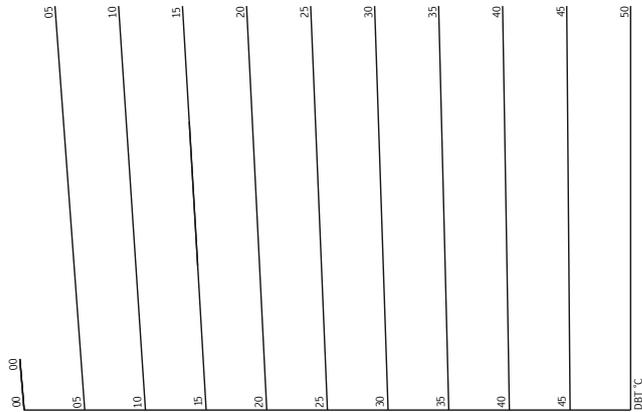


Abb. 3.1 - Aufbau des psychrometrischen Diagramms: Trockentemperatur DBT



Abb. 3.2 - Aufbau des psychrometrischen Diagramms: Absolute Luftfeuchtigkeit AH

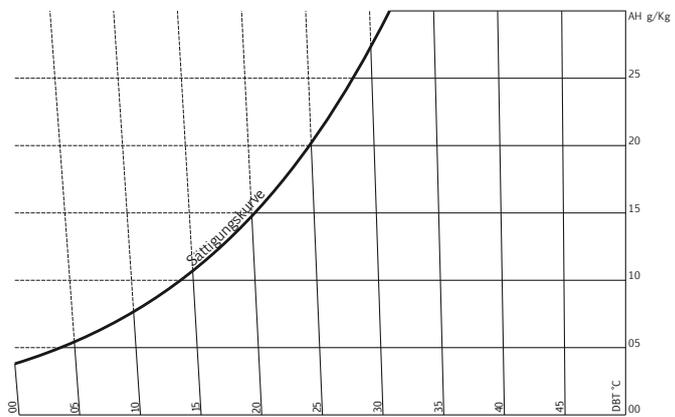


Abb. 3.3 - Aufbau des psychrometrischen Diagramms: Sättigungskurve

### 3.1.4 Relative Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchtigkeit (Relative Humidity – RH) ist der bekannteste Luftfeuchtigkeitsparameter. Sie drückt die in der Luft enthaltene Menge Wasserdampf bezogen auf die maximal mögliche Menge aufzunehmenden Wasserdampf (Sättigungspunkt) aus. Ihre Werte werden in Prozent angegeben und anders als die AH ist die RH abhängig von der Lufttemperatur. Mit steigender Lufttemperatur steigt auch ihre Wasseraufnahmekapazität. (Siemens Buildingtechnologies) (s. Abb. 3.4)

### 3.1.5 Feuchttemperatur

Feuchtkugeltemperatur oder auch Feuchttemperatur (Wet Bulb Temperature – WBT) wird mittels eines Feuchtthermometers, welches ein Bestandteil des Psychrometers ist, gemessen. Der Unterschied zwischen dem Trocken- und dem Feuchtthermometer ist, dass das Gefäß des Feuchtthermometers mit einem „Stoffstrumpf“ bekleidet ist, der während des Messvorgangs befeuchtet wird.

Wie später noch erklärt wird, kann die Trockentemperatur durch die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit gesenkt werden (s. 3.2.2). Die Feuchttemperatur hilft diese Senkung im Voraus einzuschätzen.

Im psychrometrischen Diagramm wird die Feuchttemperatur in °C durch geneigte Isothermen repräsentiert. (deutscher Wetterdienst) (s. Abb. 3.5)

### 3.1.6 Enthalpie

Wärmeinhalt oder Enthalpie (Enthalpy) bezeichnet die in der Luft enthaltene Energiemenge, die eine bei konstantem Druck ablaufende Veränderung innerhalb eines thermodynamischen Systems verursacht. Als Beispiel zählen die Erhöhung und Senkung der Lufttemperatur, sowie Be- und Entfeuchtung der Luft. Die Enthalpie wird mit geneigten Linien nahezu parallel zur WBT dargestellt und wird in kJ/kg Trockenluft angegeben. (Auliciems & Szokolay, 2007) (s. Abb. 3.6)

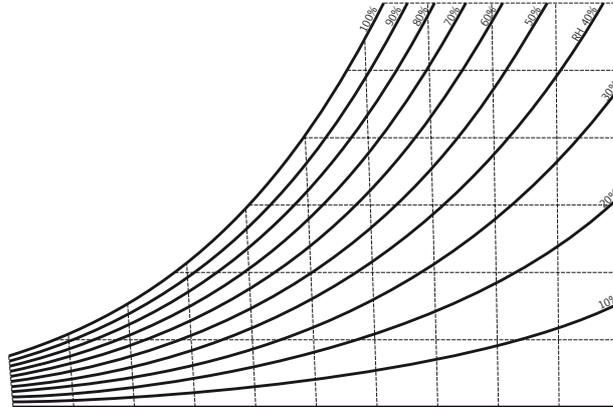


Abb. 3.4 - Aufbau des psychrometrischen Diagramms: Relative Luftfeuchtigkeit RH

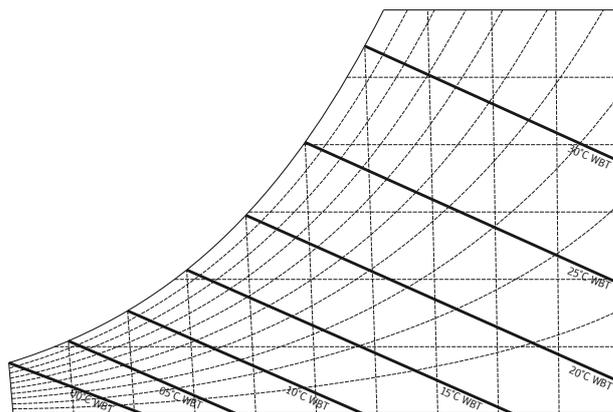


Abb. 3.5 - Aufbau des psychrometrischen Diagramms: Feuchttemperatur WBT

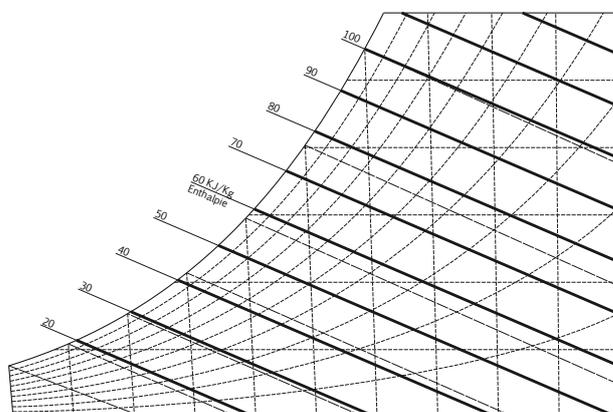


Abb. 3.6 - Aufbau des psychrometrischen Diagramms: Enthalpie

### 3.1.7 Dichte und spezifisches Volumen

Die Dichte beschreibt das Verhältnis von Masse zu Volumen eines Stoffes. Die Einheit der Dichte ist deshalb  $\text{kg/m}^3$ . Das spezifische Volumen ist der Kehrwert der Dichte und wird in  $\text{m}^3/\text{kg}$  ausgedrückt. (s. Abb. 3.7) (Abb. 3.8 Gesamtdarstellung)

### 3.2 Psychrometrie

Jede Veränderung des Innenraumklimas kann auf dem psychrometrischen Diagramm dargestellt werden. Damit ist es zum Beispiel möglich, den Energieeinsatz einer eventuellen aktiven Klimatisierungsmaßnahme zu berechnen. Die Absicht der klimaadaptiven Entwurfsmethodik ist zwar im weitesten Sinne, die Notwendigkeit von aktiver Klimatisierung durch eine gute Planung zu verringern und möglichst zu vermeiden. Dennoch ist eine kurze Einführung Es gibt vier mögliche Operationen: Kühlung, Heizung, Be- und Entfeuchtung, die auch kombiniert angewendet werden. Die wichtigsten dieser psychrometrischen Prozesse sind:

- sensible Heizung oder Kühlung
- Kühlung durch Verdunstung oder adiabatische Kühlung
- Heizung und Befeuchtung
- Kühlung und Entfeuchtung

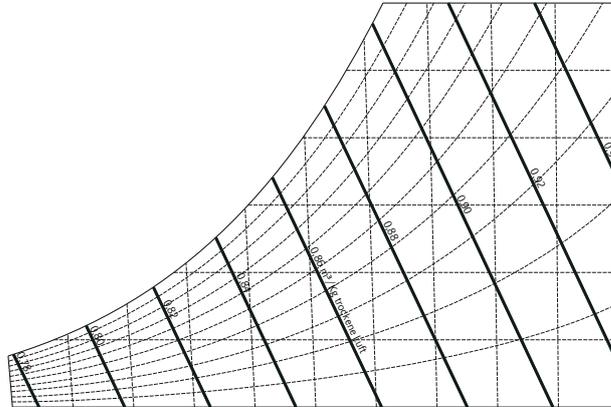


Abb. 3.7 - Aufbau des psychrometrischen Diagramms: spezifisches Volumen

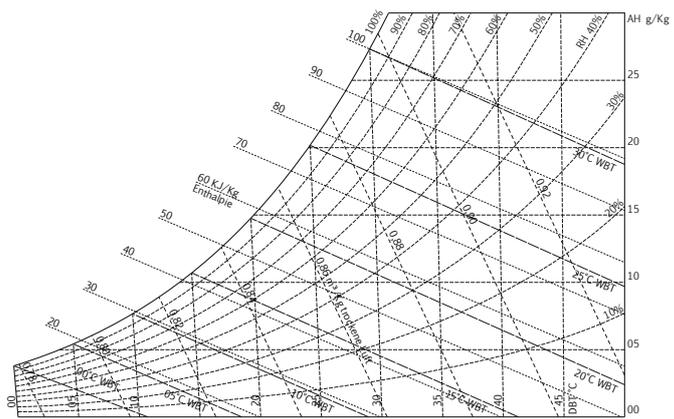


Abb. 3.8 - Gesamtdarstellung des psychrometrischen Diagramms

### 3.2.1 Sensible Heizung oder Kühlung

Sensible Heizung oder Kühlung (Sensible Heating or Cooling) findet ohne eine Veränderung der absoluten Luftfeuchte statt. Bei einem gegebenen Luftvolumen wächst dabei die Enthalpie bei der sensiblen Heizung und die RH nimmt ab, und bei der sensiblen Kühlung schrumpft die Enthalpie und die RH nimmt zu. Dieser Prozess wird auf einem psychrometrischen Diagramm auf einer AH Isolinie repräsentiert. (Siemens Buildingtechnologies) Bei einer im Diagramm dargestellten Temperaturänderung von 20 K kann man auf den Enthalpie-Linien ablesen, dass etwa 10 KJ/Kg Luft aufgewendet werden müssen. Diesen Betrag kann man nun auf das tatsächliche Luftvolumen des zu kühlenden oder zu heizenden Raumes übertragen und damit den Energiebedarf im Voraus berechnen. (s. Abb. 3.9)

### 3.2.2 Heizung und Befeuchtung oder Kühlung und Entfeuchtung

Heizung und Befeuchtung (Heating and humidifying) und Kühlung und Entfeuchtung (Cooling and Dehumidifying) sind zwei psychrometrische Prozesse mit ähnlichen Ergebnissen, aber unterschiedlichen Abläufen. Sie bestehen aus der simultanen Veränderung der Trockentemperatur und des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft.

Sinkt bei der Kühlung die Temperatur soweit ab, dass der Taupunkt erreicht wird, wird flüssiges Wasser aus dem System ausgeschieden. Die AH sinkt. Im Diagramm kann man ablesen, dass beispielsweise für die dargestellte Abkühlung von 25 auf etwa 14 °C eine Energie von etwa 24 KJ/kg Luft benötigt würde.

Da wärmere Luft mehr Wasser aufnehmen in das System kann als kalte, sinkt bei der Heizung der Wert der relativen Luftfeuchtigkeit. Um sie konstant zu halten, muss Flüssigkeit in das System eingeführt werden. Auch für diesen Prozess müssten etwa 24 KJ/kg Luft aufgewendet werden. (s. Abb. 3.10)

### 3.2.3 Kühlung durch Verdunstung

Die Kühlung durch Verdunstung (Evaporative Cooling) ist ein adiabatischer Prozess, das heißt, dass für die gesamte Rechnung am Ende des Prozesses weder Wärmeverlust noch Wärmegewinn stattfinden. Flüssigkeit wird hierbei in ein gegebenes Luftvolumen eingeführt. Der Prozess funktioniert wie die Kühlung der Hautoberfläche durch die Verdunstung von Schweiß.

Bei der Änderung des Aggregatzustandes von flüssigem Wasser zu Wasserdampf (flüssig – gasförmig) wird Wärme benötigt, welche aus der Umgebung bezogen wird. Das verbleibende Wasser sowie die umgebende Luft kühlen ab.

Grafisch kann dieser Prozess auf den WBT-Linien nachvollzogen werden. Es wird hier deutlich, dass für diesen Prozess kaum Energie in das System eingeführt werden muss. (s. Abb. 3.11)

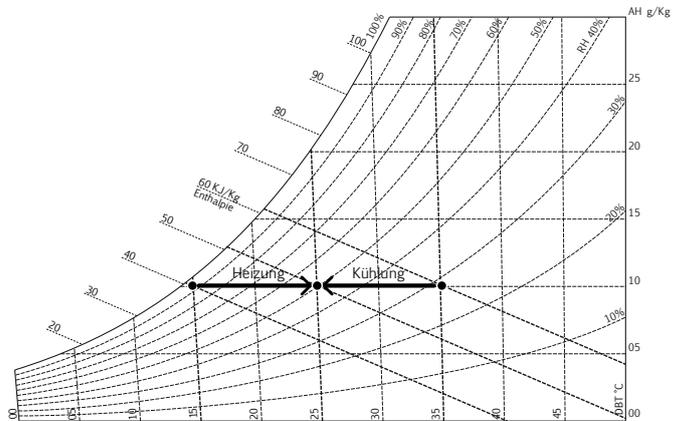


Abb. 3.9 - psychrometrische Darstellung von sensibler Heizung und Kühlung

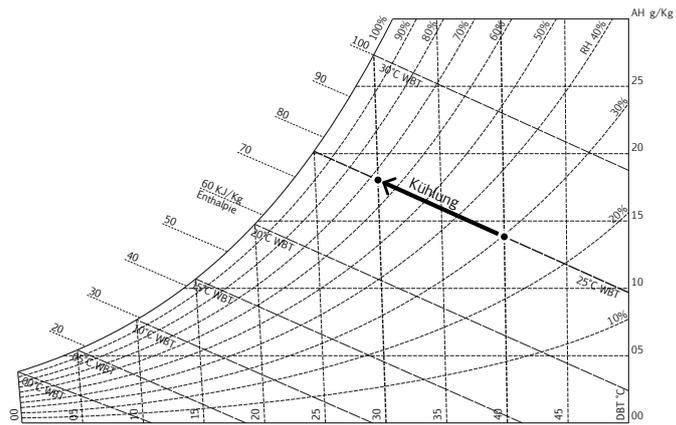


Abb. 3.10 - psychrometrische Darstellung der Kühlung durch Verdunstung

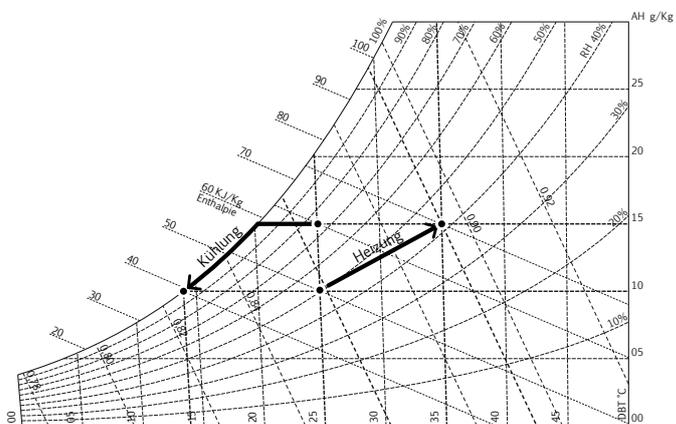


Abb. 3.11 - psychrometrische Darstellung von Kühlung und Entfeuchtung (Kühlung mit Wasserscheidung, links) sowie Heizung und Befeuchtung (Absorptionsmethode, rechts)

### 3.3 Klimagerechte Architektur

Die sogenannte „klimagerechte Architektur“ kann als die Übertragung der Lehre der vernakulären Architektur in moderne und wissenschaftlich geprüfte Methoden beschrieben werden. Eine kleine Auswahl der Methoden zur Ermittlung des Komfortbereichs sowie zur Entwicklung von Entwurfsstrategien soll hier vorgestellt werden:

Olgays „bioclimatic chart“  
die Tabellen von Mahoney  
Givonis BBCC  
ABNT Standard  
Eproklid

#### 3.3.1 Olgay (1963)

Im Jahr 1963 erschien das Buch „Design with Climate“ von Olgay. Insbesondere enthält dieses Werk das erste bekannte bioklimatische Diagramm, welches von Givoni 1998 ausführlich erläutert wird (Givoni 1998).

Dieses Diagramm wurde auf experimenteller Basis erzeugt und auf einem kartesischen Koordinatensystem aufgebaut, bei dem die trockene Lufttemperatur (in C°) auf der vertikalen Achse und die relative Luftfeuchtigkeit (RH in %) auf der horizontalen Achse dargestellt werden. (s. Abb. 12)

Das Diagramm von Olgay besteht aus drei Grundelementen:

einem Komfortbereich in der Mitte  
einem Überhitzungsbereich oben  
einem Unterkühlungsbereich unten

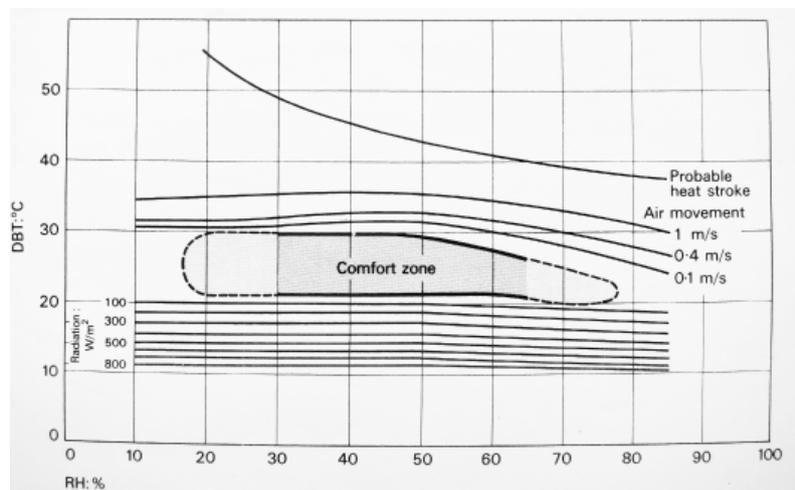


Abb. 3.12 - Olgays bioklimatisches Diagramm

## Olgays Komfortbereich

Die unterste Grenze des Komfortbereichs liegt fest bei 21°C (70°F). Die oberste Grenze variiert entsprechend der relativen Luftfeuchtigkeit (RH). Wenn die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 20 und 50 Prozent beträgt, liegt die oberste Komfortgrenze der Temperatur bei 27.8°C (82°F). Ab 50 Prozent RH sinkt die oberste Komfortgrenze der Temperatur geradlinig bis sie ihren niedrigsten Wert bei 21°C erreicht, was gemeinsam mit dem Erreichen der maximalen 90 % RH Grenze stattfindet.

## Olgays Überhitzungs- und Unterkühlungsbereich

Sobald die Temperaturen die Komfortgrenze überschreiten und in den „Überhitzungsbereich“ (Overheated Zone) gelangen, werden zwei mögliche Strategien empfohlen. Die erste ist die Verwendung von Luftbewegung mit dem Ziel, die Komfortgrenze zu erweitern, da das Hitzegefühl bei bewegter Luft abnimmt. Die zweite Möglichkeit ist die Anwendung von Verdunstung, um eine tatsächliche Senkung der Temperatur zu erzielen.

Wenn die Lufttemperatur den Komfortbereich in Richtung „Unterkühlungsbereich“ (Underheated Zone) verlässt, wird die Anwendung von Strahlungswärme, beispielsweise durch direkte Sonneneinstrahlung empfohlen.

## Olgays Diagrammabwicklung

Auch eine ortsspezifische Abwicklung des Diagramms ist erhältlich: das Diagramm des Klimabedarfs (Chart of Climatic Needs). Diese Abwicklung zeigt den Anwendungsbereich der Strategien im Zusammenhang mit dem Jahreslauf für einen bestimmten Standort (auf der horizontalen Achse werden die Monate und auf der vertikalen Achse der Stundenverlauf dargestellt). (s. Abb. 3.13)

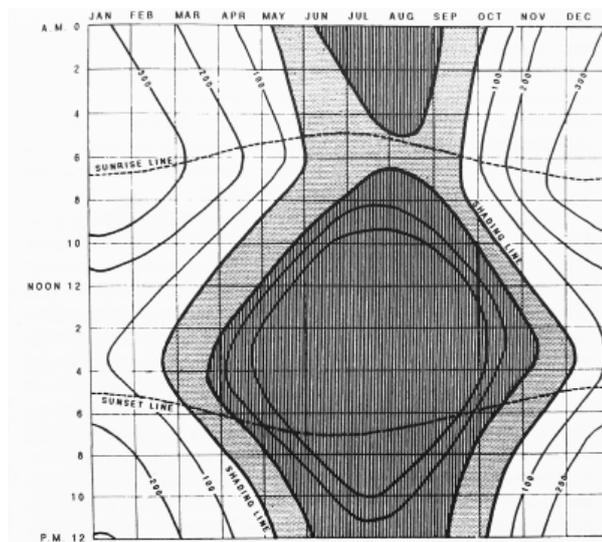


Abb. 3.13 - Olgays Diagramm des Klimabedarfs

### 3.3.2 Mahoney (1971)

Ein ebenfalls sehr verbreitetes Modell wurde von Mahoney Ende der sechziger Jahre entwickelt und in den siebziger Jahren herausgegeben (Königsberger et al 1971). Die Tabellen von Mahoney (Mahoney Tables) dienen als Unterstützung bei den ersten Entwurfsphasen von Wohnungsbau in tropischem gemischtem Klima, sie können aber auch in anderen Klimaten angewendet werden.

Das Modell wird in drei Gruppen von Tabellen aufgeteilt. Die erste Gruppe wird für die Ansammlung von einfachen Sets von Klimadaten benutzt. Die zweite Gruppe hilft bei der analytischen Auswertung der Klimadaten. Die dritte Gruppe hilft bei der Wahl nach der angemessenen Entwurfsstrategie.

Hier werden die drei Gruppen am Beispiel von Bombay, Indien präsentiert.

#### Die Tabellen von Mahoney: Gruppe 1

Die benötigten Klimadaten sind die Monatsmittelwerte für maximale und minimale Außentemperatur, Niederschlagsmenge, Windrichtung und -stärke. Aus diesen Angaben werden vier Indizes bei dieser Gruppe berechnet:

Annual Mean Temperature (AMT): Jahresmitteltemperatur

Annual Mean Range (AMR): Jahresschwankung der Temperatur (maximale Höchsttemperatur minus minimale Tiefsttemperatur)

Monthly Mean Range: Monatstemperaturschwankung

Humidity Group (HG): relative Luftfeuchtigkeitsgruppe. (s. Abb. 3.14)

#### Die Tabellen von Mahoney: Gruppe 2

Die Analyse der Klimadaten führt zu einer Berechnung des thermischen Komforts. Der Komfortbereich wird durch die Kombination des Jahresmittelwertes der Außentemperatur und der Luftfeuchtigkeitsgruppe errechnet und wird für Tag und Nacht differenziert.

Die Daten werden je nach dem Ergebnis der Komfortanalyse mit einer adäquaten passiven Klimatisierungsstrategie, welche durch einen bestimmten Indikator kodiert wird, in Verbindung gesetzt (H1 = air movement essential, H2 = air movement desirable, H3 = rain protection necessary, A1 = thermal capacity necessary, A2 = outdoor sleeping desirable, A3 = protection from cold). (s. Abb. 3.15, 3.16)

#### Die Tabellen von Mahoney: Gruppe 3

Zum Abschluss wird eine statistische Auswertung der schon klassifizierten Klimadaten durchgeführt. Hierfür werden die Indikatoren für jeden Monat in die Tabelle eingetragen und das Ergebnis in den angekreuzten Spalten abgelesen. (s. Abb. 3.17)



indicator (table 2)					
H1	H2	H3	A1	A2	A3

### Layout

			0-10			1	orientation north south
			11-12		5-12		
						0-4	2

### Spacing

11-12						3	open space for breeze penetration	
1-2							4	open space + hot and cold protection
0-1							5	compact lay-out states

### Air movement

3-12						6	single banked rooms , permanent provision for air movement
			0-5				
1-2			6-12			7	double banked rooms, permanent provision for air movement
0	2-12					8	no air movement required
	1						

### Openings

			0-1		0	9	large openings, 40-80%
			11-12		0-1		10
any other conditions						11	medium openings, 20-40%

### Walls

			0-2			12	light walls, short time lags
			3-12				13

### Roofs

			0-5			14	light insulated roof
			6-12				15

### Outdoor sleeping

				2-12		16	space for outdoor sleeping required
--	--	--	--	------	--	----	-------------------------------------

### Rain protection

		3-12				17	protection from heavy rain necessary
--	--	------	--	--	--	----	--------------------------------------

Abb. 3.17 - Die Tabellen von Mahoney, Gruppe 3, Strategien

## Die Tabellen von Mahoney: Anwendungsbeispiele

Zunächst werden vier Standorte ausgewählt, die die vier Hauptklimagruppen vertreten: Klimagruppe A - Singapur, Klimagruppe B - Riad, Klimagruppe C - Lissabon, Klimagruppe D - Helsinki. Die Ergebnisse der Anwendung der Tabellen von Mahoney werden in Abb. 3.18-3.21 gezeigt.

Für Singapur ergibt sich aus der Komfortanalyse, dass der Schwerpunkt auf die Luftbewegung gesetzt werden soll (H1) und zusätzlich Regenschutz gewährleistet sein muss. Die Bauweise soll deswegen leicht sein, die Fensteröffnungen sollen groß sein und Sonnenschutzvorrichtungen sollen vorhanden sein. (s. Abb. 3.18)

TABLE 3

Recommended specifications

Indicators total from table 2					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
12	0	2	0	0	0

### Layout

			0-10			X	1	Orientation north and south (longing axis east-west)
			11,12				5-12	
							0-4	2 Compact courtyard planning

### Spacing

11,12							X	3 Open space for breeze penetration
2-10								4 As 3, but protection from hot and cold wind
0,1								5 Compact layout estates

### Air movement

3-12							X	6 Rooms single banked, permanent provision for air movement
1.2			0-5					7 Double banked rooms, temporary provision for air movement
			6-12					
0	2-12							8 No air movement required
	0,1							

### Openings

			0,1		0	X	9 Large openings, 40-80%
			11,12		0,1		10 Very small openings, 10-20%
Any other conditions							11 Medium openings, 20-40%

### Walls

			0-2			X	12 Light walls, short time-lag
			3-12				13 Heavy external and internal walls

### Roofs

			0-2			X	14 Light, insulated roofs
			3-12				15 Heavy roofs, over 8h time-lag

### Out-door sleeping

			2-12				16 Space for out-door sleeping required
--	--	--	------	--	--	--	---

### Rain protection

		3-12					17 Protection for heavy rain necessary
--	--	------	--	--	--	--	--

Abb. 3.18 - Die Tabellen von Mahoney, Anwendungsbeispiel Singapur

Für Riad ergibt die Komfortanalyse, dass alle Monaten in die A-Kategorie gehören (Arid) mit Schwerpunkt in dem A1-Bereich (Speichermasse). Daher empfiehlt sich eine kompakte Bauweise mit schweren Materialien und mittleren bis kleineren Fensteröffnungen. (s. Abb. 3.19)

TABLE 3

Recommended specifications

Indicators total from table 2					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	0	12	5	3

Layout

			0-10			1	Orientation north and south (longing axis east-west)
			11,12		5-12		
					0-4	X	2 Compact courtyard planning

Spacing

11,12							3 Open space for breeze penetration
2-10							4 As 3, but protection from hot and cold wind
0,1						X	5 Compact layout estates

Air movement

3-12							6 Rooms single banked, permanent provision for air movement
1.2			0-5				
			6-12				7 Double banked rooms, temporary provision for air movement
0	2-12						
	0,1					X	8 No air movement required

Openings

			0,1		0		9 Large openings, 40-80%
			11,12		0,1		10 Very small openings, 10-20%
Any other conditions						X	11 Medium openings, 20-40%

Walls

			0-2				12 Light walls, short time-lag
			3-12			X	13 Heavy external and internal walls

Roofs

			0-2				14 Light, insulated roofs
			3-12			X	15 Heavy roofs, over 8h time-lag

Out-door sleeping

				2-12		X	16 Space for out-door sleeping required
--	--	--	--	------	--	---	---

Rain protection

		3-12					17 Protection for heavy rain necessary
--	--	------	--	--	--	--	--

Abb. 3.19 - Die Tabellen von Mahoney, Anwendungsbeispiel Riad

Die Ergebnisse für Lissabon liegen in den Kategorien A1 und A3 verteilt. Dies deutet auf eine kompakte Bauweise allerdings ohne Hof. Schweren Materialien und mittleren Fensteröffnungen ist der Vorzug zu geben. (s. Abb. 3.20)

TABLE 3

Recommended specifications

Indicators total from table 2					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	0	0	5	0	6

Layout

			0-10			X	1	Orientation north and south (longing axis east-west)
			11,12				2	Compact courtyard planning

Spacing

11,12							3	Open space for breeze penetration
2-10							4	As 3, but protection from hot and cold wind
0,1						X	5	Compact layout estates

Air movement

3-12							6	Rooms single banked, permanent provision for air movement
1,2			0-5				7	Double banked rooms, temporary provision for air movement
0	2-12		6-12				8	No air movement required

Openings

			0,1		0		9	Large openings, 40-80%
			11,12		0,1		10	Very small openings, 10-20%
Any other conditions						X	11	Medium openings, 20-40%

Walls

			0-2				12	Light walls, short time-lag
			3-12			X	13	Heavy external and internal walls

Roofs

			0-2				14	Light, insulated roofs
			3-12			X	15	Heavy roofs, over 8h time-lag

Out-door sleeping

			2-12				16	Space for out-door sleeping required
--	--	--	------	--	--	--	----	--------------------------------------

Rain protection

		3-12					17	Protection for heavy rain necessary
--	--	------	--	--	--	--	----	-------------------------------------

Abb. 3.20 - Die Tabellen von Mahoney, Anwendungsbeispiel Lissabon

Die Komfortanalyse für Helsinki deutet fast ausschließlich auf die Notwendigkeit von Schutz gegen Kälte. (s. Abb. 3.21)

TABLE 3

Recommended specifications

Indicators total from table 2					
H1	H2	H3	A1	A2	A3
0	1	0	2	0	10

Layout

			0-10			X	1	Orientation north and south (longing axis east-west)
			11,12				5-12	
							0-4	2 Compact courtyard planning

Spacing

11,12							3	Open space for breeze penetration
2-10							4	As 3, but protection from hot and cold wind
0,1						X	5	Compact layout estates

Air movement

3-12							6	Rooms single banked, permanent provision for air movement
1.2			0-5				7	Double banked rooms, temporary provision for air movement
			6-12					
0	2-12						8	No air movement required
	0,1					X		

Openings

			0,1		0		9	Large openings, 40-80%
			11,12		0,1		10	Very small openings, 10-20%
Any other conditions						X	11	Medium openings, 20-40%

Walls

			0-2			X	12	Light walls, short time-lag
			3-12				13	Heavy external and internal walls

Roofs

			0-2			X	14	Light, insulated roofs
			3-12				15	Heavy roofs, over 8h time-lag

Out-door sleeping

				2-12			16	Space for out-door sleeping required
--	--	--	--	------	--	--	----	--------------------------------------

Rain protection

		3-12					17	Protection for heavy rain necessary
--	--	------	--	--	--	--	----	-------------------------------------

Abb. 3.21 - Die Tabellen von Mahoney, Anwendungsbeispiel Helsinki

### 3.3.3 Givoni (1976, 1998)

Das bioklimatische Diagramm für Gebäude (Building Bioclimatic Chart - BBCC) wurde von Givoni entwickelt und im Jahr 1976 veröffentlicht. Das psychrometrische Diagramm sowie der Komfortbereich von ASHRAE (s. Herleitung und Anwendung 4.2.3) bilden die Grundlage für sein Modell, und das bioklimatische Diagramm von Olgay dient als Vorbild. Auf Givonis Diagramm erfolgt die Markierung der Grenzen für die Anwendung passiver Klimatisierungsstrategien, ähnlich wie es schon bei Olgay geschehen ist. Durch die Kombination der Stärken der zwei Modelle, und die Ergänzungen auf Basis der Ergebnisse eigener Experimente ist das BBCC entstanden. (s. Abb. 3.22)

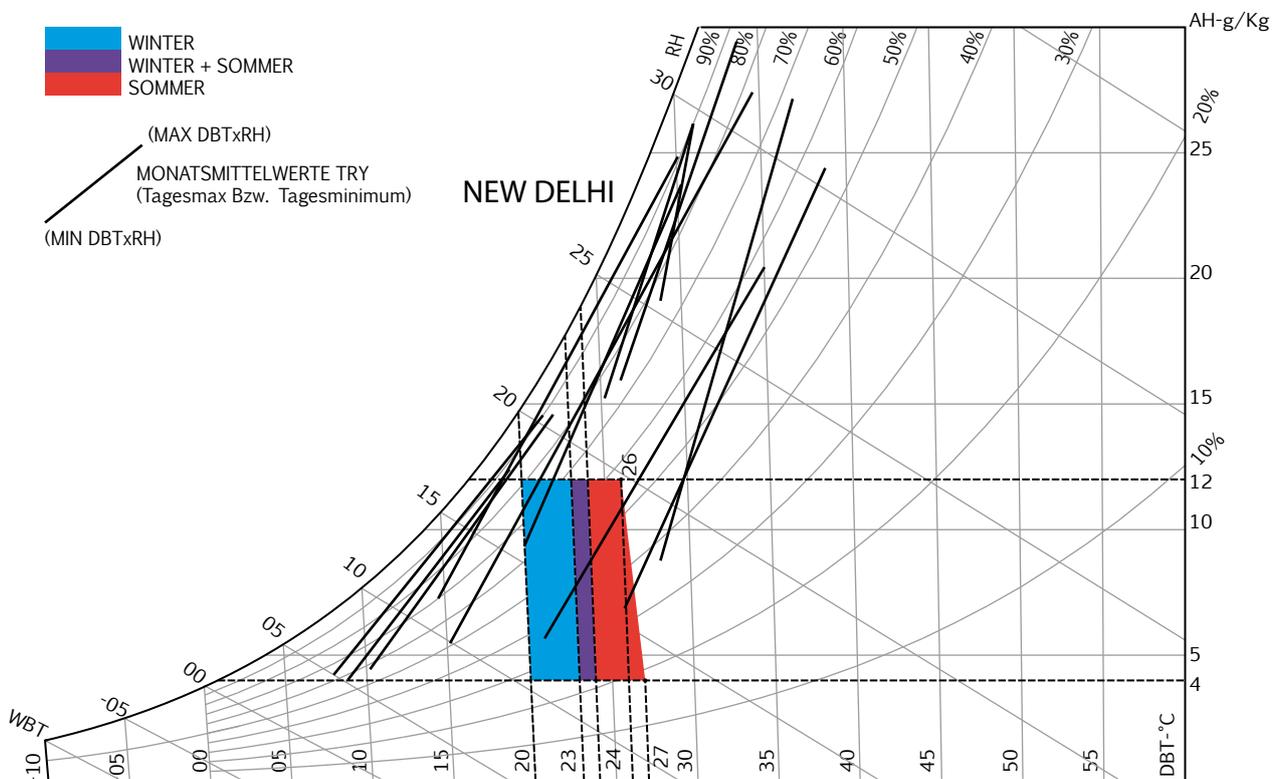


Abb. 3.22 - ASHRAE- Komfortbereich bei Windstille, die Linien bezeichnen die Monatsmittelwerte für Temperatur und Luftfeuchtigkeit in New Delhi

## Das BBCC: der Komfortbereich

Der Komfortbereich, im mittleren Bereich des Diagramms, bezieht sich auf einen windstillen Raum und ist in drei Kategorien geteilt:

- Winter
- Sommer
- Sommer in Entwicklungsländern

Im Winter liegt die Komfortgrenze der trockenen Temperatur zwischen 18 und 25°C (DBT). Die absolute Feuchtigkeitsgrenze liegt zwischen 4 und 15 g/Kg (AH). Die oberste Grenze der relativen Luftfeuchtigkeit liegt bei 80% (RH).

Im Sommer verschiebt sich die Komfortgrenze um 2°C (zwischen 20 und 27°C). Sowohl die absolute Feuchtigkeitsgrenze als auch die oberste Grenze der relativen Luftfeuchtigkeit bleiben unverändert.

Für die Entwicklungsländer (es wird bei Givoni nicht präzisiert welche Länder in diese Kategorie gehören) wird eine weitere Verschiebung der Komfortgrenzen im Sommer vorgesehen. Diese Verschiebung beträgt 2°C für die Trockentemperatur (maximum 29°C) und 2g/Kg für absolute Feuchtigkeit (maximum 17g/Kg). (s. Abb. 3.23)

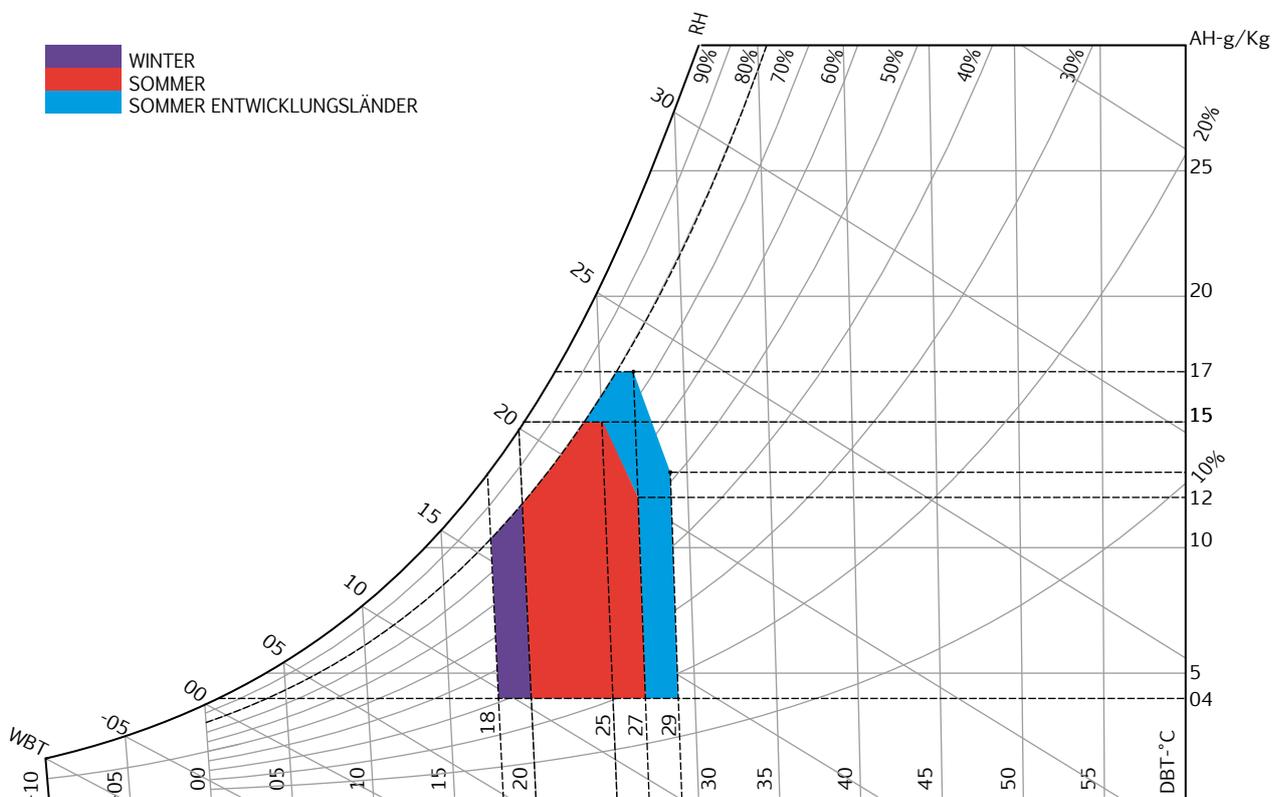


Abb. 3.23 - BBCC Komfortbereich

## Das BBCC: passive Kühlungsstrategien

Außerhalb des Komfortbereichs werden vier Strategien für passive Kühlung vorgeschlagen:

- Tageslüftung (Daytime Ventilation)
- Nachtlüftung (Nocturnal Ventilative Cooling)
- Direkte Verdunstung (Direct Evaporative Cooling)
- Indirekte Verdunstung (Indirect Evaporative Cooling)

### Tageslüftung

Hierbei handelt es sich um die am wenigsten aufwändige Strategie für passive Klimatisierung. Sie besteht aus der Erweiterung der Komfortgrenze durch Luftbewegung. Dadurch wird vermieden, dass Temperatur und Luftfeuchtigkeit steigen, und das Gefühl einer leichten Brise (bis 2 m/s in Bürogebäuden) auf der Hautoberfläche sorgt bei heißen Verhältnissen für mehr Behaglichkeit. Die Innentemperatur gleicht sich durch den ständigen Windaustausch der Außentemperatur an, weswegen diese Strategie bei sehr hohen Außentemperaturen nicht empfohlen wird. Sie ermöglicht eine Verschiebung der oberen Temperaturgrenze des Komfortbereichs im Sommer von bis zu 2°C und der Feuchtigkeitsgrenze von 80% auf 90% (RH) und von 17 auf 19 g/kg (AH). (s. Abb. 3.24)

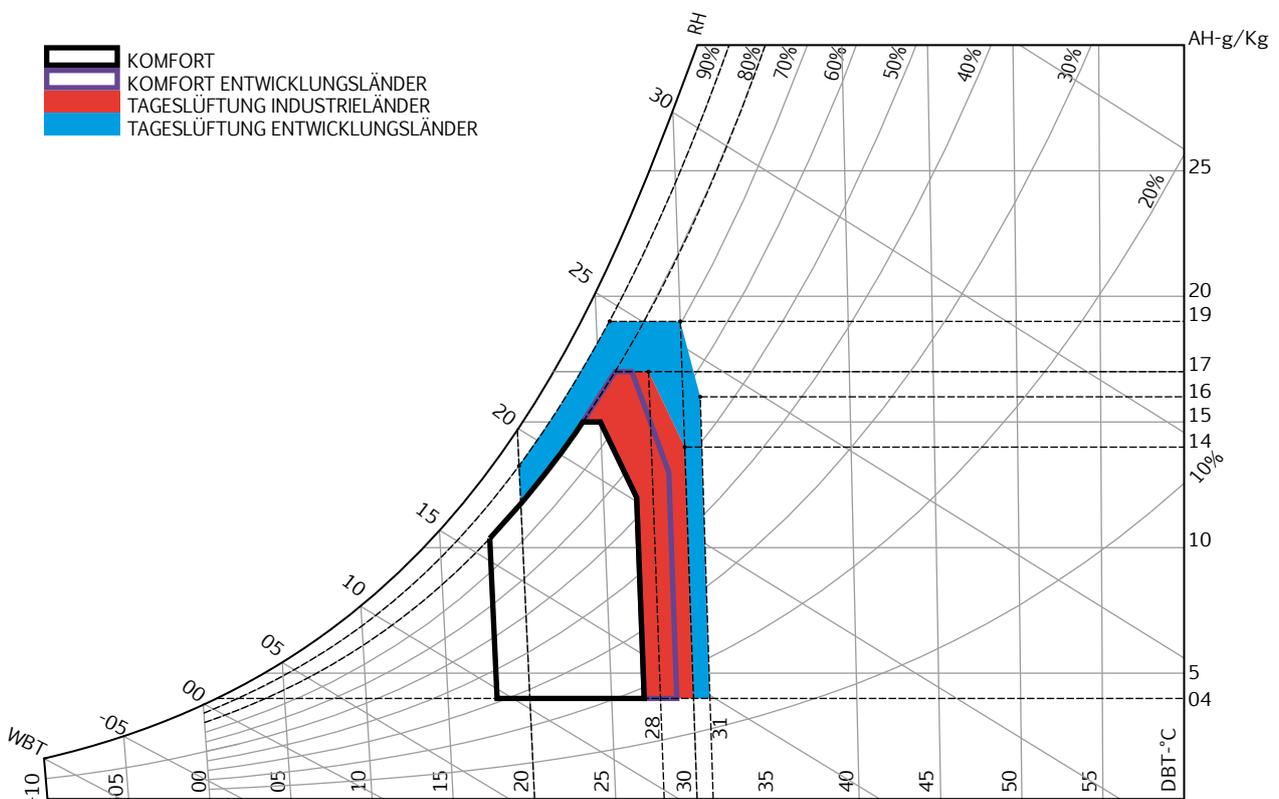


Abb. 3.24 - Erweiterung der Komfortgrenze durch Luftbewegung: Tageslüftung

## Nachtlüftung

Diese Strategie setzt eine hohe Speicherfähigkeit des Gebäudes einerseits und große Schwankungen der Außentemperatur andererseits voraus. Während der Nacht bleiben die Fenster geöffnet und die Innenräume werden von Luft durchströmt. Dadurch entlädt sich die während des Tages erwärmte Speichermasse des Gebäudes und die Innentemperatur sinkt in Richtung der Außentemperatur.

Tagsüber werden die Öffnungen geschlossen gehalten, was zur Reduzierung des Wärmeaustauschs zwischen Innen- und Außenraum beiträgt. Die Innentemperatur steigt langsamer als die Außentemperatur und hält sich nah an dem Tagesmittelwert. Die Effektivität dieser Strategie hängt mit der Tagestemperaturschwankung zusammen. Von der Anwendung solcher Strategien in feuchten Klimaten ist eher abzuraten. Die Grenze der Anwendbarkeit liegt nach Givoni bei 36°C (Tagesmaximum DBT) und verringert sich mit der Steigung des Feuchtigkeitsgehalts bis auf die 15g/Kg Grenze (hier liegt die Temperaturgrenze bei 33°C). Mit der Anwendung von Ventilatoren lässt sich diese Grenze noch um 2°C verschieben, ab dann sollte man andere Strategien bevorzugen. (s. Abb. 3.25)

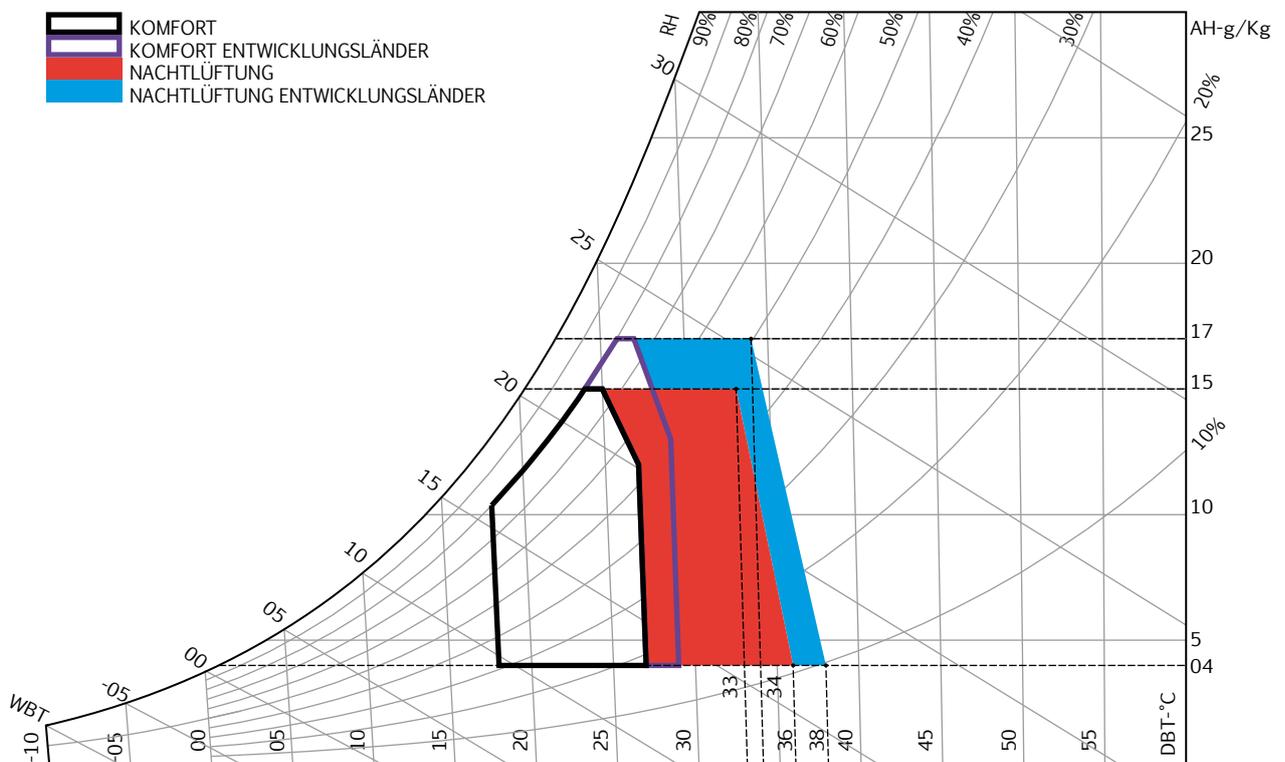


Abb. 3.25 - Kühlung durch Nachtlüftung

## Kühlung durch direkte Verdunstung

Die Kühlung durch Verdunstung ist eine Strategie, die nur in Gebieten mit geringer relativer Luftfeuchtigkeit anwendbar ist. Sie wird vom Wärmeaustausch während des Verdunstungsprozesses verursacht (siehe 8.2). Bei der direkten Verdunstung steht die Steigerung des Feuchtigkeitsgehalts der Luft im Verhältnis zur Senkung der Lufttemperatur (bei 70-80%). Dieses Verhältnis entspricht genau dem Unterschied zwischen der trockenen (DBT) und der feuchten Kugeltemperatur (WBT).

Deswegen folgt die Grenze dieser Anwendung der WBT Linie. Diese Strategie verlangt einen großen Luftaustausch mit dem Außenraum wegen der Steigerung des Feuchtigkeitsgehalts der Luft. Sie kann nur bis auf 2K effektiver als eine einfache, gut gedämmte Wand sein. Für die Industrieländer ist die Grenze zur Anwendung dieser Strategie bei 22°C WBT und 42°C DBT. Für Entwicklungs- und Schwellenländer liegt die Grenze bei 24°C WBT und 44°C DBT. (s. Abb. 3.26)

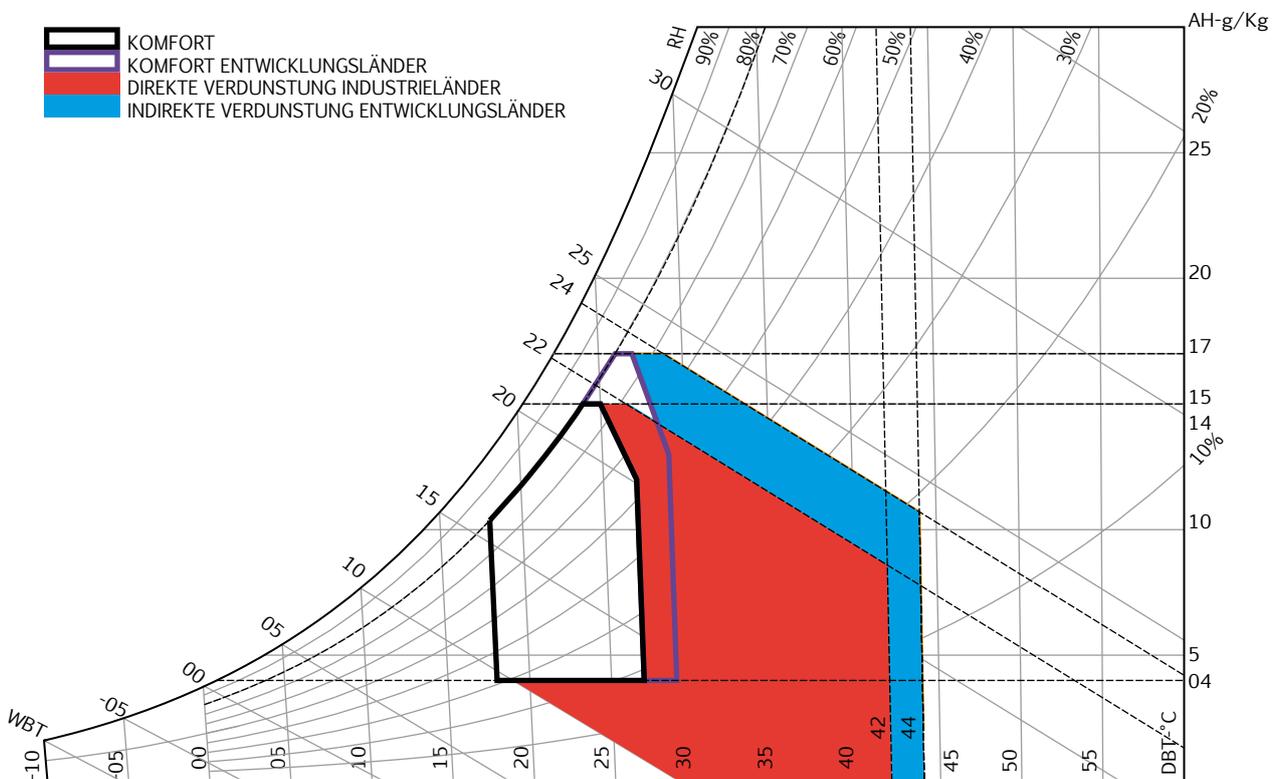


Abb. 3.26 - Kühlung durch direkte Verdunstung

## **Kühlung durch indirekte Verdunstung**

Die letzte passive Kühlungsstrategie operiert durch die Verdunstung von Wasser aus einem Wasserbehälter, der direkt auf der Decke über dem zu klimatisierenden Raum liegt. Auch diese Strategie setzt eine geringe relative Außen-Luftfeuchtigkeit voraus.

Während der Sommerzeit bleibt die Decke während der Nacht in direktem Kontakt mit der Außenluft, so dass sich die Wassertemperatur an die Außentemperatur angleicht. Tagsüber bleibt der Wasserspeicher von der Sonne geschützt und der Temperatureaustausch mit der Außenluft wird verringert, so dass die Wassertemperatur nah an dem Tagesmittelwert der Feuchttemperatur bleibt. Sie wird durch die Verdunstungskühle während der heißen Stunden des Tages noch weiter verringert. Dies führt dazu, dass die Temperatur der Decke durch den Austausch mit dem Wasser sinkt. Die Decke funktioniert dann während der heißesten Perioden des Tages wie ein „Kühlstrahler“. In mehrgeschossigen Gebäuden ist diese Anwendung nicht vorgesehen.

Bei eingeschossigen Bauten, in denen diese Strategie traditionell eher angewandt wird, ist sie auch im Winter nützlich, aber in umgekehrter Weise. Die Decke wird dann während der Nacht mit Wärmedämmung gegen die kühle Außenluft geschützt und tagsüber das Wasser der Sonnenstrahlung direkt ausgesetzt. Die Decke funktioniert somit nachts wie ein Wärmestrahler.

Der Vorteil dieser Strategie gegenüber der direkten Verdunstung ist, dass der Feuchtigkeitsgehalt der Innenraumluft nicht steigt, da sich das Wasser nicht direkt im Raum befindet.

Die Grenze der Anwendung dieser Strategie unterscheidet nicht zwischen Industrieländern und Schwellen- und Entwicklungsländern, und liegt bei 24°C WBT und 44°C DBT (s. Abb. 3.27).

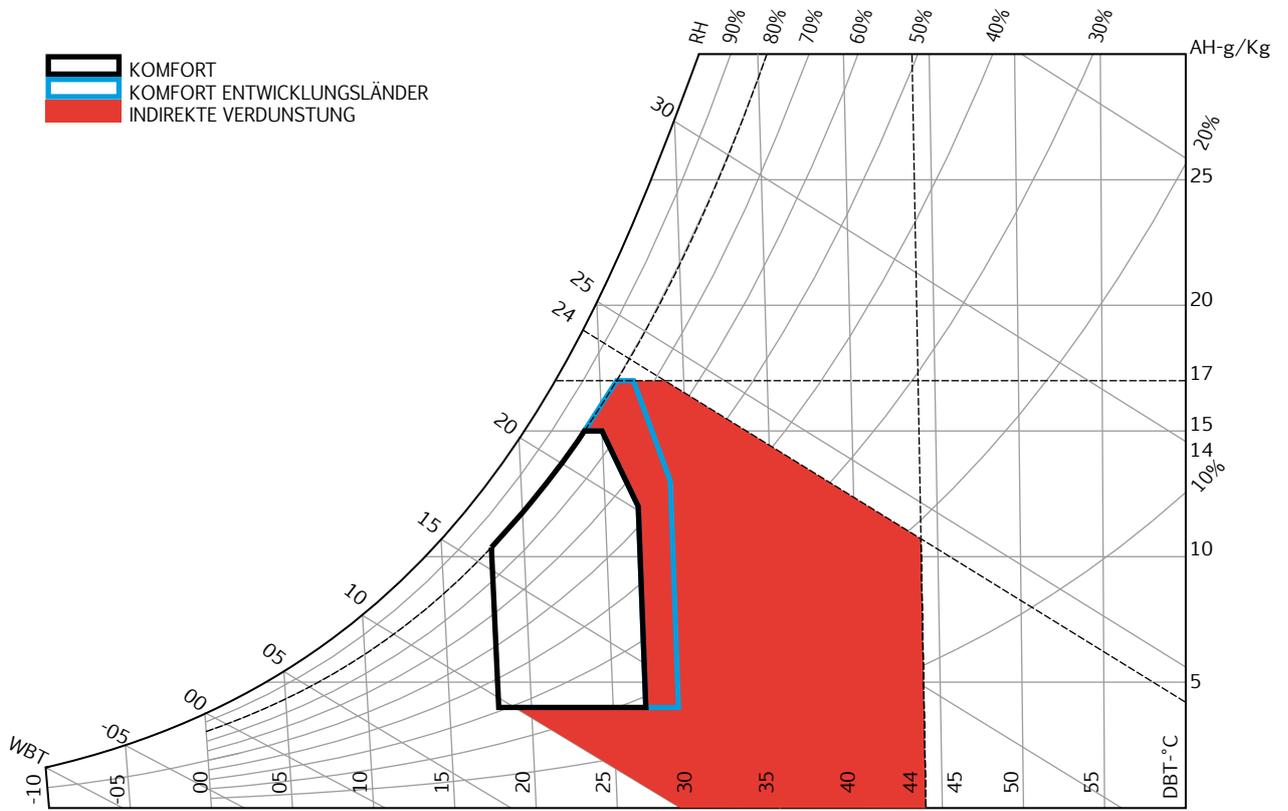


Abb. 3.27 - Kühlung durch indirekte Verdunstung

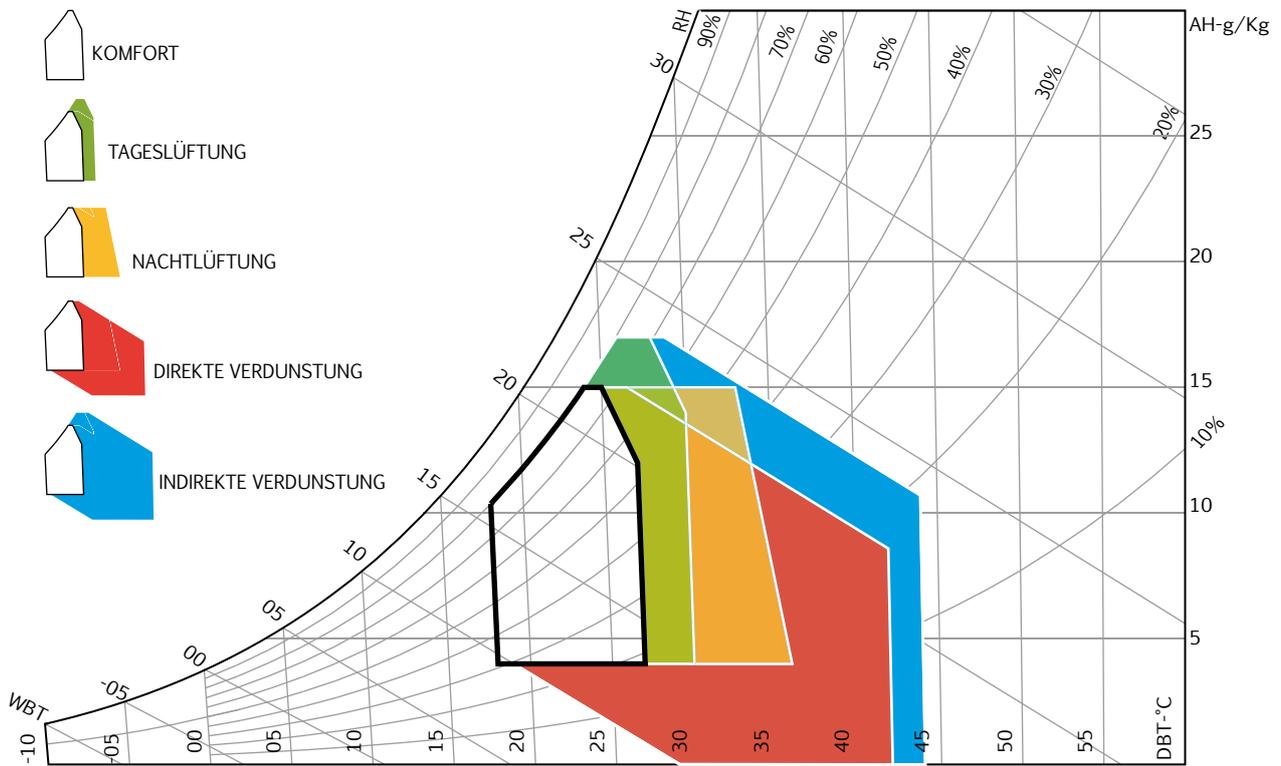


Abb. 3.28 - BBCC der Industrieländer

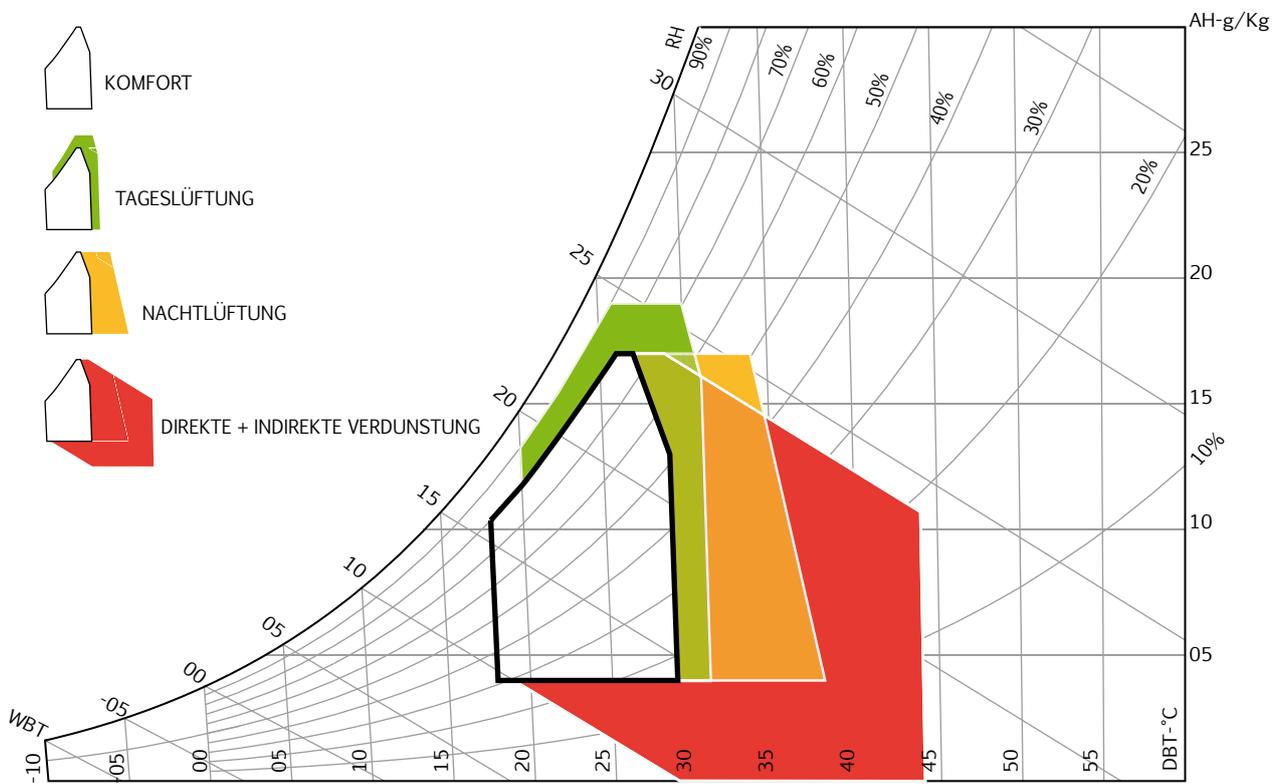


Abb. 3.29 - BBCC der Entwicklungsländer

## BBCC: Anwendungsbeispiele

Die Anwendung des Modelles von Givoni wird anhand derselben Standorte verdeutlicht wie bei Mahoneys Tabellen (s. 3.3.2).

Das Diagramm von Singapur zeigt, dass hier ein recht einheitliches Klima vorherrscht. In jedem Monat des Jahres liegt die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitslinie oberhalb des Komfortbereichs. Der Schwerpunkt liegt auf einer Klimatisierung durch Luftbewegung (am) sowie einer Unterstützung durch aktive Kühlungsstrategien. (s. Abb. 3.30)

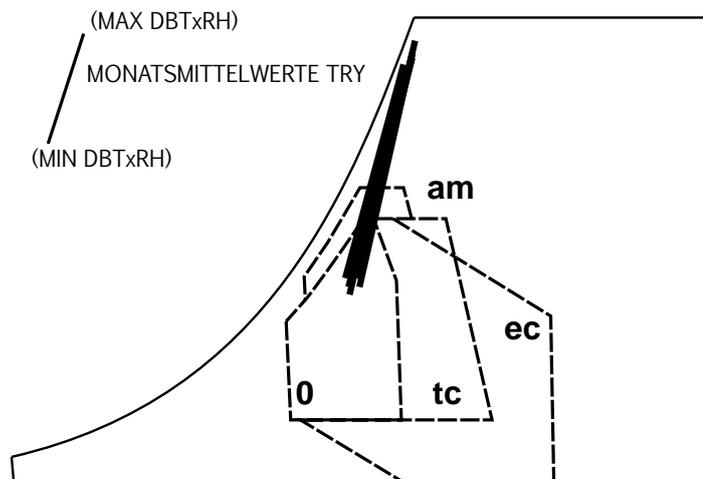


Abb. 3.30 - BBCC, Anwendungsbeispiel Singapur

In Riad liegen alle Monate im unteren Bereich des Diagramms, das heißt, hier herrscht regelmäßig niedrige Luftfeuchtigkeit vor (arides Klima). Die hauptsächlichen abzulesenden Klimatisierungsstrategien sind die evaporative Kühlung (ec) und die Speicherkapazität der Baumaterialien (tc). In den kalten Monaten muss zusätzlich eine aktive Heizung eingesetzt werden. (s. Abb. 3.31)

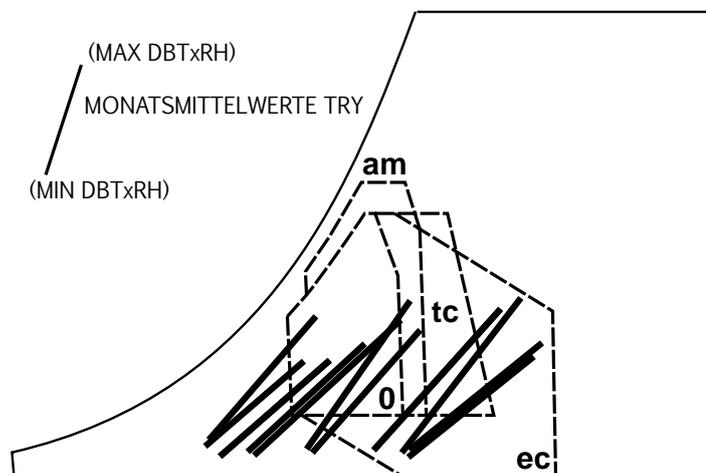


Abb. 3.31 - BBCC, Anwendungsbeispiel Riad

Bei dem Diagramm von Lissabon liegen viele Monate innerhalb des Komfortbereichs. In den kalten Zeiten ist eine aktive Heizung notwendig. Anders als bei Mahoney kann man aus dem Diagramm keine Notwendigkeit für Speicherkapazität der Baumaterialien ablesen. Stattdessen liegt der Schwerpunkt auf Luftbewegung in den warmen Monaten des Jahres. (s. Abb. 3.32)

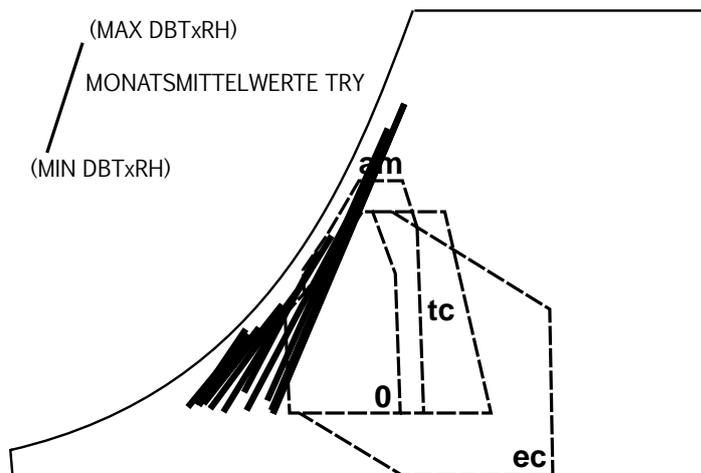


Abb. 3.32 - BBCC, Anwendungsbeispiel Lissabon

Anhand des Diagramms von Helsinki wird verdeutlicht, dass jederzeit eine aktive Heizung eingesetzt werden muss. (s. Abb. 3.33)

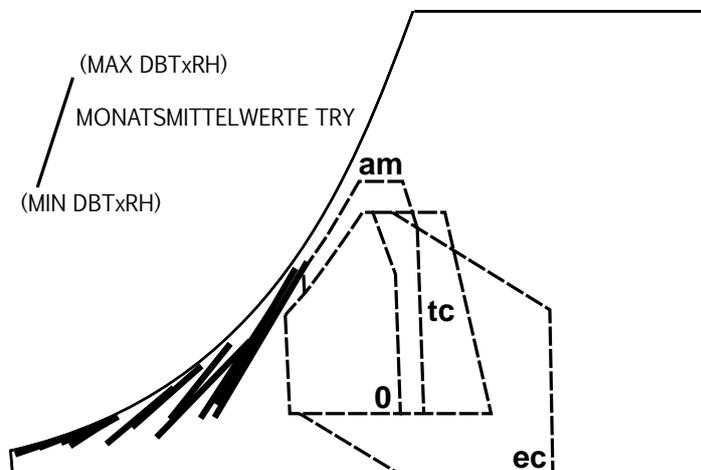


Abb. 3.33 - BBCC, Anwendungsbeispiel Helsinki

### 3.3.4 Eproklid (2008)

#### Gundlage: ABNT

Im Jahr 2003 wurde von der Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) das Projekt für eine Norm verabschiedet, deren Schwerpunkt darauf liegt, Konstruktionsvorschriften für Sozialwohnungsbau unter der Berücksichtigung der unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse in Brasilien zu definieren.

#### ABNT: Komfortbereich

Die Vorteile des BBCC und der Tabellen Mahoneys wurden kombiniert und nach der Erfahrung der Spezialisten an die brasilianische Norm angepasst.

Die Grenzen des Komfortbereichs werden stärker geneigt als bei Givoni und auf die Kurve der relativen anstatt der absoluten Luftfeuchtigkeit bezogen (s. Abb. 3.34).

Darüber hinaus wurden Kriterien für die Anwendung von Entwurfsstrategien auf Grundlage von Mahoney erteilt und ein Diagramm mit dem Anwendungsbereich für Entwurfsstrategien entwickelt.

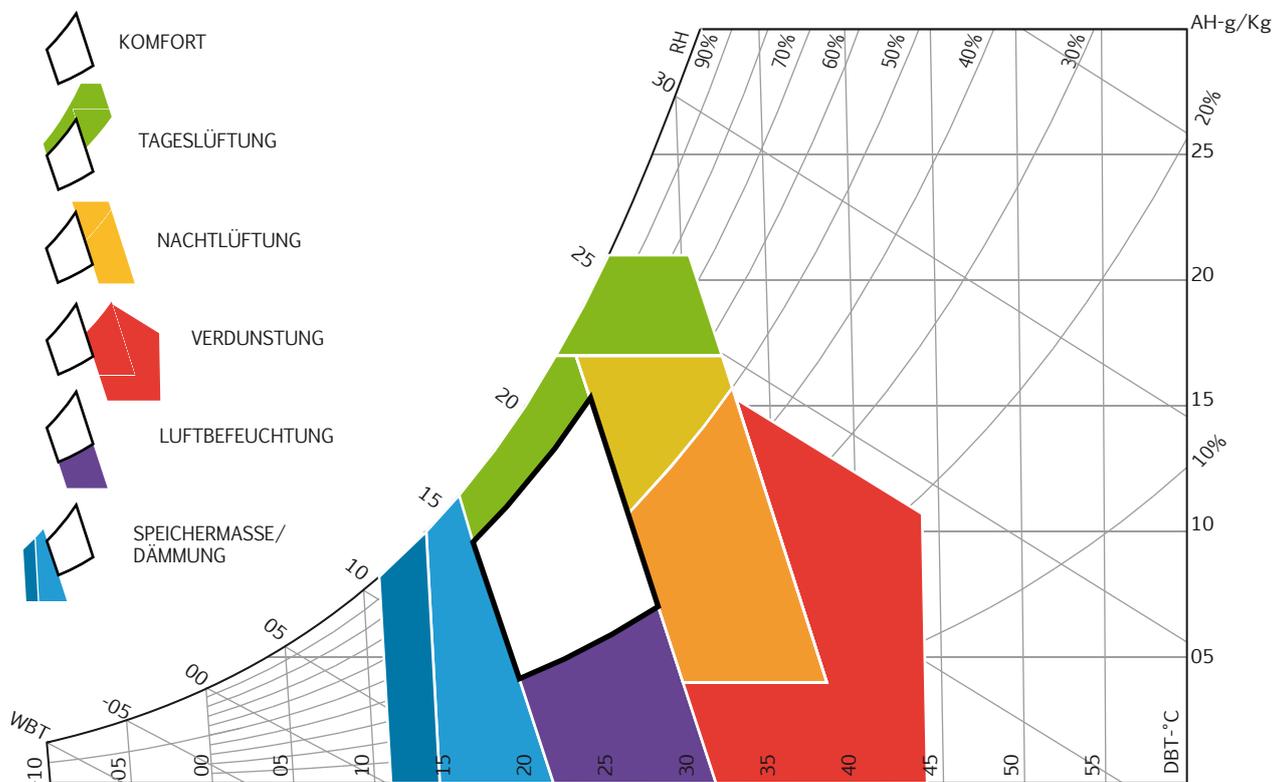


Abb. 3.34 - ABNT, der Komfortbereich

Der Entwurfsprozess mit Klimadaten, kurz Eproklid, ist ein 2008 von de Siqueira entwickeltes Entwurfswerkzeug, welches sich direkt auf die ABNT und indirekt auch auf Mahoney und Givoni bezieht. Durch die Vorschläge der ABNT konnten die Vorteile des Diagramms von Givoni und der Tabellen von Mahoney zu einem einzigen Modell verschmolzen werden, bei dem die Gestaltung der Architektur im Mittelpunkt steht.

## Eproklid: Komfortbereich und Klimaanalyse

Zunächst wurden die Kriterien für die Berechnung des Komfortbereichs von beiden Modellen, ABNT und Mahoney, grafisch verglichen und erneut angepasst. Da festgestellt wurde, dass die absolute Luftfeuchtigkeit für jene Entwurfsparameter irrelevant ist, welche sich direkt mit der Gestaltung des Gebäudes befassen, wurde eine vereinfachte Darstellung entwickelt, in der auf der x-Achse die Außentemperatur in °C und auf der y-Achse die relative Luftfeuchtigkeit in % dargestellt wird. Die Grenzen des Komfortbereichs liegen bei einer mittleren Jahrestemperatur unter 15°C zwischen 21°C und 30°C für eine RH bis 30%. Für eine RH von 30 bis 50% liegt der Komfortbereich zwischen 20°C und 26°C. Für eine RH von 50 bis 70% liegt die Grenze zwischen 19°C und 26°C. Ab 70% RH liegt die Grenze zwischen 18°C und 24°C.

Diese Bereiche verschieben sich bei einem Jahresmittelwert der Temperatur zwischen 15°C und 20°C nach oben um jeweils um 2 K und bei einem Jahresmittelwert über 20°C um 4 K. Die weiteren benutzten Kriterien für die Analyse des Klimas sind die Tagesschwankung der Temperatur um mehr als 10K und die 14g/m<sup>3</sup> Schwülegrenze nach DIN 1946 (s. Abb. 3.35).

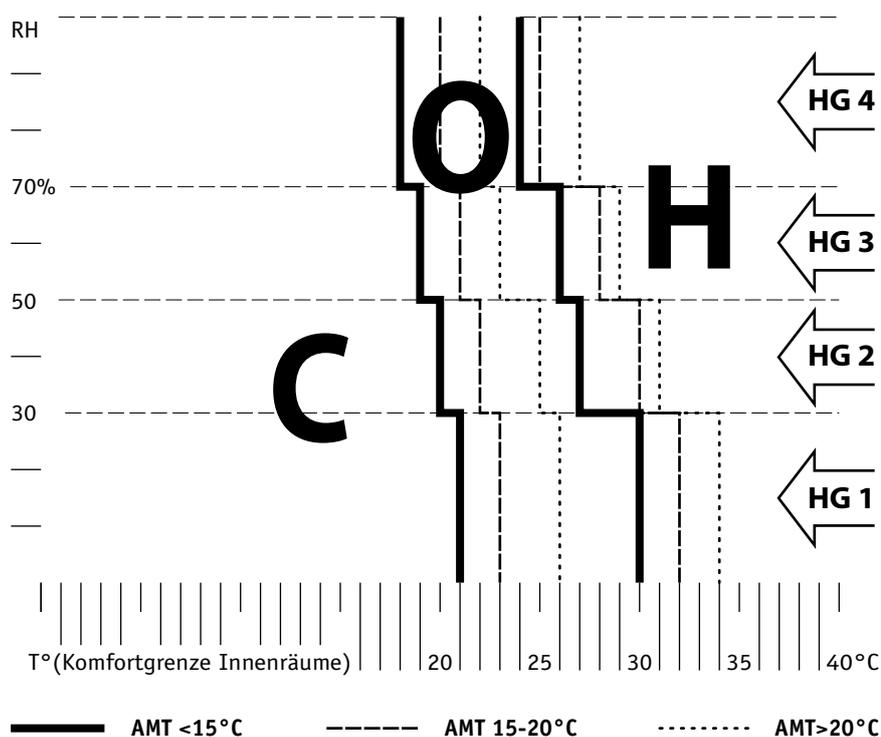
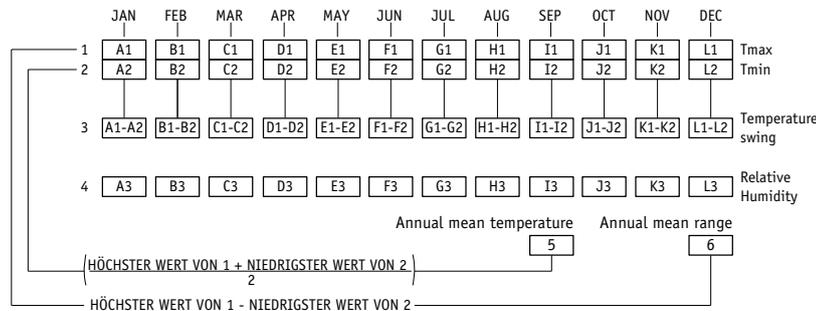


Abb. 3.35 - Eproklid, der Komfortbereich

## Eproklid: Anwendung

Zunächst werden die Klimadaten des Standortes an dem die Entwurfsaufgabe zu lösen ist analysiert und nach folgenden Tabellen aufgeschlüsselt. (s. Abb. 3.36)



1,2,4 KLIMASET: gesammelte Messwerte für einen gewissen Standort. Hier werden die Messwerte von Meteornorm erstellt (30 Jahre Mittelwert).

1 Lufttemperatur Tmax = Mean max. (Mahoney<sup>2</sup>) = Tdmax Mittl. Tagesmaximum (Meteornorm <sup>5</sup>)

2 Lufttemperatur Tmin = Mean min. (Mahoney<sup>2</sup>) = Tdmin Mittl. Tagesminimum (Meteornorm <sup>5</sup>)

4 Relative Humidity (Mahoney<sup>2</sup>) = RH = relative Luftfeuchtigkeit

Abb. 3.36 - Eproklid: Eingabe der Klimadaten

Es wird ein Schema mit neun Feldern entwickelt, wobei jedes dieser Felder für eine bestimmte klimatische Einordnung steht. Die drei Spalten repräsentieren „kalt“ (K), „neutral“ (N) und „heiß“ (H). Zeile 1 steht im neutralen und im heißen Bereich für eine Überschreitung der Schwülegrenze nach DIN 1946. Im kalten Bereich wird der von Mahoney eingeführte Begriff der Jahrestemperaturschwankung („Annual Mean Range“, AMR) zugrundegelegt, und in Zeile 1 diejenigen Orte einsortiert, deren Jahrestemperaturschwankung unter 20K beträgt, und deren Tagestemperaturschwankung Tsw unter 10 K liegt, Orte also, an denen ein eher einheitliches Klima vorherrscht.

Die zweite Zeile bezieht sich in allen drei Spalten auf Messwerte, deren Tagesschwankung unter 10 K bleibt. Im kalten Bereich ist die Jahrestemperaturschwankung größer als 20 K, im neutralen und im heißen Bereich bleiben die Messwerte unterhalb der Schwülegrenze.

In die dritte Zeile gehören die Messwerte derjenigen Orte, die eine Tagesschwankung von mehr als 10 K aufweisen. Dabei bleibt die relative Luftfeuchtigkeit außer Betracht. (s. Abb. 3.37, 3.38)

Lufttemperatur jahrlang regelmässig unter der Komfortgrenze [K];[AMR<20°C] Keine grosse Lufttemperaturschwankung [T°sw<10°C]	Lufttemperatur in Komfortbereich [N] Verhältnis Lufttemperatur/Relative Luftfeuchtigkeit über der Schwülegrenze	Lufttemperatur über der Komfortgrenze [H] Verhältnis Lufttemperatur/Relative Luftfeuchtigkeit über der Schwülegrenze	KALT <b>G<sub>1</sub></b>	NEUTRAL SCHWÜL <b>N<sub>1</sub></b>	HEIß SCHWÜL <b>H<sub>1</sub></b>
Lufttemperatur unter der Komfort Grenze, aber mit grossem Jahresunterschied [K];[AMR>20°C] Keine grosse Lufttemperaturschwankung [T°sw<10°C]	Lufttemperatur in Komfortbereich [N]; Weder Verhältnis T°/RH über der Schwülegrenze, noch grosse Lufttemperaturschwankung [T°sw<10°C]	Lufttemperatur über der Komfortgrenze [H]; Weder Verhältnis T°/RH über der Schwülegrenze, noch grosse Lufttemperaturschwankung [T°sw<10°C]	KALT LUFTTEMPERATUR SCHWANKUNG JAHR <b>G<sub>2</sub></b>	NEUTRAL <b>N<sub>2</sub></b>	HEIß <b>H<sub>2</sub></b>
Lufttemperatur unter der Komfort Grenze [K]; grosse Lufttemperaturschwankung [T°sw>10°C]	Lufttemperatur in Komfortbereich [N]; grosse Lufttemperaturschwankung [T°sw>10°C]	Lufttemperatur über der Komfortgrenze [H]; grosse Lufttemperaturschwankung [T°sw>10°C]	KALT LUFTTEMPERATUR SCHWANKUNG TAG <b>G<sub>3</sub></b>	NEUTRAL LUFTTEMPERATUR SCHWANKUNG TAG <b>N<sub>3</sub></b>	HEIß LUFTTEMPERATUR SCHWANKUNG TAG <b>H<sub>3</sub></b>

Abb. 3.37 und 3.38 - Eproklid: Einteilung in neun Felder

Wie weit die klimatischen Verhältnisse vom Komfortbereich abweichen bestimmt darüber, wie stark die einzelnen Felder gewichtet werden. (s. Abb. 3.39)

In diesem Schema werden nun für einen bestimmten Standort alle 12 Monate markiert, wobei die Klimadaten mit der grafischen Komfortanalyse abgeglichen werden. Daraufhin werden die Häufigkeit sowie die Gewichtung innerhalb des Schemas zusammengerechnet. Das Ergebnis bestimmt die anzuwendende Entwurfsstrategie. (s. Abb. 3.40)

<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

Abb. 3.39 - Eproklid: Gewichtung der Felder

JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC	JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC	JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC
<b>K<sub>1</sub></b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>1</sub></b>
JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC	JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC	JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC
<b>K<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>1</sub></b>
JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC	JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC	JAN APR JUL OCT FEB MAY AUG NOV MAR JUN SEP DEC
<b>K<sub>3</sub></b>	<b>N<sub>3</sub></b>	<b>H<sub>3</sub></b>

Abb. 3.40 - Eproklid: Markierung der Monate

Es werden von Eproklid fünf Entwurfsstrategien empfohlen und für jedes der neun Kategorienfelder gewichtet. Dadurch wird eine erste, grobe Orientierung bei der Bearbeitung der Entwurfsaufgabe ermöglicht:

Kompaktheit C (Compactness): Das Verhältnis von Grundfläche, Oberfläche und Volumen, abgestuft zwischen C=16 (min) und C=5 (max)

Öffnungsanteil VO (Ventilation Openings): Öffnungsanteil der Fassaden in % ohne Berücksichtigung von Belichtung, zwischen 10% (min) und 80% (max)

Sonnenschutz S (Sun Protection): Notwendigkeit, die Fensteröffnungen vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen, ja oder nein

Wärmedämmung U (U-Wert): differenziert zwischen 0 = Dämmung nicht nötig und 3 = Dämmung erforderlich

Speicherkapazität T (Thermal Capacity): Speichermasse der verwendeten Materialien, differenziert in min bis max (s. Abb. 3.41, 3.42)

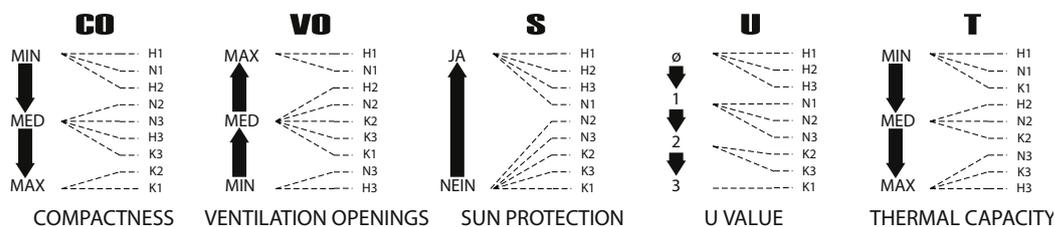


Abb. 3.41 - Eproklid: Entwurfsstrategien

MAX	MIN	MIN	MED	MAX	MAX	NEIN	JA	JA	MIN	MED2	MAX	MIN	MIN	MIN
MAX	MED	MIN	MED	MED	MED	NEIN	NEIN	JA	MED1	MED2	MAX	MED	MED	MED
MED	MED	MED	MED	MIN	MIN	NEIN	NEIN	JA	MED1	MED2	MAX	MAX	MAX	MAX

(max= sehr kompakt)      (max= grosser Öffnungsanteil)      (JA=vor direkter Strahlung geschützt)      (MAX=sehr durchlässig)      (max= hohe Speicherkapazität)

Abb. 3.42 - Eproklid: Kategorienfelder

## Eproklid: Anwendungsbeispiele

Auch Eproklid soll anhand derselben Standorte verdeutlicht werden wie die anderen beiden Methoden.

Für Singapur kann man ablesen, dass alle zwölf Monate in das gleiche Feld einsortiert werden: H3. Dies macht die Auswahl der anzuwendenden Strategien einfach. Es sind minimale Kompaktheit, minimale Speicherkapazität der Baumaterialien, maximaler Öffnungsanteil, Sonnenschutzvorrichtungen erforderlich, sowie keine Notwendigkeit für den Einsatz von Wärmedämmung. (s. Abb. 3.43)

SINGAPORE												
Air temperature (°C)												
Mean max.	29.7	30.9	31.6	32.1	31.2	31.5	30.8	30.7	30.4	30.7	29.9	29.5
Mean min.	24.4	24.9	25.1	25.5	25.9	25.9	25.2	25.0	24.5	25.3	24.6	24.3
Mean range	5.3	6.0	6.5	6.6	5.2	5.6	5.7	5.7	5.9	5.4	5.3	5.2
Relative humidity (%)												
Average	83.3	82.6	84.1	82.6	83.3	81.0	82.7	81.2	83.1	84.4	88.5	85.9
Rainfall (mm)												
	198	154	171	141	158	140	145	143	177	167	252	304

COMPACTNESS			THERMAL CAPACITY					
MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN			
MAX	MED	MIN	MED	MED	MED			
MED	MED	MED	MAX	MAX	MAX			
VENTILATION OPENINGS			SUN PROTECTION			U VALUE		
MED	MAX	MAX	NO	YES	YES	0	2	3
MED	MED	MED	NO	NO	YES	1	2	3
MED	MIN	MIN	NO	NO	YES	1	2	3

	K	N	H												
1			<table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>												
2															
3															

Abb. 3.43 - Eproklid, Anwendungsbeispiel Singapur

In Riad werden die zwölf Monate auf die Felder C3, N3 und H3 recht gleichmäßig verteilt. Abzulesen sind hier folgende Strategien: mittlere Kompaktheit und maximale Speicherkapazität, Öffnungsanteil von minimaler zur mittleren Größe, Sonnenschutzvorrichtungen sind in fünf Monaten notwendig, und die Erforderlichkeit einer mittleren Wärmedämmung ist in sieben Monaten gegeben. (s. Abb. 3.44)

RYIADH

Air temperature (°C)

Mean max.	19.4	22.8	25.9	32.2	37.5	41.1	42.6	43.0	39.0	33.8	28.3	20.9
Mean min.	8.9	10.8	14.7	19.3	25.8	28.5	29.4	29.2	26.2	20.9	14.7	9.7
Mean range	10.5	11.9	11.2	12.9	11.6	12.6	13.2	13.8	12.7	13.0	13.6	11.2

Relative humidity (%)

Average	43.4	33.8	30.2	23.5	14.7	12.0	8.4	10.5	15.6	21.0	24.1	57.1
---------	------	------	------	------	------	------	-----	------	------	------	------	------

Rainfall (mm)

	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

COMPACTNESS			THERMAL CAPACITY					
MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN			
MAX	MED	MIN	MED	MED	MED			
MED	MED	MED	MAX	MAX	MAX			
VENTILATION OPENINGS			SUN PROTECTION			U VALUE		
MED	MAX	MAX	NO	YES	YES	0	2	3
MED	MED	MED	NO	NO	YES	1	2	3
MED	MIN	MIN	NO	NO	YES	1	2	3

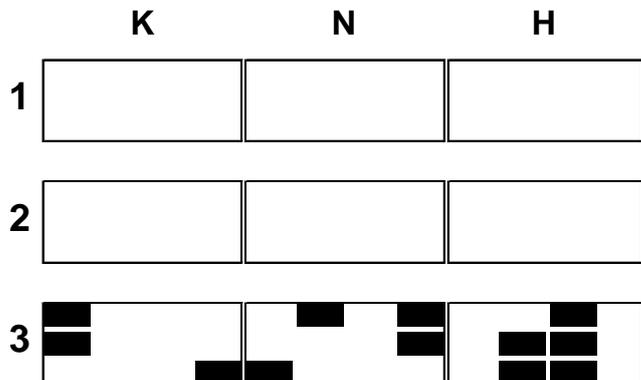


Abb. 3.44 - Eproklid, Anwendungsbeispiel Riad

Die zwölf Monate verteilen sich in Lissabon auf die Felder C2, N1 und H1, wobei der Schwerpunkt mit sechs einsortierten Monaten bei C2 zu sehen ist. Die abzulesenden Strategien sind maximale Kompaktheit in sechs Monaten und minimale Kompaktheit in den anderen sechs Monaten, mittlere bis minimale Speicherkapazität der Baumaterialien, mittlerer bis maximaler Öffnungsanteil der Fassaden, Sonnenschutzvorrichtungen in sechs Monaten erforderlich, mittlere Wärmedämmung ist in neun Monaten erforderlich. Da sich hier einige der Aussagen scheinbar widersprechen, muss abgewogen werden, ob man den Schwerpunkt auf die Häufigkeit der einzelnen Felder oder auf die Gewichtung legt. Dies betrifft insbesondere die Kompaktheit des Gebäudes und den Öffnungsanteil der Fassaden. Wenn man sich zum Beispiel für die Häufigkeit der Einordnung entscheidet, wäre das Ergebnis ein kompakteres Gebäude mit geringerem Öffnungsanteil. (s. Abb. 3.45)

LISBOA

Air temperature (°C)

<b>Mean max.</b>	14.1	15.2	17.0	19.2	23.8	26.8	29.9	30.3	28.5	22.4	17.5	14.6
<b>Mean min.</b>	8.1	8.7	9.6	11.2	12.3	14.6	16.3	16.5	16.0	14.5	10.8	8.4
<b>Mean range</b>	6.1	6.4	7.4	8.1	11.4	12.2	13.6	13.8	12.5	7.9	6.7	6.2

Relative humidity (%)

<b>Average</b>	82.0	79.3	76.9	72.7	71.7	70.0	66.1	64.9	70.0	74.9	81.0	80.5
----------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Rainfall (mm)

	110.0	111.0	69.0	64.0	39.0	21.0	5.0	6.0	26.0	80.0	114.0	108.0
--	-------	-------	------	------	------	------	-----	-----	------	------	-------	-------

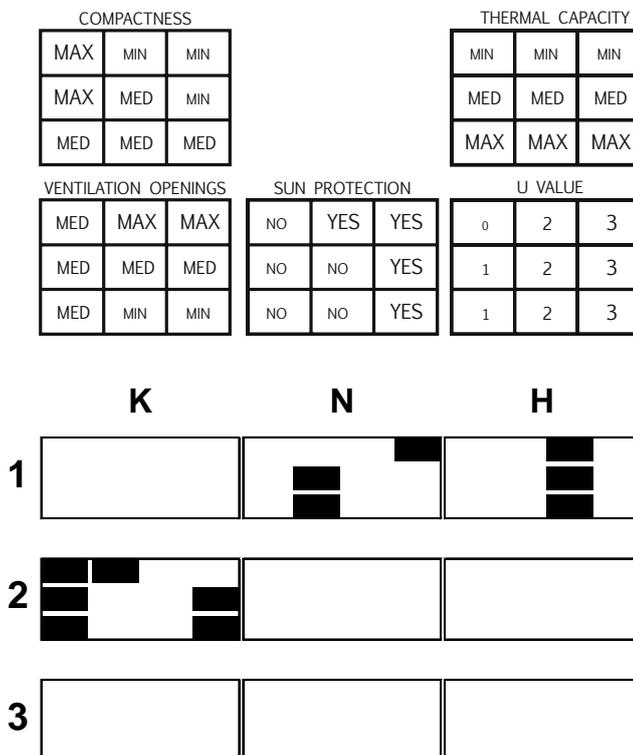


Abb. 3.45 - Eproklid, Anwendungsbeispiel Lissabon

In Helsinki werden neun Monate in das Feld C2 einsortiert, die andern drei liegen bei N2, H1 und H2. Für die Auswertung kann man sich hier auf das Feld C2 konzentrieren. Das Ergebnis der Ablesung lautet: maximale Kompaktheit, mittlere Speicherfähigkeit, mittlerer Öffnungsanteil, keine Sonnenschutzvorrichtungen erforderlich, mittlere Wärmedämmung erforderlich. (s. Abb. 3.46)

Helsinki												
Air temperature (°C)												
Mean max.	-1.1	-2.8	1.3	7.5	14.2	17.6	21.5	19.7	13.9	8.5	0.4	-1.4
Mean min.	-7.6	-9.0	-3.4	-0.4	4.0	9.5	11.4	11.3	6.4	2.8	-3.4	-5.1
Mean range	6.4	6.3	4.6	8.0	10.2	8.1	10.1	8.4	7.5	5.7	3.8	3.7
Relative humidity (%)												
Average	88.1	86.0	84.2	74.4	61.8	69.7	68.4	79.0	82.2	83.7	87.3	86.5
Rainfall (mm)												
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

COMPACTNESS			THERMAL CAPACITY					
MAX	MIN	MIN	MIN	MIN	MIN			
MAX	MED	MIN	MED	MED	MED			
MED	MED	MED	MAX	MAX	MAX			
VENTILATION OPENINGS			SUN PROTECTION			U VALUE		
MED	MAX	MAX	NO	YES	YES	0	2	3
MED	MED	MED	NO	NO	YES	1	2	3
MED	MIN	MIN	NO	NO	YES	1	2	3

	K	N	H
1			
2	■ ■ ■ ■ ■	■	
3	■	■	

Abb. 3.46 - Eproklid, Anwendungsbeispiel Helsinki

### **3.4 Kritische Analyse:**

Zunächst soll in diesem Abschnitt jedes der Entwurfsmethoden einzeln auf seine Stärken und Schwächen hin untersucht werden. Anschließend folgt ein Abschnitt mit allgemeinen Verbesserungsvorschlägen.

#### **Olgays bioklimatisches Diagramm**

Die in Olgays Modell vorgeschlagenen Grenzwerte, sowohl für den Komfortbereich, als auch für die passiven Klimatisierungsstrategien, beziehen sich direkt auf die Außenklimadaten (Givoni 1998). Sie berücksichtigen laut Givoni nicht die Abweichungen der Klimaverhältnisse zwischen Außen- und Innenraum. Dies ist keine besondere Beeinträchtigung, solange das Modell für die Planung eines Objektes vorgesehen ist, welches z.B. in einer feuchten und heißen Klimazone liegt, in der die Unterschiede zwischen Innen und Außen wegen Dauerbelüftung sehr niedrig gehalten werden. Bei trockenen Verhältnissen dagegen ist die Verwendung von Speichermasse sehr verbreitet, was zu großen Abweichungen zwischen Innen- und Außenklima führt. In solchen Fällen neigt das Modell zur Überschätzung des Klimatisierungsbedarfs, da die Auswirkungen der Bauweise auf das Innenraumklima unberücksichtigt bleiben.

#### **Tabellen von Mahoney**

Der größte Vorteil der Tabellen von Mahoney ist die einfache Anwendbarkeit. Durch sie ist mithilfe sehr einfacher Mittel die Planung eines klimagerechten Bauwerkes möglich, selbst wenn das Objekt für einen Standort mit komplexen Klimaverhältnissen vorgesehen ist, oder der Planer mit der klimatischen Situation nicht vertraut ist. Aus den Tabellen wird allerdings nicht deutlich, ob sich die Empfehlungen für die Fensteröffnungen lediglich auf die Belüftung oder auch auf die Belichtung der Räume beziehen. Diese Information wäre insbesondere für die kalten Gegenden vorteilhaft.

Die entscheidende Schwäche von Mahoneys Tabellen liegt darin, dass sie auf einem heute veralteten Komfortmodell beruhen. Die zugrunde liegenden Klimadaten sind lediglich Monatsmittelwerte. Klimadaten in Stundenschritten waren bei Erstellung des Modells nicht verbreitet. Wie im nächsten Kapitel gezeigt werden wird, passen die Nutzer ihre Komfortexpectationen wöchentlich und sogar täglich den äußerlichen Gegebenheiten an (s. Kap. 4: thermischer Komfort und die adaptive Theorie). Diese Anpassungsfähigkeit der Nutzer auf klimatische Veränderungen bleibt im benutzten Komfortmodell unberücksichtigt. Die weitere große Schwäche des Modells ist, dass nach der Auswahl einer auf die klimatischen Bedingungen des Ortes angepassten Entwurfsstrategie keine Möglichkeit besteht, diese vor ihrem Einsatz auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen. Es ist keine Simulation vorgesehen, wodurch die Möglichkeit bestünde, die Entwurfsstrategie auszuwerten und nach Bedarf zu verbessern. Eine solche thermische Simulation mit einer geeigneten Software (z.B. Primer) ist aber heute Standard, weswegen solche Designtools wie die Tabellen von Mahoney heute nach einer Ergänzung bedürfen.

Diese beiden Punkte sind auch die wichtigsten Schwächen der beiden anderen Modelle.

## Eproklid

Eproklid basiert ebenfalls auf einfachen Klimadaten und ist ein hilfreiches Entwurfswerkzeug für die ersten Planungsphasen. Es ist technisch nicht so anspruchsvoll wie die BBCC, ist dafür aber einfacher nachzuvollziehen und bietet konkretere Parameter für den Entwurfsprozess. Im Vergleich zu Mahoneys Tabellen hat die grafische Darstellung von Eproklid den Vorteil, die unterschiedlichen Entwurfsstrategien und Komfortansprüche direkt in Zusammenhang mit der saisonalen Veränderung darstellen zu können.

Es ist darüber hinaus anzumerken, dass die Diagnose zu einer Unterschätzung des Verschattungsbedarfs führt, wie das Anwendungsbeispiel 3.44 in Riad zeigt. Der Vorschlag ist die Erweiterung der Strategie „Sun Protection: Ja“ für die Kategorienfelder N2 und N3.

## Givonis BBCC

Das Diagramm des BBCC, in welchem eine große Menge an Informationen kompakt zusammengefasst wird, ermöglicht einen schnellen Überblick über die klimatischen Charakteristika eines Ortes, und die diesem Ort angemessenen Entwurfs- und passiven oder low-energy Klimatisierungsstrategien. Es ist ein leicht anzuwendendes Entwurfswerkzeug mit guten Ergebnissen, dessen Schwäche wie bei Mahoney in der fehlenden Möglichkeit einer Simulation und Optimierung besteht. Es beruht ebenfalls auf einem statischen Komfortmodell, und die zugrunde liegenden Klimadaten sind auch hier lediglich Monatsmittelwerte.

Darüber hinaus sind die Bezeichnungen Tageslüftung und Nachtlüftung etwas ungenau. Erstere besteht aus der Nutzung der direkten Vorteile der Luftbewegung und sobald diese unterbrochen wird verliert die Strategie ihre Wirkung. Die Voraussetzung für ihre Anwendung ist die hohe Luftfeuchtigkeit, bei der man mit niedrigen Tagestemperaturschwankungen rechnen kann. Das bedeutet wiederum, dass die Luftbewegung auch nachts benötigt wird. Namensvorschlag: Dauerlüftung + leichte Bauweise

Nachtlüftung steht bei Givoni für die Ausnutzung von großen Tagesschwankungen durch die Anwendung einer Speichermasse. Diese Speichermasse kann aber auch während des Winters tagsüber mit Wärme aufgeladen und für die Heizung des Raumes während der Nacht benutzt werden. Dafür werden die Lüftungsverhältnisse umgekehrt. Namensvorschlag: Hohe Speicherfähigkeit und Nachtlüftung (für Kühlung) oder Hohe Speicherfähigkeit und Tageslüftung (für Heizung).

Das BBCC erweist sich aus allen genannten Gründen als ein sehr gut geeignetes Werkzeug für die Unterstützung des klimagerechten Entwurfs an den ersten Arbeitsphasen. In Anbetracht dessen werden zwei Ergänzungsvorschläge gemacht:

Eine weitere Speichermasse- und direkte Solareinstrahlungszone ab 10°C (DBT). Die vorgeschlagene Zone für Dauerlüftung beinhaltet die bestehende Dauerlüftungszone, die bestehende Komfortzone, und wird bis zu 100% RH erweitert. Es geht lediglich darum, welche Bauweise in diesem Bereich angewendet werden soll (leicht, große Öffnungen etc.). Bei Givoni ist es unklar, wie die Bauweise und Strategie in diesen Bereichen aussehen.

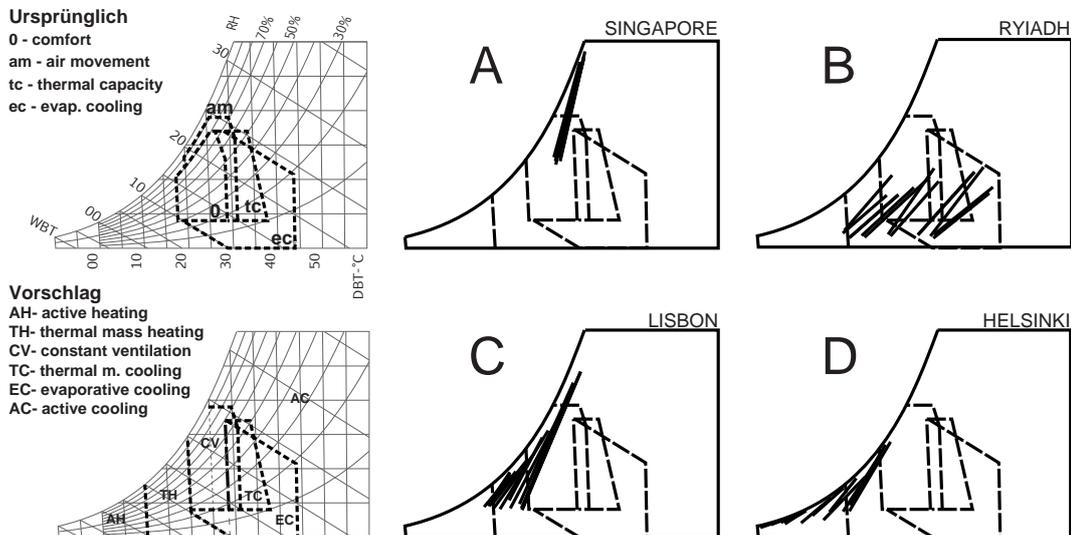


Abb. 3.47 - BBCC, Weiterentwicklungsvorschlag

### 3.5 Weiterentwicklungsvorschläge:

#### Struktur

Alle bisher dargestellten Modelle sind inhaltlich unterschiedlich, folgen aber einer bestimmten gemeinsamen, dreiteiligen Grundstruktur:

Angabe: Auswahl und Sortierung von Klimadaten

Evaluierung: Kriterien und Kategorien für die Analyse der Daten

Strategien: Entscheidung für das angemessene Entwurfskonzept

Bei jedem der drei Punkte dieser Struktur gab es in den letzten Jahren neue Entwicklungen, die berücksichtigt werden können, und zu neuen Erkenntnissen führen können. Bei den Angaben ist die Verfügbarkeit von Klimadaten in Stundenschritten extrem gewachsen. Bei der Evaluierung haben viele Entwicklungen v.a. im Bereich des adaptiven Komforts stattgefunden. Die passiven Klimatisierungsstrategien basieren zwar auf einer lange Tradition, aber ihre Anwendung kann mithilfe der gegenwärtigen Tools viel genauer geplant werden, und ist nicht allein abhängig von Erfahrungswerten.

Darüber hinaus ist wie bereits erwähnt eine Simulation des Entwurfs in einem heute verbreiteten Simulationsprogramm in keinem der Modelle vorgesehen. Dadurch ist eine komparative Performanceanalyse zwischen mehreren Varianten nicht möglich.

## **Visualisierungsmethode**

Die Visualisierungsmethode der vorhandenen Klimadaten spielt für die Analyse der Klimadaten und bei dem Entscheidungsprozess für ein Entwurfskonzept eine entscheidende Rolle. Da die Menge an Klimadaten gewachsen ist und die Evaluierung eine dynamische Form angenommen hat, müssen ganz neue Konzepte zur Visualisierung der Klimadaten entwickelt werden. Diese werden in Kapitel 5 genau erläutert.

## **Örtliche Differenzierung**

Eine sehr interessante Herangehensweise aus Mahoneys Modell, die auch in der ABNT und Eproklid vertreten wird, ist die Verschiebung des Komfortbereichs nach dem Jahresmittelwert der Außentemperatur. Eine ähnliche Einstellung, aber in einer etwas begrenzten Form, zeigt Givoni auch, indem er sein Modell in zwei Kategorien teilt: developed und hot developing countries. Ein wichtiger Schritt mit großem Potenzial für weitere Entwicklungen, welcher in der vorliegenden Arbeit aufgezeigt werden soll, ist die Anpassung des Modells je nach Klimazonen, wodurch die Starrheit der vorangegangenen Modelle aufgehoben wird.

## **Saisonale Differenzierung**

Wie bereits erwähnt ist eine Schwäche, die alle diese Modelle gemeinsam aufweisen, die nur eingeschränkte Nutzung der heutzutage zur Verfügung stehenden Klimadaten und der in ihnen enthaltenen Informationen. Die vorhandenen Modelle basieren alle auf Monatsmittelwerten. Die aktuellen Klimadaten werden aber sogar auf Stundenbasis ermittelt. Um diese Fülle an Informationen angemessen auswerten und anwenden zu können ist die Entwicklung von viel feineren Komfortmodellen notwendig. Dazu trägt der aktuelle Forschungsstand über Komfort (adaptiver Komfort, siehe Kapitel 4) erheblich bei. Durch die adaptiven Komfortmodelle ist es möglich, dynamische Anpassungen des Komfortbereichs für die unterschiedlichen Bedingungen der Jahreszeiten zu berechnen

## 4. Thermischer Komfort und die adaptiven Modelle

In diesem Kapitel wird die Grundlage des thermischen Komforts dargestellt und abschließend kritisch analysiert. Die Komfortmodelle spielen eine entscheidende Rolle als Evaluierungstool bei jeder Entwurfsmethode zur klimagerechten Architektur. Die Ergebnisse der Analyse dieses Kapitels werden in Kapitel 5 ausgearbeitet.

Die ersten ausführlichen Komfortuntersuchungen wurden erst durchgeführt, als Klimatisierungsausrüstungen (Heiz- und Kühlungsgeräte) am Anfang des 20. Jahrhundert entwickelt wurden und die Ingenieure Parameter für ihre Planungsaufgaben benötigten. Einige Experimente sind in diesem Zusammenhang hervorzuheben: u. a. die Entwicklung der effektiven Temperatur (ET) von Houghten & Yaglou (1923) in den Laboren der American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE) sowie die empirische Studien in England von Bedford (1936) und in USA von Herrington & Gagge (Gagge, 1936). (vgl. Auliciems & Szokolay, 2007)

Generell kann man die folgenden Instrumente als Grundlage der Quantifizierung von Komfort bezeichnen:

- Befragung von Probanden
- Messung klimatischer Parameter
- Messungen physiologischer Reaktionen von Probanden
- Aufzeichnung des Gebäudetypus und Nutzung (Natürlich belüftet x Vollklimatisiert, Anpassungsmöglichkeiten wie Fensteröffnung, Licht, Dress Code etc.).

Die nachfolgenden Studien haben sich unterschiedlicher Kombinationen dieser Instrumente bedient und können nach ihrem typologischen Ursprung kategorisiert werden. Es gibt zwei unterschiedliche Untersuchungstypologien, die sich im Laufe der Zeit durchgesetzt haben und die unterschiedliche Ideologien ausprägen:

- Feldforschung
- Laborexperimente

Diese Kategorisierung wird in den nachfolgenden Abschnitten vertieft.

## 4.1 Wärmebilanzmodelle

Der Körper ist in ständigem Wärmeaustausch mit der Umgebung. Durch einen physiologischen Prozess (Homöothermie) wird dieser Austausch reguliert und ein für den Körper gesunder Zustand erhalten. Dieser Zustand bedeutet für den inneren Körper eine Temperatur um die 37°C und auf der Hautoberfläche zwischen 31 und 34°C.

Auf der Grundlage von Gagge (1936) und nach späteren Weiterentwicklungen kann der Wärmetauschprozess zwischen Körper und Umgebung als Gleichung repräsentiert werden, wobei diese Theorie auf der Annahme (a priori) beruht, dass der Prozess zum Gleichgewicht als Endzustand neigt, das also der Körper und die Umgebung einen Gleichgewichtszustand erreichen und die Bilanz ist gleich null (d. h.  $\Delta S=0$ ).

$$\Delta S=M\pm R\pm C-E$$

$\Delta S$ = Differenz gespeicherte Wärmemenge

M= Grundumsatz (Body's Metabolic Rate)

R= netto Strahlungswärme

C= Wärmetausch, Konduktion und Konvektion

E = Abkühlung durch Verdunstung (Evaporation Heat Loss)

Von diesem Prinzip werden zwei Modelle abgeleitet, die die wichtigsten Standards für thermischen Komfort entscheidend beeinflusst haben:

Das „Two Nodes“ Modell, es dient als Basis für das Standard ASHRAE 55-1992

Das Fanger-Modell, sie dient als Basis für die Norm ISO 7730.

Da diese Modelle aus Laborexperimenten stammen und nur den direkten Austausch zwischen Körper und Umgebung berücksichtigen (sie berücksichtigen nicht die äußeren Einflussfaktoren so wie die allgemeinen außerklimatischen Verhältnisse), folgt, dass die auf ihnen basierenden Voraussagen zu einem gleichmäßigen Ergebnis neigen. Deswegen werden diese Modelle auch als „statische Modelle“ bezeichnet.

### 4.1.1 Das Fanger-Modell (1970, 1982)

Die Gleichung von Fanger stellt nicht nur die Grundlage für die Wärmebilanzmodelle dar, sondern ist auch der Wegweiser zur Quantifizierung von thermischem Komfort im Allgemeinen. Auch die „dynamischen Modelle“ bauen auf diesem Modell auf und können in vielerlei Hinsicht als ihre Ergänzung gesehen werden. (vgl. 4.2.).

Ähnlich wie bei dem „zwei Kreise Modell“ geht Fanger von dem Gleichgewicht als Komfortzustand aus, der durch die neutrale Temperatur repräsentiert wird. Damit sie berechnet werden konnte, wurden Untersuchungen in einer klimatisierten Kammer (Laborexperiment) durchgeführt, bei denen die Reaktionen der Probanden in Bezug auf sechs Parameter gemessen wurden: Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftbewegung, Bekleidung und Aktivitätsrate. Die Probanden haben mithilfe einer Sieben-Punkt-Komfortskala (auch Bedford oder ASHRAE Skala genannt) die Behaglichkeit der Umgebung bewertet.

Die 7 Punkteskala:

- 3 kalt
- 2 kühl
- 1 etwas kühl
- 0 neutral
- +1 etwas warm
- +2 warm
- +3 heiß

Diese Untersuchungen erfolgten, da sie in einer künstlichen Umgebung durchgeführt wurden, unter strenger Kontrolle. Dadurch konnten die Verhältnisse zwischen den Parametern und ihrem Einfluss auf die Reaktionen der Probanden präzise beobachtet werden. Zwei Indizes bzw. mathematische Gleichungen werden von der Beobachtung abgeleitet und dienen der Errechnung des Komfortbereichs (Fanger, 1982):

PMV (predicted mean vote; vorausgesagtes mittleres Votum)

PPD (predicted percentage of dissatisfied; vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener)

Mit dem ersten Index PMV kann man den wahrscheinlichen Durchschnittswert der Klimabeurteilung einer großen Personengruppe berechnen. Mit dem zweiten Index PPD, welcher auf dem ersten basiert, kann man den Prozentsatz der mit den klimatischen Bedingungen unzufriedenen Nutzer errechnen, also derjenigen, welche theoretisch das Raumklima entweder als heiß (+3), warm (+2), kühl (-2) oder kalt (-3) beurteilen würden.

Der minimale PPD Wert beträgt nach Fanger 5%. (Fanger, 1982)

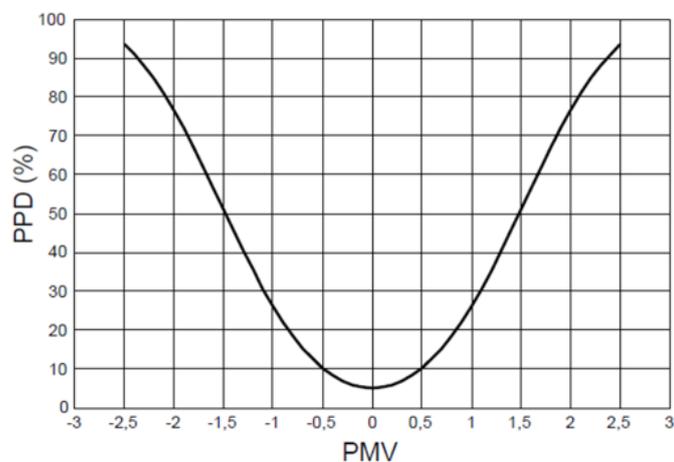


Abb. 4.1 - PPD als Funktion von PMV

## 4.2 Adaptive Komforttheorie

Die adaptive Theorie beruht auf der Annahme, dass das menschliche Wohlbefinden auch jenseits einer thermischen Neutralität besteht. Nach dieser Theorie, anders als bei dem statischen Modell, ist der Mensch nicht nur ein passiver Empfänger von externen Stimuli, sondern er ist anpassungsfähig und handelt gemäß der dynamischen Abläufe des Klimas, um seine Behaglichkeit zu bewahren, wie de Dear et al (1998) erläutern:

*“An important premise of the adaptive model is that the building occupant is no longer simply a passive recipient of the thermal environment as given, [...] but instead an active agent interacting with all levels of the person-environment system via feedback loops.”*

Der Anpassungsprozess ereignet sich nach der adaptiven Theorie in drei Ebenen:

Verhalten  
Psychologie  
Physiologie

### 4.2.1 Verhalten

Die Ebene mit der schnellsten Wirkung und der kürzesten Auswirkung ist die Anpassung des Verhaltens. Unter Verhaltensanpassung können die Maßnahmen gesehen werden, die zur Milderung von ungünstigen Verhältnissen beitragen. Deshalb werden sie auch als Einstellungen benannt.

Wenn der Prozess sich durch individuelle Maßnahmen vollzieht, wie Kleidungsanpassung, die Einnahme von kalten oder warmen Speisen oder Getränken usw. wird er persönliche Einstellung genannt.

Wenn sich der Prozess mittels der Interaktion mit Kontrollvorrichtungen zwecks der Veränderung des physischen Zustands des Raumes, sei es durch die Öffnung oder Schließung von Fenstern oder Sonnenschutzelementen, die Entscheidung für die Schaltung von Ventilatoren oder der lokalen Klimaanlage usw. vollzieht, wird dies technologische Einstellung genannt.

Falls der Prozess sich auf Ebene von Gruppen ereignet, z.B. durch die Einführung von Gewohnheiten, die die Anpassung an die Klimagegebenheiten erleichtern, wie „Siestas“ oder besondere „dress codes“ kann dies als kulturelle Einstellung bezeichnet werden.

### 4.2.2 Psychologische Anpassung

Die psychologische Anpassung ist stark mit der Wahrnehmung der Klimacharakteristiken verbunden. Die Erwartungen einer kommenden oder wiederkehrenden Situation zu bestimmten Zeiten und in bestimmten Räumen und die Erfüllung dieser Erwartungen führen zu Variationen im Komfortbereich. So werden die Menschen zum Beispiel im Sommer viel höhere Innentemperaturen tolerieren (und wahrscheinlich sogar wünschen) als im Winter.

### 4.2.3 Physiologische Anpassung

Die physiologische Anpassung kann durch den langwierigen Prozess, durch den die Organismen sich an allgemeine klimatische Bedingungen dauerhaft adaptieren, beschrieben werden. Dieser Prozess kann durch die entwickelte Fähigkeit, thermoregulative Veränderungen umzusetzen wie z.B. Transpiration abgebildet werden und wird auch als Akklimatisierung benannt.

Die adaptive Theorie steht nicht in Konflikt zu ihren Vorgängern, sondern soll als Ergänzung betrachtet werden (Nicol & McCartney, 2000). Ein entscheidender Unterschied liegt bei dem Ursprung der beiden Modelle. Die Forscher der adaptiven Theorie bevorzugen Untersuchungen „in Situ“, um das Verhalten der Nutzer in einem „realen“ Kontext zu betrachten. Der Vorteil von Felduntersuchungen ist die Möglichkeit, die Nutzer in einer Situation zu beobachten, in der sie über mehr Freiheit verfügen, die eigene Anpassungsfähigkeit zu entfalten. Der Nachteil von Felduntersuchungen ist die Schwierigkeit bei der Kontrolleausübung über die klimatischen Gegebenheiten, was die Beobachtung der Kausalbeziehung zwischen den Reaktionen der Nutzer und den Klimaparametern einschränkt und eine präzise Quantifizierung erschwert. Somit kann man folgern, dass die statischen Modelle mit Untersuchungen in der klimatisierten Kammer am besten für die Beobachtung von physiologischer Anpassung geeignet sind. Die adaptive Theorie ergänzt diese mit der Möglichkeit, Verhaltens- und psychologische Anpassung zu beobachten und vorauszusagen.

### 4.2.1 Humphreys (1975, 1981)

Das erste sehr verbreitete adaptive Komfortmodell wurde von Humphreys (1975, 1981) entwickelt. Als Vorlage seiner Experimente nutzte er Daten breit angelegter Felduntersuchungen, die er in zwei Kategorien teilte: frei von Klimatisierung „laufende“ Gebäude (free-running) und voll klimatisierte Gebäude (heated or cooled). Hierbei handelt es sich um den Modus Operandi des Gebäudes im Laufe der Zeit, während der die Stichproben durchgeführt wurden.

Bei natürlich belüfteten Gebäuden stellte Humphreys, anders als Fanger, eine starke Abhängigkeit zwischen der Komforttemperatur im Innenraum und der Außentemperatur fest. Bei voll klimatisierten Gebäuden dagegen war diese Beziehung nicht zu beobachten, stattdessen weisen die Ergebnisse ein ähnliches Muster wie in einer Klimakammer auf.

Algorithmus Humphreys:  $T_n = 11.9 + 0.534T_{out}$

$T_n$  = Komfort oder neutrale Temperatur

$T_{out}$  = Außentemperatur, Monatsmittelwert

## 4.2.2 Auliciems (1981, 1989)

Ein ähnliches Modell wie Humphreys wurde von dem australischen Wissenschaftler Auliciems vorgeschlagen (Humphreys et al, 2010). Der grundlegende Unterschied besteht darin, dass er die Ergebnisse von Untersuchungen ausgeschlossen hat, die in extremen klimatischen Bedingungen durchgeführt wurden. Dies führte zu einem besseren Koeffizienten bei der Errechnung des Komfortalgorithmus. Allerdings teilte Auliciems in seinen Untersuchungen die Daten nicht in zwei Modi (free-running und Heated or cooled) auf, wie es bei Humphreys der Fall ist (Auliciems & Szokolay, 2007).

Algorithmus Auliciems 1976:  $T_n = 9.2 + 0.48T_m + 0.14T_{out}$

$T_n$  = Komfort- oder neutrale Temperatur

$T_{out}$  = Außentemperatur, Monatsmittelwert

$T_m$  = Mittelwert Innentemperatur während der Beobachtung

## 4.2.3 ASHRAE Standard 55 (2004, 2010)

Dieses Modell beruht auf dem Projekt RP 884 von ASHRAE. Der erste Teil des Projektes bestand aus der Sammlung von aussagekräftigen Felduntersuchungen aus unterschiedlichen Klimazonen. Die Autoren haben die Rohdaten einer strengen Qualitätskontrolle (nach dem Vorbild der Laborexperimente) unterzogen. Daraus entstand eine öffentlich zugängliche Datenbank (Brager et al, 2004).

Die Daten wurden nach Standorten und nach Gebäudetypologien sortiert: NV (natürlich belüftet) und HVAC (vollklimatisiert). Anders als bei Humphreys wurden die Gebäude nicht mehr nach Modus Operandi kategorisiert, sondern danach, ob das Gebäude dem Nutzer generell die Möglichkeit bietet, das Klima selbst zu verändern. Es besteht also nicht die Möglichkeit, dass Daten, die aus demselben Gebäude stammen, in unterschiedlichen Kategorien eingeordnet werden können, je nachdem, ob die Heizung bzw. die Kühlung eingeschaltet ist oder nicht.

Beim zweiten Teil wurden verschiedene Indizes für Komfort im Innenraum in Korrelation mit der Außentemperatur (Monatsmittelwert) getestet:

ET – Effektive Temperatur (Effective Temperature (Two Nodes Model))

SET – Effektive Standardtemperatur (Standard Effective Temperature (Two Nodes Model))

PPD – Voraussichtlicher Anteil unzufriedener Nutzer (Predicted Percentual of Dissatisfied, (Fanger))

PMV – Voraussichtliche Durchschnittsbewertung (Predicted Mean Vote (Fanger))

TSENS – thermische Behaglichkeitskala (Thermal Sensation Scale (Two Nodes Model))

DISC – Unbehaglichkeitsindex (Discomfort Index (Two Nodes Model))

PD – voraussichtlicher Anteil unzufriedener Nutzer aufgrund von Zugluft (Predicted Percent Dissatisfied Due to Draft (Two Nodes Model))

Der Test mit der SET hat die besten Ergebnisse erzielt. Die SET hat einerseits den Vorteil, dass sie viele Klimaparameter wie Luftbewegung und Luftfeuchtigkeit berücksichtigt, andererseits den Nachteil, aufwändige Berechnungsmethoden vorauszusetzen. Letzten Endes hat sich ein einfacherer Index, die Operative Temperatur, als Komfortparameter durchgesetzt und wird heute als Standard eingesetzt.

Die neutrale Gerade (abgeleitet von den Nutzern, die „0“ stimmten) wurde durch eine lineare Korrelation berechnet. Von der neutralen Gerade ausgehend baut sich nach der Berechnung des von den Nutzern tolerierten Abstandes der Komfortbereich auf. Dieser Bereich wird in zwei Kategorien geteilt: ein Bereich für höhere Komfortansprüche (ein Temperaturabstand von der neutralen Gerade, den 90% der Nutzern wahrscheinlich akzeptieren würden) und ein Bereich für einen niedrigeren Komfortanspruch (80% Akzeptanz). (s. Abb 4.1)

$$T_{\text{comf}} = 0,31T_{\text{out}} + 17,8$$

$T_{\text{comf}}$  = Komforttemperatur  
 $T_{\text{out}}$  = Außentemperatur, Monatsmittelwert

In Jahr 2010 ist eine neue Auflage des Standards 55 erschienen, welche keine Veränderung für den adaptiven Komfortbereich enthielt, dennoch ist eine Revision in Bearbeitung (de Dear, 2011), die als eine Annäherung an die 2007 veröffentlichte CEN 15251 gesehen werden kann (vgl. 4.2.4). Zwei wichtige Veränderungen werden vorgeschlagen:

- Die Erweiterung des Komfortbereiches durch die Anwendung von Luftbewegung in warmen Klimaten
- Die Einführung der gleitenden gemittelten Außentemperatur (running mean outdoor temperature) anstelle von Monatsmittelwerten

Für die Berechnung der Grenzverschiebung des Komfortbereichs durch die Luftgeschwindigkeit diente die SET als Grundlage. Die Komfortgrenzen gehen ursprünglich von Windstille aus. Als Faustregel gilt: eine Luftgeschwindigkeit von 0,6 m/s verursacht eine Erweiterung von 1,2K in der Komfortgrenze, 0,9 m/s eine Erweiterung von 2,2K und 1,2 m/s eine Erweiterung von 2,8K.

Die Außentemperatur wird definiert durch eine Halbwertzeitfunktion für eine Zeitspanne von acht bzw. sieben Tagen (die Werte des aktuellen Tages werden nicht eingeschlossen).

$$T_{\text{rm}} = 0,34T_{\text{od-1}} + 0,23T_{\text{od-2}} + 0,16T_{\text{od-3}} + 0,11T_{\text{od-4}} + 0,08T_{\text{od-5}} + 0,05T_{\text{od-6}} + 0,03T_{\text{od-7}}$$

$T_{\text{rm}}$  = gleitende Außentemperatur  
 $T_{\text{od-1}}$  = Außentemperatur, Tagesmittelwert gestern; Tod-2 = vorgestern...

Basierend auf dieser Definition der Außentemperatur wird die Komfortgrenze für einen Anteil von neunzig Prozent Nutzerzufriedenheit neu durch folgenden Algorithmus beschrieben:

$$T_{\text{comf}} = 0,31T_{\text{m}} + 17,8 \pm 2$$

$T_{\text{comf}}$  = Komforttemperatur  
 $T_{\text{m}}$  = Mittelwert Innentemperatur während der Beobachtung

#### 4.2.4 CEN 15251 (2007)

Dieses Modell beruht auf dem Projekt Scats, bei welchem es sich um eine Datenbank von europaweiten Felduntersuchungen handelt. Die Daten sind weniger verstreut als beim RP 884 (de Dear, 2011). Die Komforttemperatur bei dieser Untersuchung bezieht sich anstatt auf die SET von ASHRAE wegen der einfacheren Berechnungsmethode auf die operative Temperatur. Die operative Temperatur wird standardmäßig vereinfacht ermittelt durch den Mittelwert zwischen Strahlungstemperatur und Lufttemperatur.

Der Nachteil bei der Nutzung der operativen Temperatur ist, dass weder der Einfluss von Luftbewegung noch von Luftfeuchtigkeit auf das Komfortempfinden berücksichtigt werden (vgl. 4.2.3).

Die Zufriedenheitsansprüche der Nutzer wurden verfeinert und in vier Kategorien eingeteilt: I, II, III, IV (nach Anspruchsgrad von I nach IV absteigend). Anstatt die Tagesmittelwerte der Außentemperatur zugrunde zu legen, wurde die gleitende Außentemperatur eingeführt (Nicol & McCartney, 2010). (s. Abb 4.1) Daraus ergibt sich:

$$T_{rm} = (1-\alpha) (T_{t-1} + \alpha T_{t-2} + \alpha T_{t-3} \dots)$$

$T_{rm}$  = gleitende Außentemperatur

$\alpha = 0,8$

$T_{t-1}$  = Außentemperatur, Tagesmittelwert gestern;  $T_{t-2}$  = vorgestern...

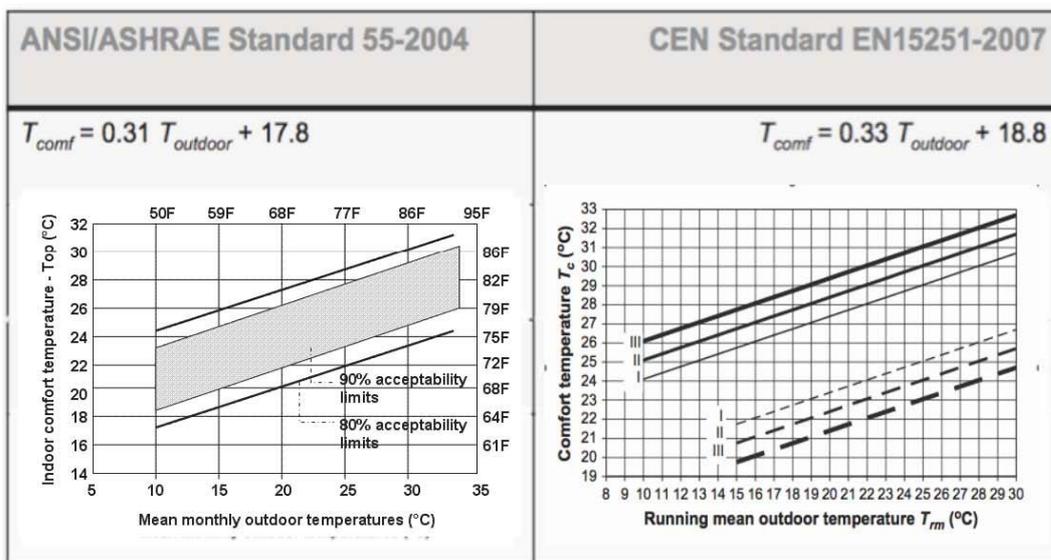


Abb. 4.2 - Komfortbereiche der ASHRAE 55-2004 und EN15251, bezieht sich in beiden Fälle auf das Außenklima, dennoch ist das Außenklima unterschiedlich definiert.

### 4.3 Kritische Analyse

Die adaptive Theorie hat gezeigt, dass anders als bei den Wärmebilanzmodellen angenommen wurde, der Komfortzustand nicht mit Neutralität gleichzusetzen ist. Komfort hängt, wie bereits erwähnt, von der Erwartung und von der Anpassungsfähigkeit (Adaptivität) der Nutzer ab. Eine geschickte Gebäudeplanung kann diesen Adaptionsprozess unterstützen, indem sie dem Nutzer die Möglichkeit lässt, das Innenraumklima direkt zu beeinflussen (direkt zugängliche offenbaren Fenster, individuell regelbare Verschattungselemente usw.).

Es bleiben allerdings einige Punkte an der adaptiven Komforttheorie zu hinterfragen:

- Ob unterschiedliche Klimatypen unterschiedliche Komfortmuster ergeben.
- Ob der Übergang zwischen den zwei Modi bzw. Saisonen, klimatisiert und nicht klimatisiert, als ein „Knick“ sein muss, wie die bestehenden Methoden vorschlagen, oder ob eine sanftere Transition angemessener ist.
- Ob die Breite des Komfortbereichs, also die positive bzw. negative Abweichung der Komfortgrenzen in Bezug auf die mittlere Komforttemperatur, durch den Einfluss des Außenklimas variabel ist.

Diese Punkte werden im folgenden Kapitel behandelt.



## 5. Evaluierungsmethode

In diesem Kapitel wird nach einem thermischen Komfortmodell recherchiert, das gemäß der adaptiven Komforttheorie aufgebaut ist und das zur Anwendung innerhalb der zu entwickelnden Entwurfsmethode am besten geeignet ist. Darum sind drei Hypothesen zu überprüfen:

Eine Untergliederung des adaptiven Komfortbereichs nach Klimazonen ist möglich und vorteilhaft gegenüber CEN 15251 und ASHRAE 55.

Der Komfortbereich hängt direkt mit der Tagesschwankung der Außentemperatur zusammen.

Eine intuitiv verständliche Darstellung der Ergebnisse ist möglich und vorteilhaft für die Auswertung der angewendeten Strategien und Architekturtypologien.

Der Komfortbereich wird durch den numerischen Abstand zwischen zwei Werten repräsentiert, die die Grenze des thermischen Komfortempfindens bilden in Bezug auf bestimmte vordefinierte klimatische Gegebenheiten. Wie diese Komfortgrenze bzw. Komfortabstand ermittelt werden hängt von dem angewendeten Komfortmodell ab. Wie im dritten Kapitel beschrieben ist (vgl. 3.4), basiert der von Givoni vorgeschlagene Komfortbereich auf einem statischen Modell. Sein Modell gliedert sich in zwei Kategorien: „warm developing countries“ und „developed countries“, woraufhin eine zweite Untergliederung in Winter- und Sommersaison stattfindet. Diese Gliederung ist irreführend, u. a. weil die Kategorie „warm developing countries“ zwei sehr verschiedene Klimate beinhaltet, nämlich trockenheiß und feuchtwarm, welche unterschiedliche Komfortansprüche aufweisen.

Die bestehenden adaptiven Modelle (CEN 15251 und ASHRAE 55, vgl. 4.2.3 und 4.2.4) dagegen gehen von der Abhängigkeit des Komfortbereichs von der Außentemperatur und von dem Gebäudetypus („naturally ventilated“ NV vs „heated, ventilated, air conditioned“ HVAC bei ASHRAE) bzw. den Betriebsmodus („free running“ oder geheizt/gekühlt bei CEN) aus, was zu einer feineren Auswertung gegenüber Givonis Modell führt. Andererseits gehen diese Modelle davon aus, dass dieses Abhängigkeitsmuster allgemeingültig ist. Das heißt: Es gibt bei den beiden Modellen einen weltweit einheitlichen Algorithmus, der die Beziehung von Innenraumkomfort und Außenklima beschreibt. Es bleibt die Frage offen, ob die unterschiedlichen Charakteristiken der Klimagruppen die Form des Algorithmus beeinflussen.

### 5.1 Visuelle Analyse

Zur Prüfung der ersten und zweiten Hypothese wird eine Untersuchung der vorhandenen Datenbank für Komfortbewertungen von Nutzern nötig. Hierfür werden, anders als es bei den herkömmlichen Modellen üblich ist, zuerst visuelle Methoden angewendet, um bestehende Muster innerhalb der Daten zu identifizieren. Es kommen fünf visuelle Methoden zur Anwendung:

- Liste
- Scatter Diagramm
- Scatter Diagramm trivariate
- Hitmap
- Boxplot

Das Ziel der visuellen Analyse der Daten ist ein besseres Verständnis des Inhalts der Datenbank durch seine abstrahierte Darstellung. Erst danach wird eine entsprechende mathematische Ableitung in Form eines Algorithmus ermittelt. Durch diese Herangehensweise ist ein direkter Zusammenhang zwischen der Verifizierung der Hypothesen, der Analyse der Inhalte der Datenbank und der mathematischen Ableitung herzustellen, also zwischen Fragestellung, Beobachtung und Ergebnis.

### 5.1.1 RP 884 Datenbank: Projektliste

Als Basis dieser Untersuchung dient die RP 884 Datenbank (vgl. 4.2.3) Diese Datenbank wurde gewählt, weil sie 26082 Stichproben beinhaltet, in denen alle Hauptklimagruppen vertreten sind. Sie umfasst insgesamt 52 Projekte an 24 Standorten, die einzeln heruntergeladen werden können. Diese Daten wurden von de Dear et al (1998) standardisiert.

Jede einzelne Datei beinhaltet Parameter, die in vier Kategorien geteilt werden:

- Allgemeine Projektinformationen (Standort, Datum etc.)
- Außen- und innenklimatische Parameter
- Komfortbewertung
- Komfortindizes und individuelle Einstellungsmöglichkeiten.

Die in der Datenbank verwendete Klimaklassifikation wurde hier durch die Hauptgruppen A, B und C von Köppen-Geiger ersetzt (vgl. Kapitel 2). Dafür wurden Angaben für die Lokalisation (Breiten- und Längengrade und Höhenlage) eingeführt. Damit ist es möglich, mithilfe einer Tabelle im Format ASCII, welche Lokalisation und Klimaklassifikation beinhaltet (Beck et Al 2006), die Daten nach Klimagruppen zu sortieren. Eine wichtige Kategorie, die in der Datenbank bereits vorhanden ist, ist der Klimatisierungsmodus der Gebäude, in denen die Untersuchung stattgefunden hat (NV= naturally ventilated, HVAC= heated, ventilated and air conditioned). Wie bereits im Kapitel 4 erwähnt (vgl. 4.2.3) handelt es sich in diesem Fall um die Gebäudetypologie, nämlich darum, ob das Gebäude offenbare Fenster hat oder ob eine zentrale Lüftung und ein Klimatisierungssystem vorhanden sind. Dies ist zu unterscheiden von der Kategorisierung der europäischen Norm, bei der angegeben wird, in welchem Betriebsmodus das Gebäude während der Untersuchung operierte („free running“ oder heated/cooled).

Der gesamte Inhalt dieser Datenbank wird zunächst in der einfachsten visuellen Form, einer Liste, dargestellt. Die Daten aus natürlich belüfteten Gebäuden wurden hervorgehoben (s. Abb. 5.1)

#	city/region	lat.	long.	alt.	climate zone	clim.class	season	year	mode	
04	bangkok th	13.73	100.47	0007	tropical savanna	Aw	hot wet	1990	nv	Anv
49	honolulu us	21.31	-157.86	0006	tropical savanna	As	hot	1996	nv	
42	singapore	01.35	103.82	0026	wet equatorial	Af	summer	1991	nv	
07	jakarta id	-6.22	106.85	0002	wet equatorial	Af	summer	1995	nv	
51	honolulu us	21.31	-157.86	0006	tropical savanna	As	cool	1996	nv	
08	jakarta id	-6.22	106.85	0002	wet equatorial	Af	summer	1995	mixed	
50	honolulu us	21.31	-157.86	0006	tropical savanna	As	hot	1996	hvac	
37	townsville au	-19.25	146.82	0012	tropical savanna	Aw	wet	1994	hvac	
03	bangkok th	13.73	100.47	0007	tropical savanna	Aw	hot wet	1990	hvac	
41	singapore	01.35	103.82	0026	wet equatorial	Af	summer	1991	hvac	
14	darwin au	-12.46	130.84	0032	tropical savanna	Aw	wet	1985	hvac	
06	jakarta id	-6.22	106.85	0002	wet equatorial	Af	summer	1995	hvac	
52	honolulu us	21.31	-157.86	0006	tropical savanna	As	cool	1996	hvac	
13	darwin au	-12.46	130.84	0032	tropical savanna	Aw	dry	1985	hvac	
36	townsville au	-19.25	146.82	0012	tropical savanna	Aw	dry	1994	hvac	
21	peshavar pk	34.00	071.55	0352	semiarid midalt	BSh	summer	1993	nv	Bnv
22	peshavar pk	34.00	071.55	0352	semiarid midalt	BSh	winter	1993	nv	
23	quetta pk	30.21	067.18	1693	hot arid	BSk	summer	1993	nv	
24	quetta pk	30.21	067.18	1693	hot arid	BSk	winter	1993	nv	
20	multan pk	30.19	071.46	0126	hot arid	BWh	summer	1993	nv	
18	karachi pk	24.89	067.03	0065	hot arid	BWh	summer	1993	nv	
19	karachi pk	24.89	067.03	0065	hot arid	BWh	winter	1993	nv	
47	kalgoorlie au	-30.75	121.47	0382	hot arid	Bsh	winter	1998	hvac	
48	kalgoorlie au	-30.75	121.47	0382	hot arid	Bsh	summer	1998	hvac	
38	merseyside uk	53.50	-002.93	0030	west coast marine	Cfb	summer	1995	nv	Cnv
39	merseyside uk	53.50	-002.93	0030	west coast marine	Cfb	winter	1995	nv	
33	san francisco us	37.77	-122.42	0019	meiditerranean	Csb	summer	1988	nv	
28	oxford uk	51.75	-001.25	0065	west coast marine	Cfb	summer	1996	nv	
35	san francisco us	37.77	-122.42	0019	meiditerranean	Csb	winter	1988	nv	
25	saidu pk	34.75	072.35	0946	semiarid highalt	Cfa	summer	1993	nv	
26	saidu pk	34.75	072.35	0946	semiarid highalt	Cfa	winter	1993	nv	
12	brisbane au	-27.47	153.03	0046	humid subtropical	Cfa	summer	1985	nv	
16	melbourne au	-37.81	144.96	0026	temp. marine	Cfb	summer	1985	nv	
27	athens gr	37.98	023.72	0050	mediterranean	Csa	summer	1995	nv	
29	sidney au	-33.87	151.21	0058	humid subtropical	Cfa	summer	1996	mixed	
30	sidney au	-33.87	151.21	0058	humid subtropical	Cfa	winter	1996	mixed	
40	merseyside uk	53.50	-002.93	0030	west coast marine	Cfb	winter	1995	mixed	
02	south wales uk	51.63	-003.03	0131	west coast marine	Cfb	winter	1995	hvac	
46	auburn us	38.90	-121.08	0367	mediterranean	Csa	winter	1994	hvac	
34	san francisco us	37.77	-122.42	0019	meiditerranean	Csb	winter	1988	hvac	
45	san ramon us	37.78	-121.98	0161	mediterranean	Csb	winter	1994	hvac	
44	san ramon us	37.78	-121.98	0161	mediterranean	Csb	summer	1994	hvac	
05	antioch us	37.96	-121.81	0093	mediterranean	Csa	winter	1994	hvac	
32	san francisco us	37.77	-122.42	0019	meiditerranean	Csb	summer	1988	hvac	
11	brisbane au	-27.47	153.03	0046	humid subtropical	Cfa	summer	1985	hvac	
01	south wales uk	51.63	-003.03	0131	west coast marine	Cfb	summer	1995	hvac	
31	sidney au	-33.87	151.21	0058	humid subtropical	Cfa	winter	1996	hvac	
15	melbourne au	-37.81	144.96	0026	temp. marine	Cfb	summer	1985	hvac	
09	montreal ca	45.55	-073.64	0039	continent. subartic	Dfb	summer	1996	hvac	
10	montreal ca	45.55	-073.64	0039	continent. subartic	Dfb	winter	1996	hvac	
17	ottawa ca	45.42	-075.70	0073	humid midaltitude	Dfb	winter	1996	hvac	
43	grand rapids us	42.96	-085.67	0195	humid midaltitude	Dfb	winter	1992	hvac	

Abb. 5.1 - RP 884, Index aller Projekte: die Angabe zur Klimagruppe und Klimatisierungsmodus spielen eine wichtige Rolle bei den kommenden Untersuchungen

## 5.1.2 Scatter Diagramm

Die zweite visuelle Methode ist ein zweidimensionales Streudiagramm (auf englisch Scatterplot). Es besteht aus einer Punktwolke (Fry 2004), in der jedem dieser Punkte den Treffpunkt zweier Parameter (oder statistischen Merkmale) auf einem kartesischen System markiert. Ein Scatterplot hilft dabei, Zusammenhänge in der Datenstruktur, wie die Konzentration bzw. Verteilung der Daten, sowie Ausreißer, schnell zu erkennen. Hier werden alle Daten der RP 884 Datenbank repräsentiert:

Auf der X-Achse steht die gemessene Außentemperatur.

Auf der Y-Achse steht die gemessene Innentemperatur.

Die Außentemperatur wird hier durch den Tagesmittelwert repräsentiert ( $\theta_{out}$ ). Der Grund dafür ist eine Prämisse der adaptiven Theorie, nach der die Menschen tendenziell ihre mittlere Komforttemperatur (mathematisch durch die neutrale Gerade repräsentiert) an den Tagesmittelwert anpassen. Es ist anzumerken, dass sowohl die CEN 15251 als auch die neue Version des ASHRAE Standard 55 von einem Halbwertzeitalgorithmus ausgehen, um den Einfluss der vergangenen Tage in die aktuellen Bewertungen einzubeziehen (vgl. 4.2.3 und 4.2.4). Für Entwurfszwecke werden allerdings auch die aktuellen Tageswerte für zufriedenstellend gehalten (Humphreys et al 2010 halten für diesen Zweck sogar Monatswerte für ausreichend).

Der Innentemperatur liegt die operative Temperatur aus der Datenbank zugrunde, allerdings war eine Korrekturberechnung nötig. Die operative Temperatur hat sich als Parameter für die Quantifizierung der Komforttemperatur im Laufe der Jahre durchgesetzt. Dennoch muss der Einfluss der Luftbewegung auf das Komfortempfinden während der Bewertung berücksichtigt werden (vgl. 4.2.3 und 4.2.4). Darum wurden die Werte der operativen Temperatur in Bezug auf die Messungen der Luftgeschwindigkeit mithilfe der folgenden Gleichung neu berechnet:

$$\text{für } V > 0,5 \text{ m/s: } \theta_{in} = \theta_i - (7 - (50 / (4 + (10 * V))))$$

$V$  = Luftgeschwindigkeit in m/s

$\theta_{in}$  = korrigierte Innentemperatur in °C

$\theta_i$  = ermittelte operative Temperatur (Rohdaten) in °C

Diese Gleichung wird bei dem EN 15251 eingesetzt, um eine mögliche Erweiterung des Komfortabstands durch die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit zu ermitteln. Im Umkehrschluss wird die Gleichung hier eingesetzt, um dieses Phänomen vorerst auszuschließen und mögliche Verzerrungen zu vermeiden, sowie die Bewertungen einheitlicher zu machen.

Sowohl auf der X-Achse ( $\theta_{in}$ ) als auch auf der Y-Achse ( $\theta_{out}$ ) werden die Temperaturen in 10°C Schritten markiert. Darüber hinaus sind der Mittelwert, das Maximum und das Minimum sowie die Standardabweichung aller vorhandenen Daten auf beiden Achsen abzulesen. Diese grafischen Elemente werden sich bis zum Ende des Kapitels wiederholen.

Die schwarz-transparenten Kästchen innerhalb des Diagramms geben an, bei welcher Außen- und korrigierten Innentemperatur eine Stimme abgegeben wurde. Alle vorhandenen Daten unabhängig von der Komfortbewertung werden dargestellt.

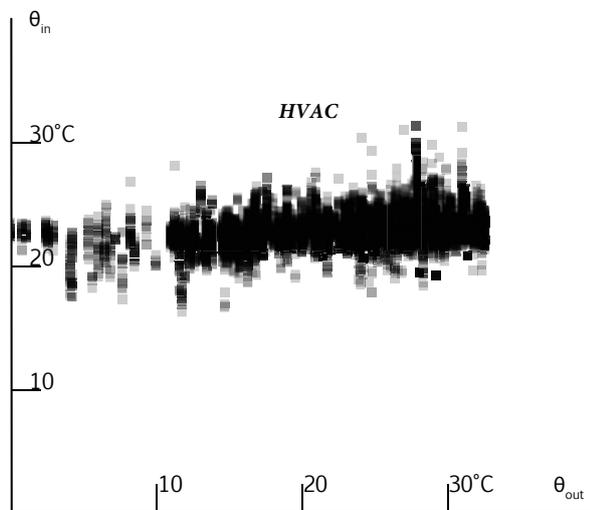
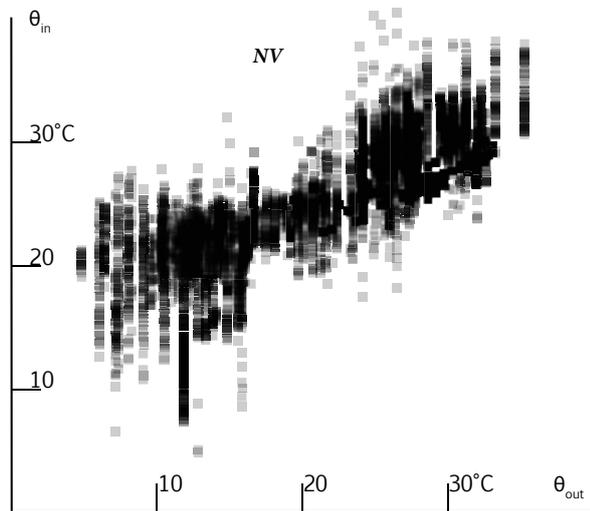
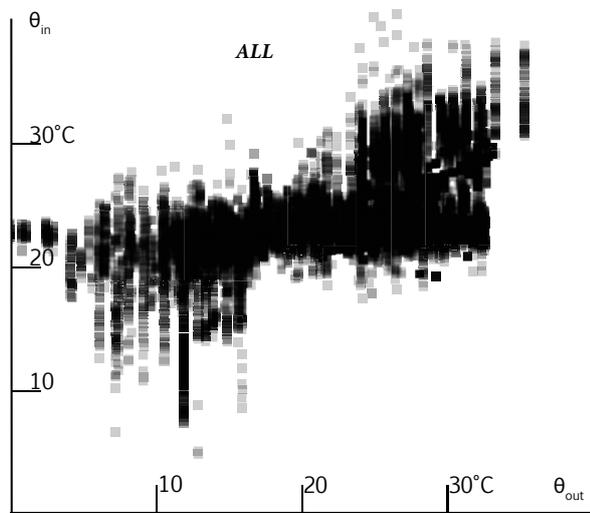


Abb. 5.2 - Scatter Diagramm mit allen Daten ALL(oben) und getrennt nach Klimatisierungsmodus. Die Daten aus natürlich belüfteten Gebäuden NV (Mitte) weisen im Gegensatz zu den Daten aus klimatisierten Gebäuden HVAC ein steigendes Muster auf.

Eine schnelle Beobachtung dieses Diagramms deutet auf ein zweigeteiltes Muster: das erste Muster ist eine durchgehende horizontale Fläche, die konstant oberhalb von 20°C Innentemperatur verläuft. Das zweite Muster fängt links unten an, etwa bei 10°C, und endet rechts oben, etwa bei 30°C. (s. Abb. 5.2a)

## Scatter Diagramm und Gebäudetypologien

Um diese Beobachtungen zu verifizieren werden die Daten in zwei Kategorien geteilt und separat dargestellt:

NV - naturally ventilated (natürlich belüftet)

HVAC - heated, ventilated, air conditioned (vollklimatisiert)

Diese Teilung ermöglicht, dass die von der Gebäudetypologie verursachten Unterschiede genauer beobachtet werden können.

### Gebäudetypologie: Hvac

Der Vergleich zeigt, dass gemäß allen Erwartungen die in vollklimatisierten Gebäuden (Kategorie HVAC) entstandenen Daten ein homogenes Bild mit kaum vertikalen Schwankungen und sehr horizontaler Verteilung aufweisen. Die Daten konzentrieren sich in einem kleinen Bereich kurz über der zweiten Teilung auf der Y-Achse (20°C Innentemperatur) (s. Abb. 5.2b).

### Gebäudetypologie: Nv

Anders als bei der HVAC-Typologie zeigen die Daten der natürlich belüfteten Gebäude eine steigende Verteilung, wobei sich die Werte der Innentemperatur (Y) proportional zu den Werten der Außentemperatur (X) entwickeln (s. Abb. 5.2c).

Auffallend ist, dass zwei Gruppenflächen zu erkennen sind. Die erste liegt bei etwa 10°C Außentemperatur, die zweite fängt ab 20°C Außentemperatur an. Zwischen beiden Flächen macht sich kurz vor der zweiten Einteilung eine kleine Verengung bemerkbar. Diese ist mit aller Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass die Befragungen lediglich im Winter und Sommer stattgefunden haben, nicht aber im Frühling oder Herbst.

Es ist auch erkennbar, dass die Elemente der zweiten Gruppen (ab ca. 25°C) ein steileres Gebilde formen als die Elemente der ersten Gruppe.

## Beobachtung

Der grafische Vergleich zeigt, wie sehr unterschiedlich die klimatischen Muster der zwei Typologien sind. Die Typologie HVAC ist für die weiteren Untersuchungen von geringer Bedeutung und wird deshalb ab diesem Punkt nicht weiter behandelt.

## **Die drei Klimagruppen: A, B, C**

Da alle in der RP 884 vorliegenden Daten der Hauptklimagruppe D der Typologie HVAC angehörten, wird die Gruppe in den weiteren Untersuchungen nicht mehr erwähnt. Die separate Darstellung nach Hauptklimagruppen in Verbindung mit der Gebäudetypologie NV wird zeigen, bei welchen klimatischen Bedingungen die Stichproben gemacht wurden. Die Erfahrung mit der Gliederung nach Gebäudetypologien hat gezeigt, dass selbst bei einer so einfachen Abbildung (ohne die Komfortbewertung selbst zu berücksichtigen) schon ein deutlicher Musterunterschied zu erkennen ist. Nun geht die Suche nach Differenzierung mit der Gliederung nach Klimagruppen weiter.

### **Klimagruppe: A**

Wie in der Abbildung 5.3 zu erkennen ist, konzentrieren sich die Daten der A-Gruppe im obersten rechten Bereich (konstante und höhere Innen- und Außentemperaturen) des Diagramms; der Mittelwert, sowohl der Innen- als auch der Außentemperatur, liegt etwa bei 28 °C.

Auf der X-Achse liegen die absoluten Werte zwischen 22,22 °C und 32,78 °C die Mehrheit liegt zwischen ca. 26 °C und 30 °C (Standardabweichung gleich 2,2 K).

Auf der Y-Achse konzentrieren sich die Daten ebenfalls in dem Bereich zwischen ca. 26 °C und 30 °C mit dem absoluten Maximum von 34,36 °C und dem absoluten Minimum 23,06 °C.

Man kann zwei unterschiedliche Muster beobachten. Das erste zeigt eine sehr deutlich linienartige steigende Form, und die andere eine etwas heterogenere Form. Die Hauptfigur mit ihrem schlanken Muster kommt allen Erwartungen entgegen, denn in der A-Klimagruppe herrschen sehr kleine Tagestemperaturschwankung und regelmäßig hohe Temperaturen. (s. Abb. 5.3a)

### **Klimagruppe: B**

Die B-Gruppe besetzt, anders als die A, einen sehr breiten Bereich des Diagramms und ist sowohl horizontal als auch vertikal gut verteilt. Der Grund dafür ist, dass die B-Klimagruppe von großen Tages- als auch Jahresschwankungen geprägt ist. Die Standardabweichung der Innentemperatur beträgt durchschnittlich ca. 5,7K. (s. Abb. 5.3b)

Auf der X-Achse liegen die absoluten Werte zwischen 5,7°C und 35°C, aber die Verteilung konzentriert sich zwischen 14°C und 30°C. Unter 20°C Außentemperatur weist das Diagramm eine horizontale Form auf. Im Gegensatz dazu steht die geneigte Form zwischen 20°C und 30°C.

Auf der Y-Achse konzentrieren sich die Daten auch in dem Bereich zwischen ca 20°C und 31°C mit dem absoluten Maximum von 43,6°C und Minimum 5,7°C.

## **Klimagruppe: C**

Die C-Gruppe ist horizontal ähnlich verteilt wie die B-Gruppe, allerdings ist sie vertikal etwas konzentrierter. Die verglichen mit der B-Gruppe kleineren Tagestemperaturschwankungen (aber immer noch größer als bei A) erklären dieses Erscheinungsbild (s. Abb. 5.3c).

Das Diagramm - auf die X-Achse bezogen - ist in zwei Bereiche geteilt. Der erste Bereich unter 20°C Außentemperatur ist, abgesehen von einem Ausreißer kurz über 10°C, sehr kompakt und scheint so etwas wie eine Kurve zu beschreiben, deren niedrigster Punkt bei etwa 20°C Innentemperatur liegt und kontinuierlich ansteigt.

Der zweite Bereich ist etwas verstreuter, zeichnet aber ebenfalls eine Kurve in umgekehrter Richtung mit dem höchsten Punkt um die 30°C Außentemperatur.

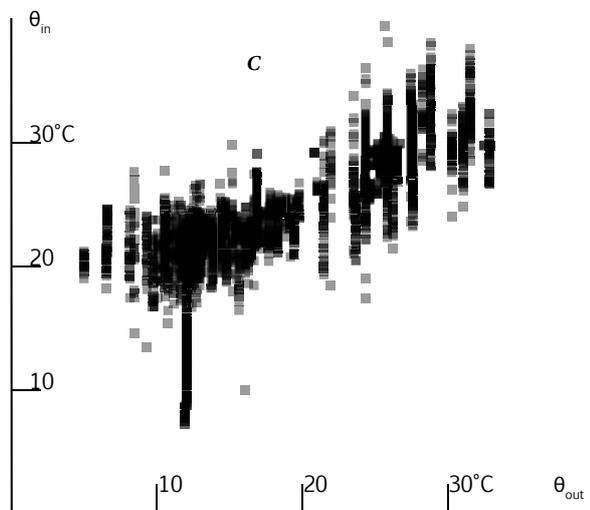
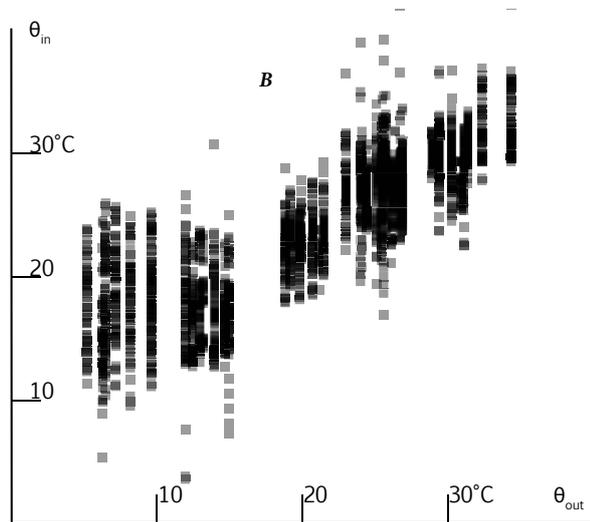
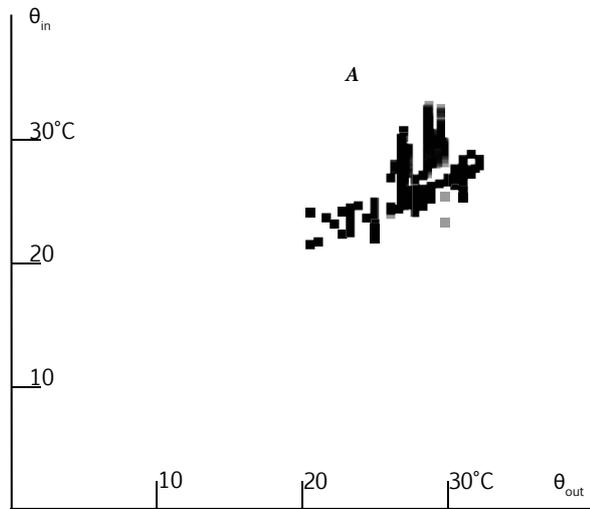


Abb. 5.3 - Die Stimmen aus den Hauptklimagruppen: Gruppe A (oben), B (Mitte), C (unten)

### 5.1.3 Scatter Diagramm: Komfortbewertung

Jeder der bis jetzt dargestellten Punkte des Scatterplots zeigt nur, dass in dieser bestimmten Position (Außentemperatur vs. korrigierte Innentemperatur) eine Bewertung bzw. eine Stimme abgegeben wurde. Die Bewertung selbst wurde noch nicht dargestellt. Die Darstellung dieser Information verlangt die Einführung einer weiteren Variable: die Komfortbewertung.

Die Bewertungen in der Datenbank werden gemäß der ASHRAE Komfortskala in sieben Stufen geliefert (vgl. 4.1.2), und können in zwei Gruppen geteilt werden: Komfort und nicht-Komfort.

Die erste Gruppe besteht aus den Daten, die den Werten in der ASHRAE Komfortskala „-1“, „0“ oder „+1“ entsprechen; d.h. von „etwas kühl“ („slightly cool“) bis „etwas warm“ („slightly warm“). Die restlichen Daten gehören in die zweite Gruppe.

Diese Teilung vereinfacht die Darstellung des als komfortabel empfundenen Bereichs sehr und erweist sich als hilfreich für die weitere Untersuchung.

Für die grafische Darstellung kämen die Variation der Größe, der Form oder auch der Farbe der markierten Punkte in Frage. Denn die tatsächliche Einführung einer dritten Achse (Z-Achse) würde sich als zu kompliziert erweisen und die Lesbarkeit beeinträchtigen. Der Nachteil, eine Z-Achse einzuführen, wurde von vielen Autoren im Bereich Data Visualisierung thematisiert (Fry 2010, Tufte 2007)

Die Entscheidung fiel für eine kontrastreiche Darstellung in zwei Repräsentierungen:

Nicht-Komfort-Gruppe: schwarzer Rahmen, keine Füllung  
Komfort-Gruppe: kein Rahmen, graue Füllung

#### Komfortbewertung, Gruppe A

Von der gesamten Anzahl der aus Klimagruppe-A stammenden Daten gehören 69% in die Komfort-Gruppe. Eine deutliche Differenzierung zwischen den Mustern beider Gruppen, Komfort und nicht-Komfort, ist auf dieser Darstellung nicht zu erkennen. (s. Abb. 5.4a)

#### Komfortbewertung, Gruppe B

Bei der B-Gruppe sind 79.6% Komfortstimmen. Auch wenn die Muster der zwei Bewertungskategorien schon etwas differenzierter scheinen als bei A, sind deutliche Unterschiede immer noch nicht zu erkennen. (s. Abb. 5.4b)

#### Komfortbewertung, Gruppe C

Auch bei der gemäßigten Klimagruppe C ist diese Analyseverfahren nicht erfolgreich und die Muster der beiden Kategorien vermischen sich. (s. Abb. 5.4c)

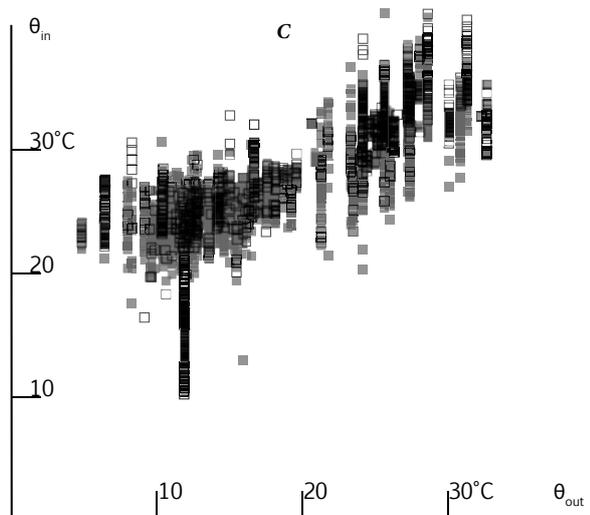
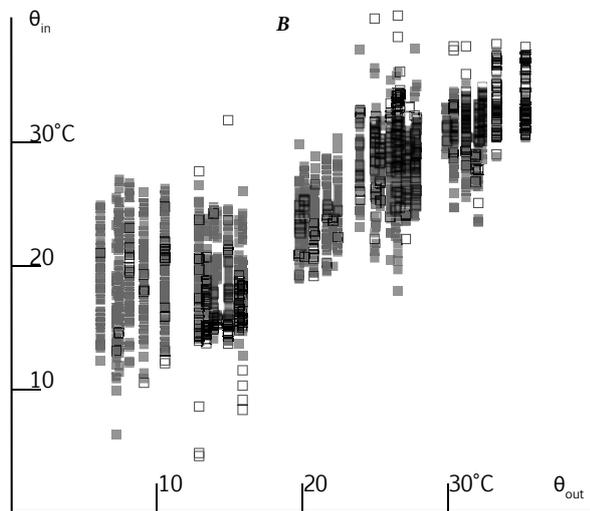
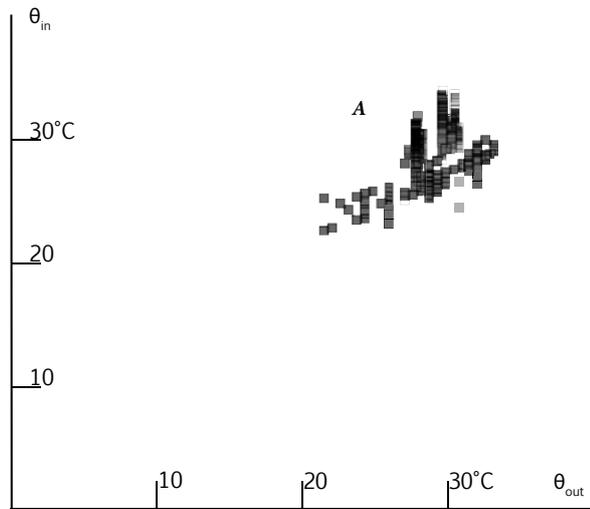


Abb. 5.4 - Die Darstellung der Komfortbewertung in zwei Kategorien nach Klimagruppen:  
Gruppe A (oben), B (Mitte), C (unten)

### **5.1.4 Heatmaps - Zufriedenheitsanteil: 90%, 80%, 70%**

Heatmaps sind eine weitere Darstellungsart, drei unterschiedliche Variable in einem zweidimensionalen Koordinatensystem zu repräsentieren. Hierbei wird das Koordinatensystem in ein Raster aufgeteilt. Jede Zelle kann mithilfe eines Farbcodes ein drittes statistisches Merkmal repräsentieren, beispielweise eine Konzentration.

In dem hier vorliegenden Heatmap werden die Außentemperatur und die korrigierte Innentemperatur auf ganze Zahlen gerundet, wodurch eine Einteilung in Zellen von 1°C Größe ermöglicht wird.

Die Darstellung der Komfortbewertung beruht auch hier, wie beim Scatter mit Komfortbewertung, auf der Einteilung in zwei Komfortkategorien. Allerdings wird hier der Anteil der „Zufriedenen“ (Komfortgruppe) im Verhältnis zur gesamten Anzahl der abgegebenen Bewertungen pro Zelle berechnet (Komfortgruppe + nicht-Komfortgruppe).

Die Ergebnisse werden in drei Kategorien geteilt: 90% (90% oder höher), 80% (zwischen 90% und 80%) und 70% (zwischen 80% und 70%). Als Bedingung steht, dass mindestens zehn Stimmen pro Zelle bestehen, ansonsten wird die Operation nicht durchgeführt und die Zelle wird leer (weiß) dargestellt.

#### **Heatmaps: Gruppe A**

Die Darstellung zeigt sich schon im ersten Moment als besser lesbar. Dennoch erreichen bei der ersten analysierten Gruppe A nur drei Zellen die 90% Zufriedenheitsklasse, welche standardmäßig als Komfortklasse anerkannt wird. Aus diesem Ergebnis wäre es unmöglich, einen Komfortbereich abzuleiten. Dafür wäre mindestens die Inklusion der zwei weiteren Klassen erforderlich. (s. Abb. 5.5.a)

#### **Heatmaps: Gruppe B**

Bei der B-Gruppe ist es möglich, ein Muster zu erkennen, welches für die Bildung eines Komfortbereichs brauchbar wäre. Allerdings sind die belegten Zellen unter 20°C Außentemperatur sehr verstreut. (s. Abb. 5.5.b)

#### **Heatmaps: Gruppe C**

Bei der C-Gruppe ist ein Heatmap entstanden, welches Rückschlüsse zulässt. Ihr kompaktes Muster ist fast ausreichend, um einen Komfortbereich abzuleiten, wobei die Deutlichkeit zwischen 20°C und 30°C Außentemperatur etwas nachlässt. (s. Abb. 5.5.c)

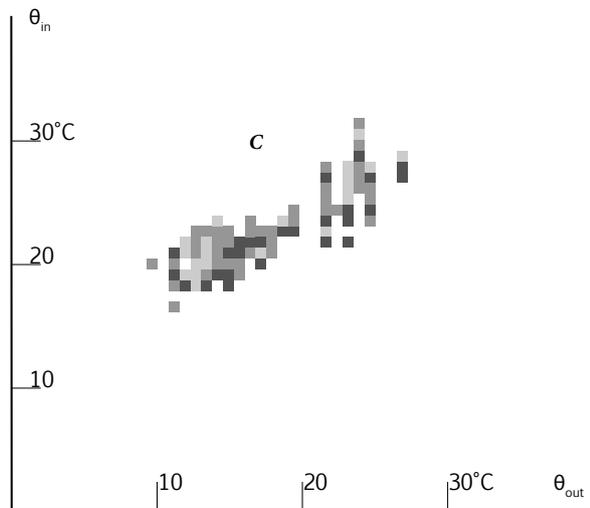
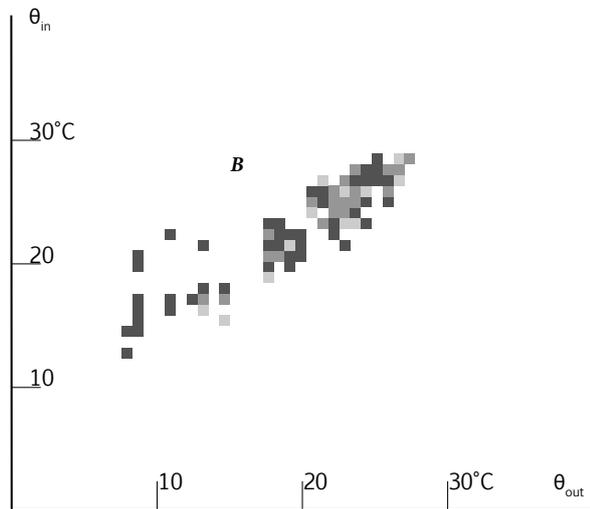
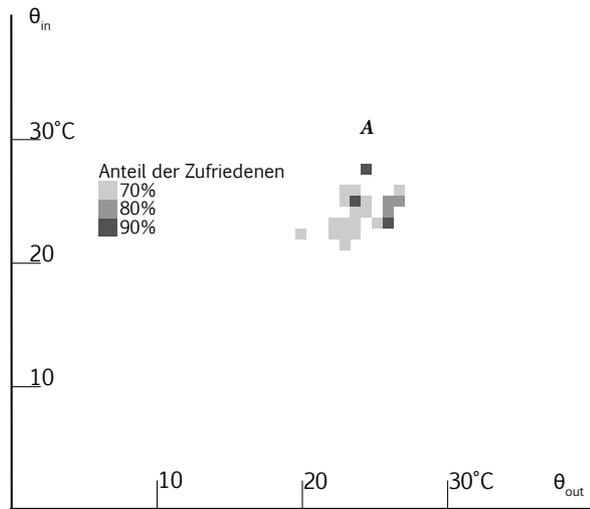


Abb. 5.5 - Heatmaps 90% (dunkel), 80% (mittel) und 70% (hell) Zufriedenheitsanteil, Gruppe A (oben), B (Mitte), C (unten)

### 5.1.5 Boxplot: Mittelwert und Standardabweichung

Obwohl die Heatmap-Methode schon eine Verbesserung gegenüber dem Scatter Diagramm aufweist, ist es immer noch nicht möglich, eine deutliche Tendenz zu erkennen.

Der nächste Versuch, eine repräsentative Aussage zu treffen, basiert auf der Annahme, dass die Menschen ihr Komfortempfinden (die mittlere Komforttemperatur) gemäß des Tagesmittelwertes der Außentemperatur anpassen und davon ausgehend eine bestimmte Temperaturschwankung tolerieren. (vgl. 4.2)

Diese Aufgabe kann eine abgewandelte Version des Boxplots (auch Box and Whisker plot) am besten erfüllen. Das Ziel eines Boxplots ist es, die Konzentration und Streuung von Daten zu visualisieren. Die gewöhnliche dargestellten Merkmale sind: Median (als Strich mittig und parallel zur Achse), oberes und unteres Quartil (als Kasten), oberer und unterer Extremwert (als Strich orthogonal). In einigen Versionen kann ein weiteres Merkmal durch die Breite des Kastens dargestellt werden. In dem vorliegenden Fall genügt aber der Mittelwert als Punkt und die beide Extremwerte (Standardabweichung) als Strich darzustellen: also ein Punkt-Strich-Diagramm. Diese Darstellung lehnt sich an Tuftes (2007) Vorschlag zur „Data-ink Maximierung“ an.

Die Außentemperaturwerte werden, wie bei der Heatmap-Methode auch, gerundet. Alle Nicht-Komfort Stimmen werden ausgeschlossen, nur die Komfortstimmen werden weiter betrachtet. Für jeden Außentemperaturwert werden nun die entsprechenden Mittelwerte, Maximum und Minimum, sowie Standardabweichung der Komforttemperatur ermittelt und in Form eines vereinfachten Boxplot-Diagramms dargestellt. Der Tagesmittelwert wird als schwarzer Kasten, die mittlere Standardabweichung als senkrechter Strich dargestellt.

#### Boxplot: Gruppe A

Das Profil des Boxplots ist dem des vorangegangenen Heatmap-Diagramms mit allen Komfortkategorien der A-Gruppe sehr ähnlich. Allerdings zeigt dieses Profil ein sehr deutlich zu erkennendes Muster. Ein Versuch, die Kästen des Tagesmittelwerts visuell zu verbinden, würde deutlich zu der Form einer Kurve führen. Diese Kurve würde ihren maximalen Wert um die 30°C (X-Achse und Y-Achse) und ihren minimalen Wert um die 20°C (X-Achse) und 25°C (Y-Achse) haben. (s. Abb. 5.6a)

#### Boxplot: Gruppe B

Das Boxplot Diagramm der B-Gruppe weist ein zweigeteiltes Muster auf, das im Vergleich mit der A-Gruppe ein weniger deutliches Profil zeigt. Der erste Teil geht auf der X-Achse bis 20°C und ist ziemlich verstreut. Der zweite Teil – ab 20°C – ist kompakter, und weist eine Kurve auf. Der maximale Wert der Kurve ragt, wie bei der A-Gruppe, etwas über 30°C (Y-Achse) und der minimale Wert liegt zwischen 10°C und 20°C (X-Achse). (s. Abb. 5.6b)

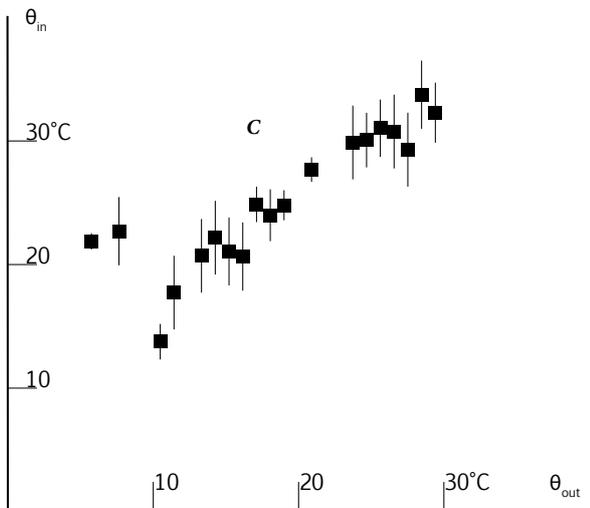
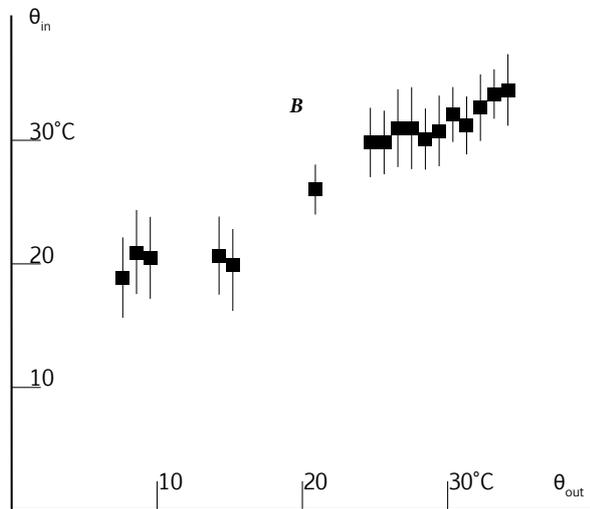
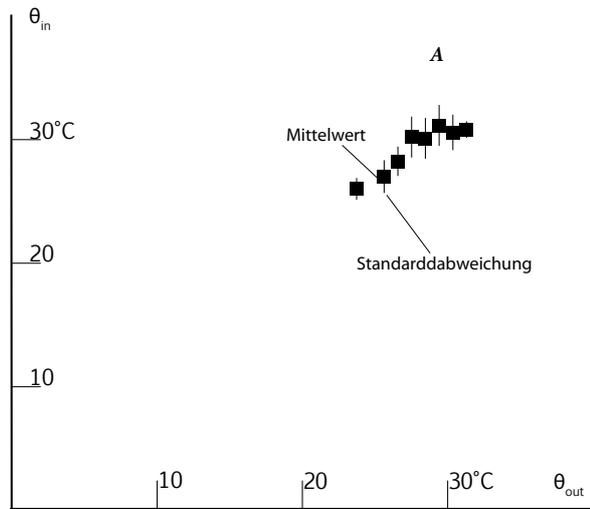


Abb. 5.6 - Boxplot, Mittelwert und Standardabweichung der operativen Temperatur in Bezug auf die gerundete Außentemperatur, Gruppe A (oben), B (Mitte), C (unten)

## **Boxplot: Gruppe C**

Die C-Gruppe ist viel homogener verteilt als die B-Gruppe und deutet auf ein erkennbares Muster hin, abgesehen von wenigen Ausreißern unter 10°C Außentemperatur. So wie bei B liegt der maximale Wert der Kurve kurz über 30°C Innentemperatur und der minimale Wert liegt zwischen 10 und 20°C. (s. Abb. 5.6c)

## 5.2 Ausgleichskurve: mittlere Komforttemperatur

Um die Erkenntnisse des Boxplots mathematisch abzuleiten, wird die Ausgleichskurve aus den Mittelwerten berechnet. Es steht die Absicht dahinter, dass ein kontinuierliches Konstrukt (die polynomische Kurve) an Stelle des in Sommer und Winter geteilten Modells vorgeschlagen wird. Diese Absicht basiert erstens auf der schon angedeuteten Form aus den Boxplots und zweitens auf der Annahme, dass eine abrupte Veränderung des Verhaltensmusters der Nutzer - wie es bei einem durch zwei Gerade repräsentierten Profil wäre - nicht vereinbar mit menschlicher Reaktion ist. Angemessener wäre eine ineinander fließende Funktion, welche durch eine polynomische Kurve am besten beschrieben werden kann. Drittens zeigt die Beobachtung der grafischen Muster der Klimaphänomene, mit denen die Komfortmuster in direktem Zusammenhang zu sehen sind, die Angemessenheit der Kurve als Darstellungsmittel. Nach der statistischen Überprüfung kann man feststellen, dass die angewandte Methode für die Ermittlung der polynomischen Kurve (eine Kurvenregression mit Excel) zu guten Ergebnissen führt, denn bei allen drei Klimagruppen ist das Bestimmtheitsmaß befriedigend ( $R^2 > 0.9$ ). Diese Ableitung wird auch in de Siqueira & Dietrich (2013) beschrieben.

Eine weitere Entwicklung ist die Übersetzung der polynomischen Kurve in eine trigonometrische Funktion. Die bestgeeignete Funktion für diese Aufgabe, wie Prof. Dietrich vorschlug, ist der Arkustangens. Diese Funktion wird durch einen Annäherungsversuch zur polynomischen Kurve gefunden.

Die Arkustangensfunktion (Arctan) wird auf den folgenden Abbildungen (s. Abb. 5.7) als gestrichelte Kurve und die polynomische Funktion als schwarze durchgezogene Kurve dargestellt.

### Ausgleichskurve: Gruppe A

Das Muster der A-Gruppe zeigt sich sehr steil in dem Bereich zwischen etwa 20°C und 30°C Außentemperatur ( $\theta_{ao}$ ), danach wird die Kurve flach. Bei dem höchsten Punkt der Kurve, etwa bei 30°C, nähern sich Außen- und Innentemperatur, ein Phänomen, das ab dem niedrigsten Punkt (etwa 20°C X-Achse) auftritt, unter dem die Komforttemperatur zu etwa 22°C tendiert.

Der polynomische Algorithmus für die A-Gruppe lautet:

$$\begin{aligned} \theta_o < 22^\circ\text{C}: \theta_i &= 22.7^\circ\text{C}; \text{ für } \theta_o > 30^\circ\text{C}: \theta_i = 30.3^\circ\text{C}; \\ \text{sonst: } \theta_i &= -0.0239\theta_o^3 + 1.8668\theta_o^2 - 47.529\theta_o + 421.34 \end{aligned}$$

Die trigonometrische Funktion für die A-Gruppe:

$$\begin{aligned} \theta_{ai} &= 26,5 + (9/\pi * \text{ARCTAN}(0.37 * (\theta_{ao} - 25,7))) \\ \text{wobei: } \theta_{ai} &= \text{Innentemperatur, } \theta_{ao} = \text{Außentemperatur} \end{aligned}$$

## Ausgleichskurve: Gruppe B

Die B-Gruppe zeigt eine gleichmäßig geneigte Kurve mit sanften Rundungen jeweils kurz über 10°C und um 30°C Außentemperatur. Die Komforttemperatur steigt kontinuierlich mit der Außentemperatur bis zu einer Außentemperatur von etwa 30°C. Bei den niedrigsten Außentemperaturwerten nähert sich die Komforttemperatur den 18°C und bleibt fast konstant.

Die polynomische Funktion für die B-Gruppe:

$$\begin{aligned} &\text{Für } \theta_o < 8^\circ\text{C: } \theta_i = 18.7^\circ\text{C; für } \theta_o > 35^\circ\text{C: } \theta_i = 32.5^\circ\text{C;} \\ &\text{sonst: } \theta_i = -0.0014\theta_o^3 + 0.0911\theta_o^2 - 1.2127\theta_o + 23.316 \end{aligned}$$

Die trigonometrische Funktion für die B-Gruppe:

$$\begin{aligned} &\theta_{bi} = 25,25 + (17,5 / \pi * \text{ARCTAN}(0,15 * (\theta_{bo} - 21,7))) \\ &\text{wobei: } \theta_{bi} = \text{Innentemperatur, } \theta_{bo} = \text{Außentemperatur.} \end{aligned}$$

## Ausgleichskurve: Gruppe C

Die C-Gruppe zeigt eine steilere Kurve als die B-Gruppe, wobei die Reichweite größer als die bei der A-Gruppe ist. Ab einer Außentemperatur von etwa 20°C beginnt die Kurve abzuflachen und bei 30°C nähern sich beide Temperaturen an. Bei einer Außentemperatur von 10°C ist eine mittlere Komforttemperatur von etwa 20°C abzulesen.

Die polynomische Funktion für C-Gruppe:

$$\begin{aligned} &\text{Für } \theta_o < 10^\circ\text{C: } \theta_i = 19.3^\circ\text{C; für } \theta_o > 29^\circ\text{C: } \theta_i = 29.2^\circ\text{C; sonst:} \\ &\theta_i = -0.0024\theta_o^3 + 0.1393\theta_o^2 - 1.9593\theta_o + 27.392 \end{aligned}$$

Die trigonometrische Funktion für Cnv-Gruppe:

$$\begin{aligned} &\theta_{ci} = 26 + (14 / \pi * \text{ARCTAN}(0,18 * (0,19 * (\theta_{co} - 20,4)))) \\ &\text{wobei: } \theta_{bi} = \text{Innentemperatur, } \theta_{bo} = \text{Außentemperatur} \end{aligned}$$

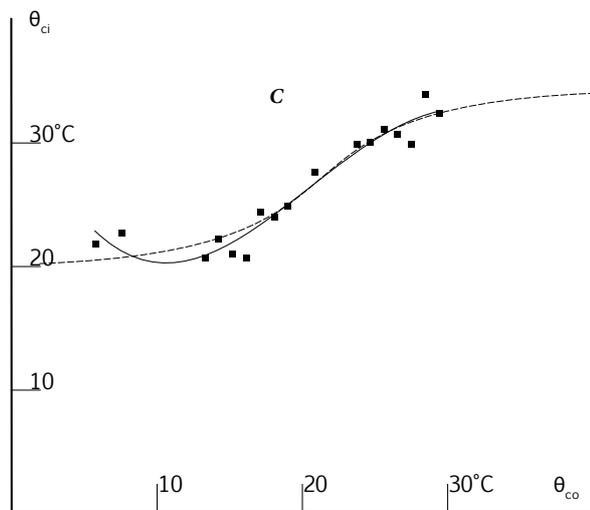
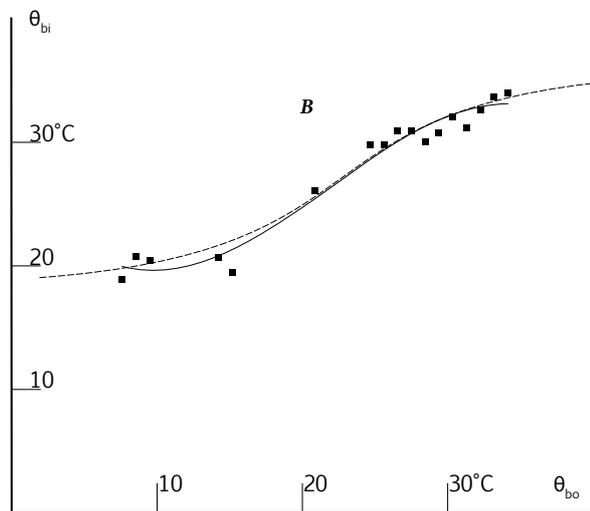
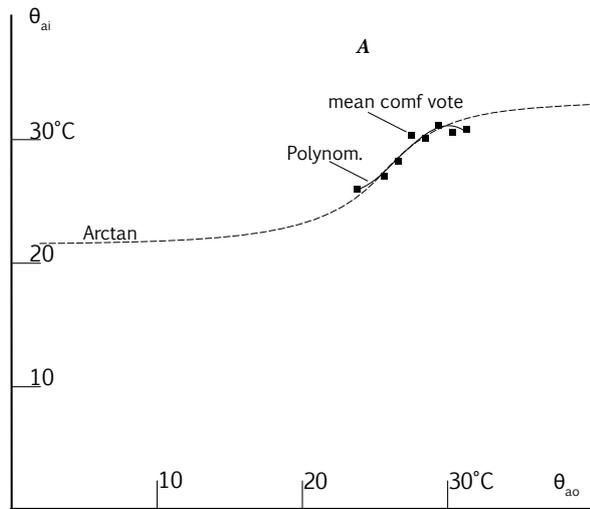


Abb. 5.7 - Die mittlere Komfortkurve (Ausgleichskurve) für die drei Klimagruppen, Gruppe A (oben), B (Mitte), C (unten)

### 5.3 Gleitender Komfortbereich

In diesem Abschnitt soll die zweite Hypothese geprüft werden. Sie basiert auf folgenden Grundgedanke: Wenn die mittlere Komforttemperatur innen direkt von der mittleren Außentemperatur abhängt, wie weiter oben beschrieben wurde, dann ist anzunehmen, dass die Größe des Komfortbereichs innen auch von der Tagesschwankung draußen abhängt.

Um den Komfortbereich festzulegen, wird der Abstand zwischen der mittleren Komforttemperatur und den Komfortgrenzen definiert (Komfortabstand). Als erstes wird überprüft, ob die angewendete Methode zu einer in Bezug auf die mittlere Komfortkurve symmetrischen Komfortgrenze führt. Dafür werden die Daten aller drei Klimagruppen zusammengerechnet und daraus die mittlere Komfortkurve ermittelt. Sie ergibt folgenden Algorithmus:

$$\begin{aligned} &\text{Für } \theta_o < 10: \theta_{imc} = 19.05; \text{ für } \theta_o > 31: \theta_{imc} = 30.7; \text{ sonst:} \\ &\theta_{imc} = -0.0018x^3 + 0.1121x^2 - 1.5789x + 25.43 \\ &\theta_o = \text{Tagesmittel Außentemperatur } ^\circ\text{C} \\ &\theta_{imc} = \text{mittlere Komforttemperatur } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Die Differenz ( $\Delta_c$ ) zwischen der in den Rohdaten gemessenen operativen Temperatur und der ermittelten mittleren Komforttemperatur sowie die Standardabweichungen wird errechnet. Die Abbildung 5.8 zeigt, dass die Korrelation zwischen dem Komfortabstand und den Komfortstimmen (ASHRAE votes) eine annähernd symmetrische Kurve aufweist. Dieser Prozess wird auch in de Siqueira & Dietrich (2014) beschrieben. Der Algorithmus, der diese Kurve beschreibt ist:

$$\begin{aligned} &\text{Für } \Delta_c < 9\text{K}: \text{ASH} = -3; \text{ für } \Delta_c > 9\text{K}: \Delta_c = 3; \text{ sonst:} \\ &\text{ASH} = -0.0019\Delta_c^3 - 0.0013\Delta_c^2 + 0.4828\Delta_c - 0.0905 \\ &\Delta_c = \text{Differenz operative Temperatur und Komforttemperatur;} \\ &\text{ASH} = \text{Komfortbewertung gemäß der ASHRAE-Skala} \end{aligned}$$

Nach der Annahme der adaptiven Komforttheorie steht das Komfortempfinden im Innenraum in direkter Verbindung mit den außenklimatischen Gegebenheiten. Diese Logik spiegelt sich bereits bei der Ermittlung der mittleren Komforttemperatur wieder. Es ist also folgerichtig, dass der Komfortabstand ( $\theta_{icr}$ ) auch von dem außenklimatischen Temperaturabstand (Tagesschwankung) abhängt. Darum werden erstmals die Innentemperaturabstände mit der gerundeten Tagesschwankung der Außentemperatur korreliert. Der Vorgang:

1. Es werden nur Komfortstimmen berücksichtigt und die Werte werden zunächst in Tageseinheiten sortiert.
2. Die Standardtagesabweichung der operativen Temperatur wird errechnet.
3. Die Außentemperaturwerte werden gerundet. Die Daten werden umsortiert und nach Außentemperaturwerten gruppiert.

- Der Mittelwert der Standardtagesabweichung je Außentemperaturwert wird ermittelt und beide Werte werden korreliert.

Das Ergebnis ist eine polynomische Kurve mit hohem Bestimmtheitsmaß ( $r^2=0.87$ ), was auf die Gültigkeit der Annahme hinweist. Abbildung 5.9 zeigt das Ergebnis der polynomischen Regression mit dem resultierenden Algorithmus:

Für  $\theta_{ods} < 4K$ :  $\theta_{icr} = 1.4K$ ; für  $\theta_{ods} > 17K$ :  $\theta_{icr} = 2.4K$ ; sonst:

$$\theta_{icr} = -0.0012x^3 + 0.0382x^2 - 0.2566x + 1.6098$$

$\theta_{ods}$  = Tagesschwankung

$\theta_{icr}$  = Komfortabstand

Der Einfluss der vergangenen Tage auf die aktuelle Komfortbewertung ist ein weiteres wichtiges Thema, welches durch Analogie von der Bestimmung der mittleren Komforttemperatur auf den Komfortabstand übertragen werden kann. De Dear (2011) beobachtete diese Beziehung anhand der Bekleidung der Nutzer, welche sich aus der Temperaturerwartung der Nutzer herleitet. Diese wiederum beruht auf den Temperaturerfahrungen der vorangegangenen Tage. De Dear leitete eine Halbwertzeitfunktion ab (vgl. 4.2.3). Diese Funktion wird hier genutzt, um eine „running mean outdoor swing“ (gleitende mittlere Tagestemperaturschwankung) zu bestimmen.

$$\theta_{rmos} = \theta_{dsw-1} * 0.34 + \theta_{dsw-2} * 0.23 + \theta_{dsw-3} * 0.16 + \theta_{dsw-4} * 0.11 + \theta_{dsw-5} * 0.08 + \theta_{dsw-6} * 0.05 + \theta_{dsw-7} * 0.03$$

$\theta_{dsw-1}$  ist gestern,  $\theta_{dsw-2}$  ist Vorgestern etc.

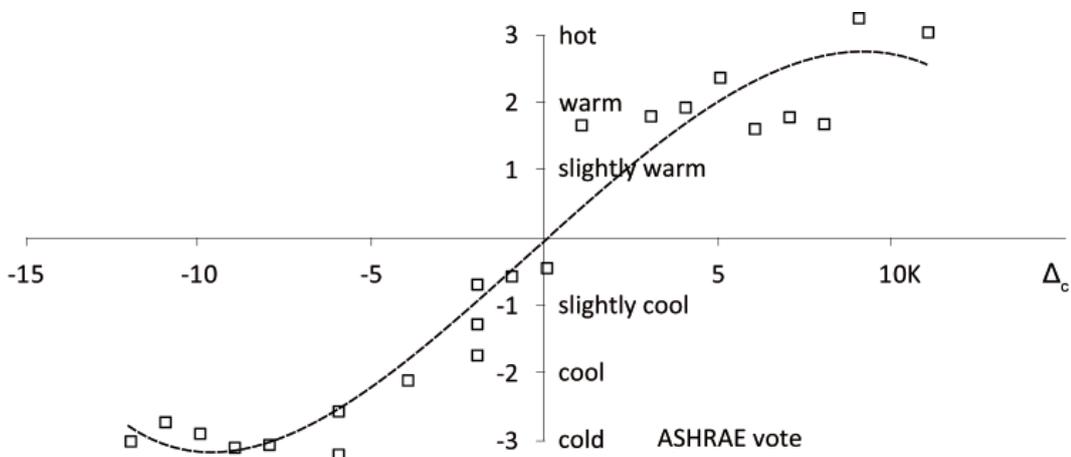


Abb. 5.8 - annähernd symmetrischer Bezug zwischen Komfortdifferenz ( $\Delta_c$ ) und Komfortbewertung in der ASHRAE-Skala (ASH)

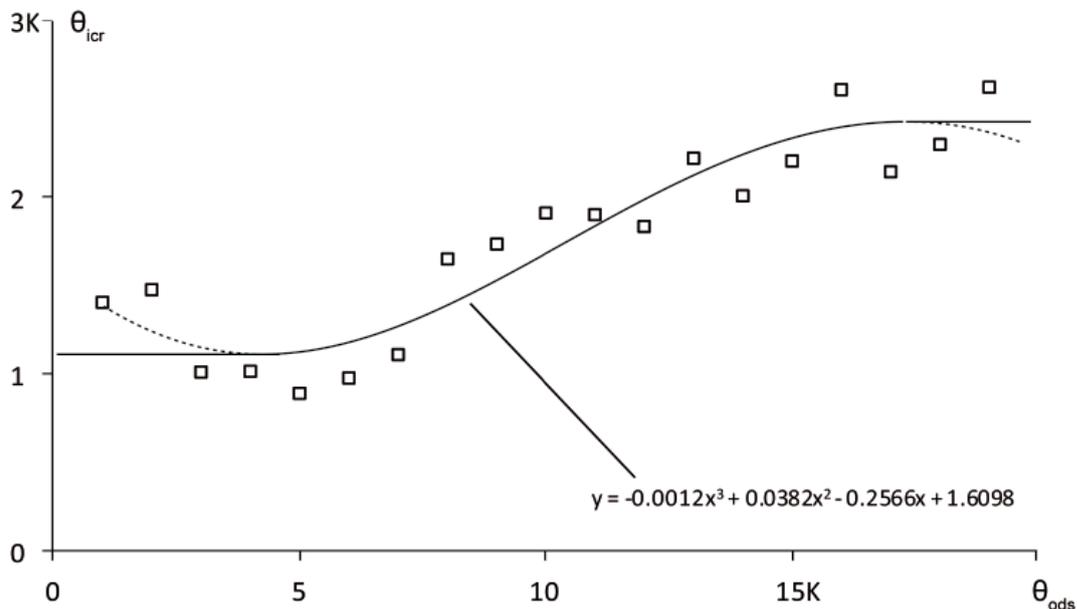


Abb. 5.9 - polynomische Regression des Komfortabstandes ( $\theta_{icr}$ ) auf Tagesschwankung ( $\theta_{ods}$ )

## 5.4 Ergebnisvisualisierungen

### 5.4.1 Korrelationsdiagramm

Eine sehr verbreitete Methode, die Ergebnisse einer thermischen Simulation zu visualisieren, ist durch ein Korrelationsdiagramm. Auf dem Diagramm werden die Komfortgrenzen dargestellt (im Falle der beiden Standards EN 15251 und ASHRAE 55 als Geraden) und die Werte der Simulation werden darauf als Punkt gezeichnet. (s. Abb. 5.10)

Ein Korrelationsdiagramm ist nach Tuft (2007) eine sehr verfeinerte Visualisierungsmethode, da sie viel Information in einem kompakten Raum gut darstellen kann. Sie ist aber, seit der Einführung eines gleitenden Komfortabstandes, nicht mehr anwendbar, weil die Komfortgrenzen nicht mehr konstant, sondern abhängig von dem historischen Ablauf der Tagesschwankungen sind. Das bedeutet, dass möglicherweise für den gleichen Außentemperaturwert mehrere unterschiedliche Komfortabstände vorhanden sind.

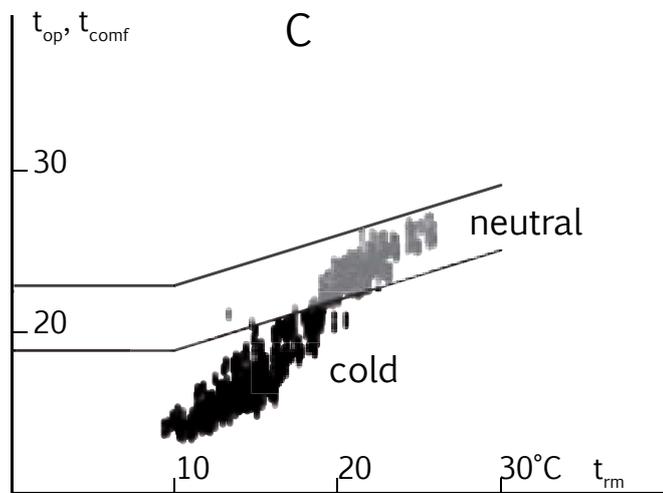
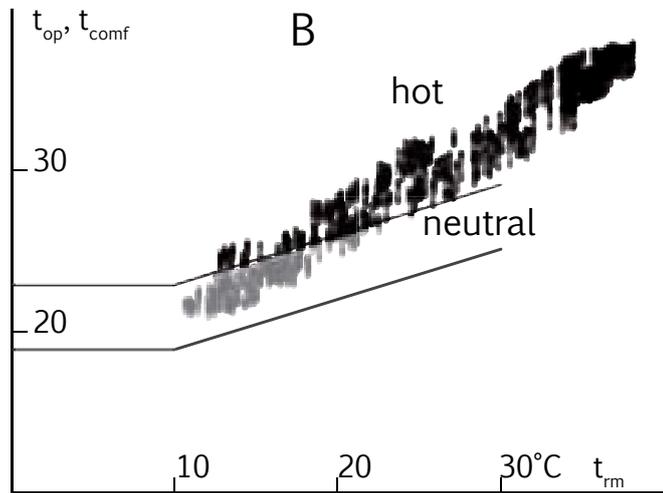
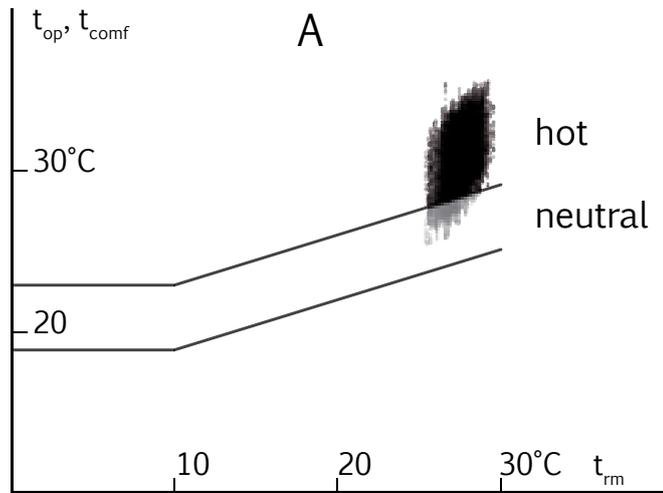


Abb. 5.10 - Komfortmodell ASHRAE Standard 55 - 2010: Darstellung von Ergebnissen einer thermischen Simulation mit Korrelationsdiagramm, Gruppe A (oben), B (Mitte), C (unten)

## 5.4.2 Zeitreihe

Die erste alternative Lösung ist die Darstellung der Daten in einer Zeitreihe (Time-series). Die Abbildung 5.11 zeigt die Komfortgrenzen als Strich und die registrierten Werte der thermischen Simulation als Punkte eines Fallbeispiels. Ein Vorteil dieser Darstellungsmethode gegenüber dem Korrelationsdiagramm ist die bessere Sichtbarkeit, wann genau ein Ereignis (z.B. eine Hitzewelle) eingetroffen ist.

## 5.4.3 Komfortdifferenz

Eine mögliche Optimierung dieser Darstellung ist die, anstatt alle registrierten Werte der Simulation als Punktwolke zu zeigen, nur Tagesmaximum bzw. Tagesminimum darzustellen. Diese können als Balken oder Linien und Flächen dargestellt werden. Darüber hinaus, um eine bessere Lesbarkeit zu unterstützen, können alle Werte innerhalb der Komfortzone gelöscht und nur (außer- oder innerhalb der Komfortgrenze) ihre Entfernung zur Komfortgrenze gezeigt werden. Das vereinfacht den Vergleich zwischen zwei Varianten sehr, da die Schwankungen der Komfortgrenzen nicht dargestellt werden. (s. Abb. 5.12)

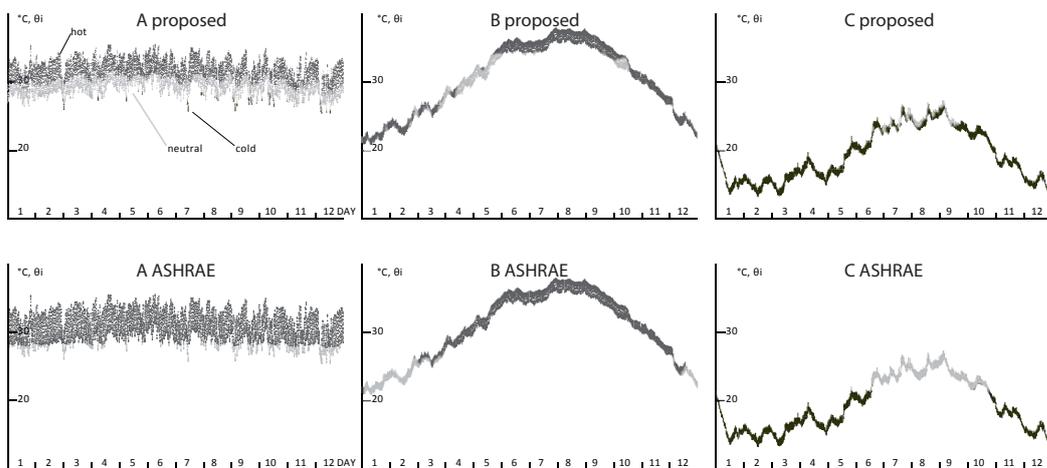


Abb. 5.11 - Darstellung der Ergebnisse einer thermischen Simulation aus drei ausgewählten Standorten (A-Singapur, B- Riad, C- Lissabon) Mithilfe einer Zeiteihe. Die in hellgrau dargestellten Punkte sind innerhalb des Komfortbereichs, in dunkelgrau außerhalb. Oben die Darstellung der Ergebnissen mit der Anwendung der vorgeschlagenen Methode. Unten die Anwendung des ASHRAE Algorithmus.

## 5.4.4 Absteigende Reihenfolge

Eine weitere Option ist die Darstellung der Ergebnisse der Komfortdifferenz in einer absteigenden Reihenfolge. Dies wäre möglich, wenn die errechneten Werte der Simulation bzw. ihre Entfernung von der mittleren Komfortkurve im Bezug zu einer hierarchischen Bewertung dargestellt würden. Diese Darstellungsmethode eignet sich besonders für den Vergleich zwischen mehreren Varianten zwecks eines Optimierungsverfahrens. (s. Abb. 5.12)

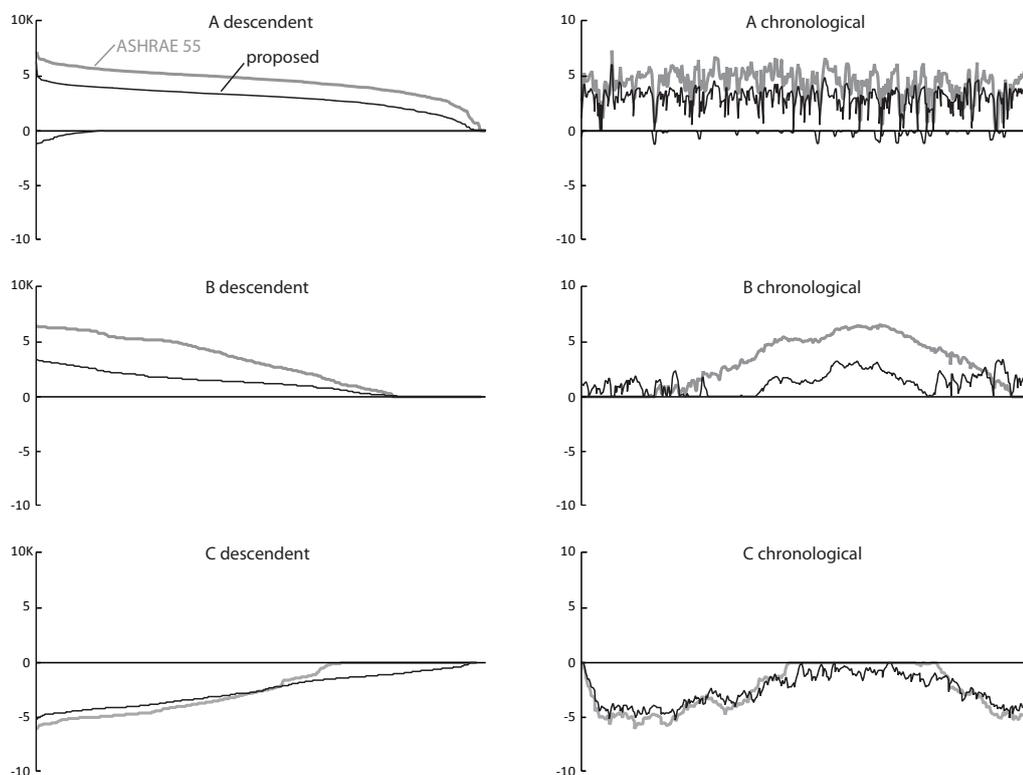


Abb. 5.12 - Vereinfachte Darstellung mit einer Zeilenreihe. Links werden die Ergebnisse in einer absteigenden, rechts in einer chronologischen Reihenfolge dargestellt. In hellgrau ist die Darstellung mit der vorgeschlagenen Methode.

## 5.5 Auswertung der vorgeschlagenen Evaluierungsmethoden

Die Diagramme (s. Abb. 5.13) zeigen einen direkten grafischen Vergleich zwischen den Komfortbereichen von ASHRAE und dem neuen vorgeschlagenen Modell. Der Tagesmittelwert der Außentemperatur in einem normalen Jahresverlauf (von 1. Januar bis zum 31. Dezember) wird in hellgrau, und die Komfortgrenzen der jeweiligen Modelle werden in schwarz dargestellt.

Als Vertreter der Klimagruppen werden die gleichen Orte gewählt wie vorher: Für Gruppe A werden die Klimadaten von Singapur eingegeben. Für die Klimagruppe B steht Riad und für die Klimagruppe C Lissabon.

In allen drei Gruppen zeigt das vorgeschlagene Modell eine engere Beziehung zwischen Außentemperatur und Komfortbereich. Die Komfortgrenzen des vorgeschlagenen Modells sind bei A und C schmaler und bei B ähnlich breit.

Die vorgeschlagene Evaluierungsmethode auf Basis der Gliederung in drei Klimagruppen und des gleitenden Komfortbereichs hat drei Vorteile:

Berücksichtigung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit auf den Komfort, wenn auch in indirekter Weise durch die Gliederung in Klimagruppen.

Eine Kurvenfunktion bietet einen feineren Übergang zwischen dem natürlich belüfteten und dem klimatisierten Modus.

Bei dem vorgeschlagenen Komfortmodell hängt die mittlere Komfortkurve direkt von der Außentemperatur ab und der Abstand des Komfortbereichs hängt direkt von der Tagestemperaturschwankung ab. Damit ist sowohl die Form als auch der Umfang des Komfortbereichs genau maßgeschneidert auf die herrschenden klimatischen Bedingungen des Standortes. Das bedeutet, es handelt sich hierbei um ein viel feineres Modell für die Evaluierung und Optimierung einer klimaadaptiven Architektur.

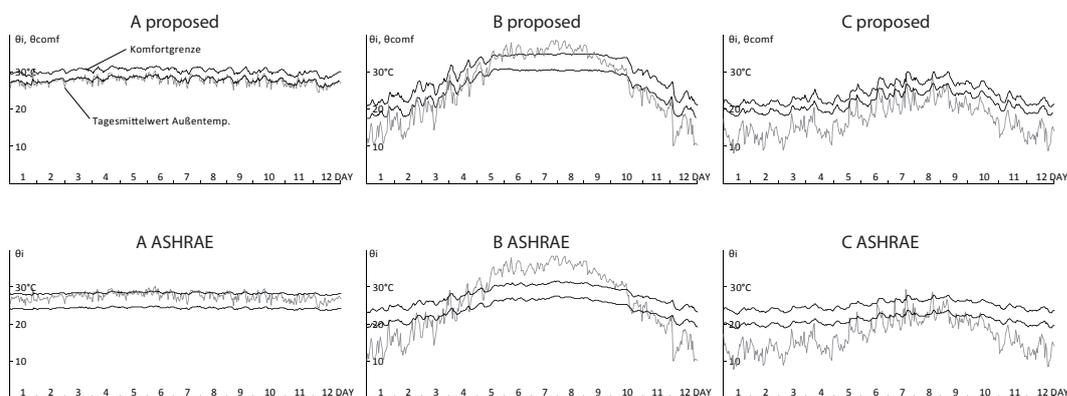


Abb. 5.13- Vergleich zwischen den Komfortbereichen von ASHRAE 55 -2010 und dem neuen vorgeschlagenen Modell für drei Standorte in einem Referenzjahr

## 6. Ergebnisse

### 6.1. Baumdiagramm

Das Ergebnis der Arbeit ist eine Entwurfsmethode unter Berücksichtigung der adaptiven Komfortmodelle und des Klimas. Die Anwendung dieser Methode erfolgt mithilfe des in der Abbildung 6.1 dargestellten Baumdiagramms. Der Ablauf der Methode wird in den nächsten Abschnitten gemäß der Struktur des Baumdiagramms erläutert.

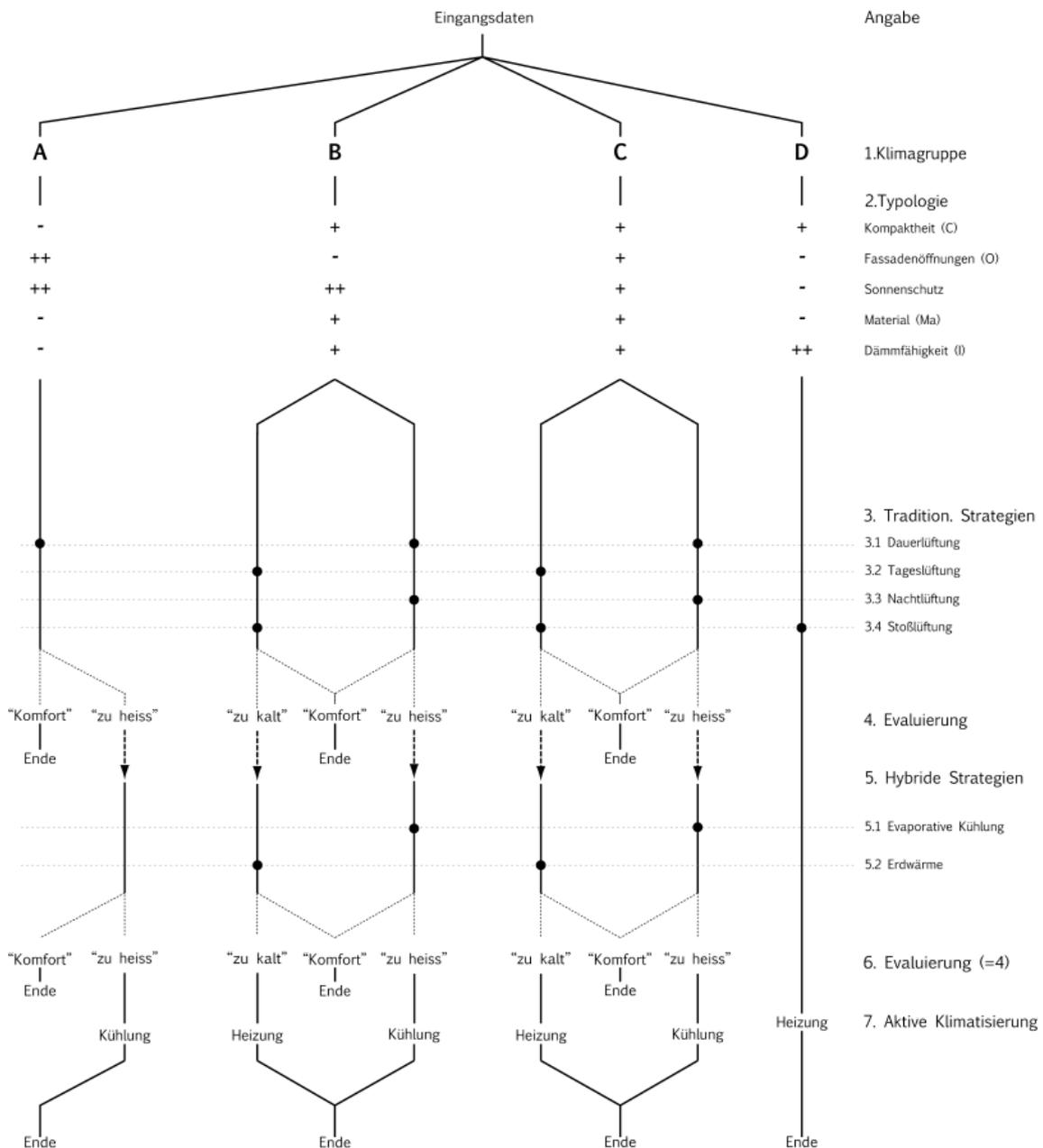


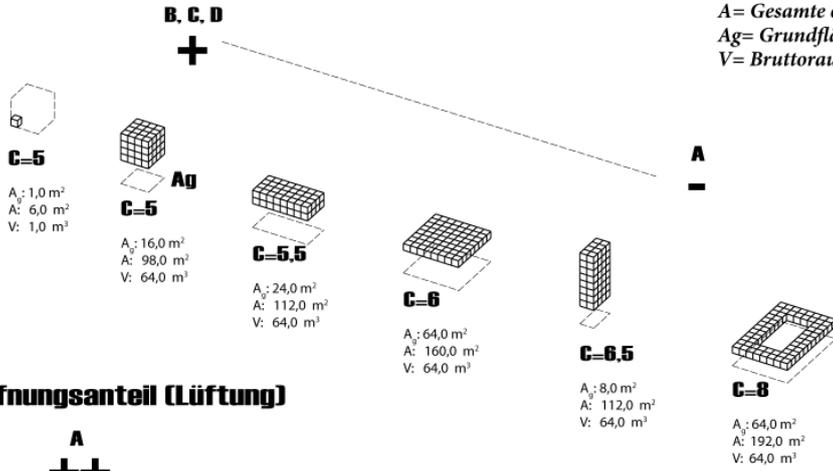
Abb. 6.1 - Baumdiagramm: Ablauf der Anwendungsmethode zur klimaadaptiven Entwurfsmethodik

# Typologie schema

## Kompaktheit

$$C = (A - A_g / V) * \sqrt[3]{V}$$

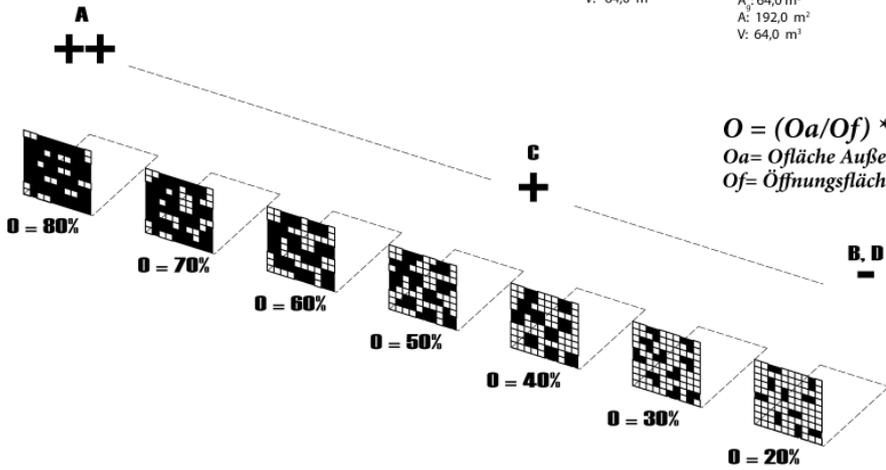
A = Gesamte oberfläche der Außenhülle  
 A<sub>g</sub> = Grundfläche  
 V = Bruttoraumvolumen



## Öffnungsanteil (Lüftung)

$$O = (O_a / O_f) * 100$$

O<sub>a</sub> = Ofläche Außenfassade  
 O<sub>f</sub> = Öffnungsfläche (brutto)



## Materialeigenschaft

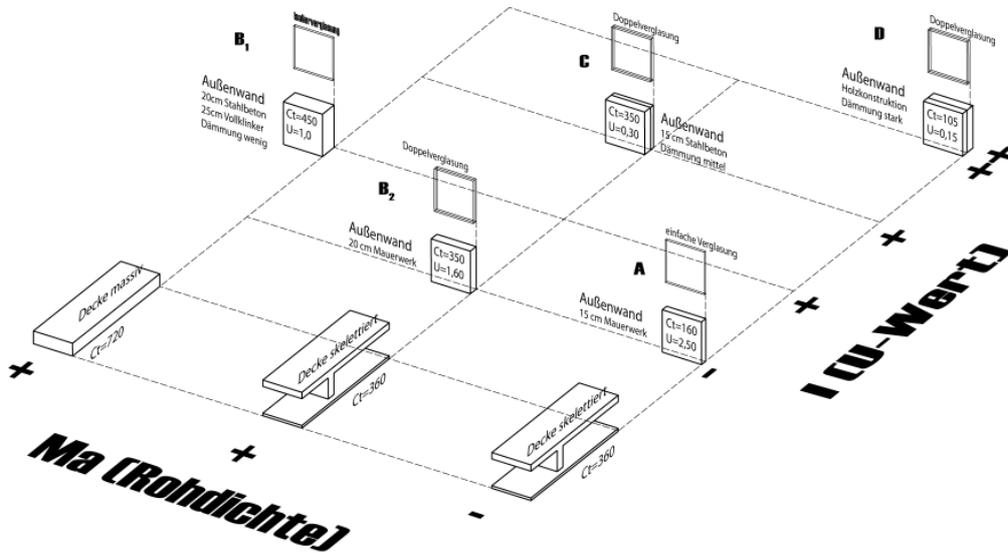


Abb. 6.2 - Typologienentwicklungsschema

## 1. Hauptklimagruppen

Die Methode beginnt mit der Einordnung des Standortes, an dem die Entwurfsaufgabe zu lösen ist, nach den Hauptklimagruppen. Es gibt mehrere effektive Klimaklassifikationen, unter denen die am meisten verbreitete die von Köppen und Geiger ist und als Vorbild ausgesucht wurde:

- A: warmfeucht
- B: trockenheiß
- C: gemäßigt
- D: kalt

Die für die angewendete Gliederung folgt der ursprünglichen Klimaklassifikation (vgl. 2.2), dennoch wird die Unterscheidung zwischen Kalt- und Polarklima - da sie für die Entwicklung einer Architekturtypologie eine geringere Rolle spielt - nicht gemacht. Eine weitere Abwandlung der Köppen-Geiger Klassifikation findet bei dem Trockenklima statt: Trockenklima steht nur für trockenheiß, d. h. trocken kalte Klimate werden hier in die D-Gruppe eingeschlossen. Daraus ergibt sich eine Gliederung in vier Klimagruppen.

## 2. Typologie

Wie bereits im „Kapitel 2 - Klima und Architektur“ erläutert wurde, gibt es eine direkte Wechselbeziehung zwischen der Klimagruppe und der angemessenen Architekturtypologie, welche unter anderem durch die Beobachtung der traditionellen Bauweise eines Ortes festgestellt werden kann. Diese Beobachtung, wie im Kapitel 3 beschrieben wird, bildet auch die Grundlagen der klimagerechten Entwurfsmethoden. Nach der in Kapitel 3 analysierten Entwurfsmethoden ergeben sich für die Hauptklimagruppen folgende Entwurfsstrategien (s. Abb. 6.2):

### **A: warmfeucht**

Für die A-Gruppe werden schlanke Baukörper (Kompaktheit  $C > 6$ ) mit geringer Raumtiefe vorgesehen, welche entlang der Ost-West Achse (die längste Fassadenseite nach Norden bzw. Süd orientiert), oder möglichst quer zur der vorherrschenden Windrichtung angeordnet werden. Die Fassadenöffnungen sind groß (40-80% der Raumgrundfläche) und mit außen liegenden Sonnenschutzvorrichtungen ausgestattet. Die Konstruktion besteht aus leichten Materialien und einem gut durchlüfteten Dach.

### **B: trockenheiß**

Die Typologie der B-Gruppe weist eine kompakte Bauweise und tiefe ( $C < 6$ ), möglichst an einen Innenhof angeschlossene Räume auf. Kleinere, sonnengeschützte Fassadenöffnungen (Öffnungsanteil  $O < 30\%$ ) und sehr schwere Materialien mit hoher Speicherkapazität sind die weiteren Merkmale dieser Typologie.

## **C: gemäßigt**

Für die C-Gruppe wird eine kompakte Bauweise empfohlen ( $C < 6$ ), deren Orientierung der Hauptfassade die direkte Sonneneinstrahlung im Winter begünstigt und im Sommer mithilfe einer Sonnenschutzeinrichtung vermeidet ( $20\% < O < 40\%$ ). Eine Kombination aus schweren Materialien und einer leichten, dämmfähigen Gebäudehülle ergänzt ihre Ausführung.

## **D: kalt**

Kompakte Baukörper ( $C < 6$ ), kleinere Fassadenöffnungen ( $O < 30\%$ ) und maximale Dämmfähigkeit der Gebäudehülle sind die Charakteristiken der Typologie der D-Gruppe.

Diese vier groß aufgestellten Architekturtypologien bilden die Grundlagen der weiteren Bearbeitung der Entwurfsaufgabe.

Im Zusammenhang mit den Architekturtypologien stehen die unterschiedlichen passiven Klimatisierungsstrategien. Diese werden in zwei Gruppen geteilt:

Traditionelle Passive  
Hybride Passive

## **3. Traditionelle Strategien**

Die erste Gruppe, welche zur Anwendung kommt, beinhaltet die Strategien, die sich durch die Anwendung von niedrigstem technologischem Aufwand auszeichnen. Als die allgemeine Grundlage dieser Strategien dient der zweckmäßige Luftaustausch zwischen Innen- und Außenraum, kombiniert mit der gezielten Regelung der Sonneneinstrahlung. Es gibt vier Strategien, die zur Gruppe der traditionellen passiven Klimatisierungsstrategien gehören:

Dauerlüftung (+ Vermeidung der direkten Sonneneinstrahlung)  
Nachtlüftung (+ Vermeidung der direkten Sonneneinstrahlung)  
Tageslüftung (+ dosierte Sonneneinstrahlung)  
Stoßlüftung (+ direkte Sonneneinstrahlung)

### **3.1 Dauerlüftung**

Dauerlüftung ist eine Strategie zur Erweiterung der Komfortgrenze durch die Luftgeschwindigkeit, wenn die Innentemperatur und die Luftfeuchtigkeit zu hoch sind. Sie wird in Kombination mit der Vermeidung direkter Sonneneinstrahlung eingesetzt und nutzt die Vorteile der Luftbewegung aus. Die Effektivität der Dauerlüftung wird durch die Möglichkeit, den Raum quer zu lüften erheblich gesteigert. Die Voraussetzung für ihre Anwendung im Innenraum ist eine bestehende Luftströmung außen. Bei Windstille (während der Nacht ein übliches Ereignis im tropischen Bereich) ist eine Unterstützung durch

Ventilatoren oder sogar Lüftungsanlagen erforderlich. Der übliche Anwendungsbereich ist die A-Gruppe, sie kann aber auch in der warmen Jahreszeit bei den anderen Klimagruppen angewendet werden, wenn die Tagesschwankung der Außentemperatur niedrig ist, Givoni (2011) schlägt eine Grenze von 8K vor.

### **3.2 Nachtlüftung**

Bei höheren Tagesschwankungen der Außentemperatur (ab 8K) sowie höheren Tagestemperaturen ist die Anwendung der Nachtlüftung wirksam. Während der Nacht wird ein starker Luftaustausch betrieben, so dass sich die Innentemperatur der Außentemperatur annähert. Durch eine lediglich den hygienischen Bedarf deckende Tageslüftung wird die in der Nacht erreichte Abkühlung der Speichermasse erhalten. Dabei wird wieder, so wie bei der Dauerlüftung, die direkte Sonneneinstrahlung vermieden. Der übliche Anwendungsbereich dieser Strategie ist die heiße Saison der B-Gruppe und der C-Gruppe.

### **3.3 Tageslüftung**

Diese Strategie wird in der Regel in den gleichen Klimagruppen eingesetzt wie die Nachtlüftung, jedoch in der Saison, in der die Tagestemperatur behaglich und die Nachttemperatur zu niedrig ist. Der Luftaustausch wird tagsüber durchgeführt und während der Nacht reduziert.

### **3.4 Stoßlüftung**

Das Ziel dieser Strategie ist die Erhaltung der Luftqualität im Innenraum und die gleichzeitige die Minimierung des Wärmeverlustes. Dies erfolgt durch eine kurze und effektive Belüftung, in der das gesamte Luftvolumen des Raumes auf einmal ausgetauscht wird: entweder durch Stoß- oder Querlüftung. Gleichzeitig ermöglichen die Fensteröffnungen auf der Sonnenseite die Erwärmung des Innenraums durch die direkte Solareinstrahlung. Der Anwendungsbereich ist die D-Gruppe und die kalte Saison der C-Gruppe.

Es wird deutlich, dass die erste Gruppe der passiven Strategien nicht von mechanischen Ausrüstungen abhängig ist. Sie kann bei einer gelungenen Planung allein von dem Raumnutzer betrieben werden. Dadurch kommt es durch die Erhöhung der Komforttoleranz der Nutzer zu geringerem Energiebedarf (indirekter ökologischer Effekt). Darüber hinaus werden durch die Vermeidung von technischer Gebäudeausrüstung Betriebs- und Investitionskosten eingespart.

## 4. Komfortevaluierung

In dieser Phase werden weder aktive Klimatisierungsmaßnahmen eingesetzt, noch wird nach hybriden Strategien gegriffen. An dieser Stelle der Entwurfsmethode, nach der Verwendung einer der Klimagruppe angemessenen Architekturtypologie im Zusammenhang mit der traditionellen Klimatisierungsstrategie, wird anhand einer thermischen Simulation mithilfe von geeigneter Software festgestellt, welche klimatischen Bedingungen im Gebäude herrschen würden. Um herauszufinden, ob diese den in der Klimagruppe herrschenden Komfortansprüchen gerecht werden, wird anhand unten stehender Algorithmen eine Evaluierung durchgeführt. Im Kapitel 5 wurden diese Algorithmen für jede Klimagruppe ausführlich hergeleitet:

Klimagruppe A:

Für  $\theta_o < 22^\circ\text{C}$ :  $\theta_i = 22.7^\circ\text{C}$ ; für  $\theta_o > 30^\circ\text{C}$ :  $\theta_i = 30.3^\circ\text{C}$ ;  
sonst:  $\theta_i = -0.0239\theta_o^3 + 1.8668\theta_o^2 - 47.529\theta_o + 421.34$

Klimagruppe B:

Für  $\theta_o < 8^\circ\text{C}$ :  $\theta_i = 18.7^\circ\text{C}$ ; für  $\theta_o > 35^\circ\text{C}$ :  $\theta_i = 32.5^\circ\text{C}$ ;  
sonst:  $\theta_i = -0.0014\theta_o^3 + 0.0911\theta_o^2 - 1.2127\theta_o + 23.316$

Klimagruppe C:

Für  $\theta_o < 10^\circ\text{C}$ :  $\theta_i = 19.3^\circ\text{C}$ ; für  $\theta_o > 29^\circ\text{C}$ :  $\theta_i = 29.2^\circ\text{C}$ ; sonst:  
 $\theta_i = -0.0024\theta_o^3 + 0.1393\theta_o^2 - 1.9593\theta_o + 27.392$

Klimagruppe D:

$\theta_i = 23^\circ\text{C}$

Die Ermittlung des Komfortbereichs erfolgt durch den Algorithmus:

Komfortgrenze:  $\max = \theta_i + \theta_{icr}$ ;  $\min = \theta_i - \theta_{icr}$

(A,B,C) Für  $\theta_{ods} < 4\text{K}$ :  $\theta_{icr} = 1.4\text{K}$ ; für  $\theta_{ods} > 17\text{K}$ :  $\theta_{icr} = 2.4\text{K}$ ; sonst:

$\theta_{icr} = -0.0012x^3 + 0.0382x^2 - 0.2566x + 1.6098$

(D)  $\theta_{icr} = \pm 2\text{K}$

$\theta_{ods}$  = gleitende Tageschwankung der Außentemperatur;

$\theta_{icr}$  = Komfortabstand

Bei einem Ergebnis der Komfortevaluierung von „zu kalt“ oder „zu heiß“, werden die Parameter der Architekturtypologie wie auch die bis dahin geplanten traditionellen Klimatisierungsstrategien noch einmal überarbeitet und verbessert. Die dargestellten Entwurfsparameter sind als Rahmenbedingung konzipiert, welche auf unterschiedlichste Arten miteinander kombiniert werden können. Die Leistung der unterschiedlichen Varianten kann mithilfe der Evaluierungsmethode verglichen werden und so die am besten geeignete Strategie oder Kombination von Strategien ausgewählt werden.

## 5. Hybride Strategien

Falls – nach einer zweiten Überprüfung - die erste Gruppe der Klimatisierungsstrategien den Komfortzustand nicht allein gewährleisten kann, können erweiterte Alternativen eingesetzt werden. Diese sogenannten hybriden Strategien setzen, im Vergleich mit den traditionellen Strategien, einen größeren technischen Aufwand voraus. Sie sind zum Teil noch sehr experimentell eingesetzt worden und zeigen oft große Einschränkungen, in welchen Kontexten sie angewendet werden können (Givoni, 2011). Dennoch erweisen sie sich als vorteilhaft im Vergleich zur Vollklimatisierung. Einige Beispiele werden in Folge aufgelistet:

- Direkte evaporative Kühlung
- Indirekte evaporative Kühlung
- Erdwärme

### 5.1 Evaporative Kühlung

Diese Strategie lehnt sich an die traditionelle Nutzung eines Springbrunnens in einem Innenhof an, welcher in Trockengebieten seit Jahrhunderten gebaut wird. Dabei wird die umgebende Luft durch Wasserverdunstung abgekühlt und das Raumklima verbessert. Beispiele für eine modernere Anwendung dieser Strategie sind die Turmkühlungssysteme von Cunningham & Tucson (1986) in Arizona und die „Kühlungsdusche“, die Givoni (1994) für die Expo Sevilla 1992 entwickelte.

Stärken:

Bei allen Untersuchungen konnte eine starke Beziehung zwischen der Feuchten- (WBT) und Trockentemperatur (DBT) festgestellt werden. Die Außentemperatur konnte durch die Anwendung bis annähernd auf die Feuchttemperatur verringert werden. Diese Strategie führt zu guten Ergebnissen, wenn der Feuchtigkeitsgehalt der Außenluft sehr niedrig ist.

Schwächen und Einschränkungen:

Ein Nebeneffekt ist die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit, was die Behaglichkeit des Raumklimas beeinträchtigen kann. Um diesen Effekt abzumildern, wird eine erhöhte Luftwechselrate (um die Feuchtigkeit zu reduzieren) unentbehrlich. Das wiederum schränkt die Speicherkapazität des Gebäudes ein. Dieser Nebeneffekt wird vor allem in Gegenden mit vorherrschendem feuchtem Klima, mithilfe der sogenannten indirekten evaporativen Kühlung umgangen. Es gibt Anwendungsbeispiele von Kako (2009) in Nevada, US, und von Gonzales & Givoni (2005) in Maracaibo, Venezuela, dennoch ist deren Nutzung eingeschränkt auf eingeschossige Gebäude, und der Aufwand im Vergleich mit der Leistung sehr groß. Von der Gebäudeausrüstungsindustrie werden effektive Nasskühlungstürme produziert, die diese Kühlungsstrategie ausnutzen und auch mehrgeschossigen Gebäuden zugänglich machen.

### **5.3 Erdwärmetauscher**

Diese Strategie kann sowohl in gemäßigten als auch in trockenheißen Gebieten wirksam sein und wurde von Givoni (2011) in verschiedene Ausführungen dargestellt. Generell wird diese Strategie durch einen in den Boden eingegrabenen Wärmetauscher im Zusammenhang mit einer Lüftungsanlage ausgeführt. Die Außenluft wird durch den Kontakt mit den unteren Schichten des Bodens auf eine mildere Temperatur gebracht, bevor sie in die Innenräume befördert wird. Dies geschieht, weil die tieferen Schichten des Bodens träger als die Außenluft sind und nah an den Jahresmitteltemperaturen bleiben.

Stärken:

Der Erdwärmetauscher wird mit geringem Energieaufwand betrieben.

Schwächen und Einschränkungen:

Der Einsatz ist nur effektiv in Standorte, in denen große Jahrestemperaturschwankungen herrschen. Eine Lüftungsanlage ist notwendig.

## **6. Evaluierung**

Hier folgt eine Evaluierung der sogenannten hybriden Strategien mit den gleichen Methoden (vgl. 4).

## **7. Aktive Klimatisierung**

Erst nach der Ausschöpfung aller aufgelisteten passiven Strategien sollte man auf die aktive Klimatisierung (z.B. Heizungs- oder Klimaanlage) zurückgreifen. Auch dann besteht immer noch die Möglichkeit, ein selbstversorgendes System zu planen und den Energiebedarf mit eigenen regenerativen Quellen zu decken. Diese Energiequellen sind weit verbreitet (z. B. Windräder, Solarzellen etc.). In der Regel ist das einzige Hindernis für die Realisierung eines energieautarken Projektes der Mangel an ausreichend Startkapital und Platz.

## 6.2 Anwendung: Fallbeispiel

Um eine erste Idee von der Anwendbarkeit der Methode zu erhalten, werden insgesamt sechs Beispielräume (A1, A2, B1, B2, C1, C2) mit den gleichen Maßen (5,5x4x3m) und nach Süden orientierter Haupt-Fassade entwickelt. Die angegebenen Öffnungsanteile wurden mit der Absicht dimensioniert, den Lüftungsbedarf des Raumes zu decken. Sie beziehen sich, anders als bei Mahoney und Eproklid, auf die Grundfläche des Raumes. Eine thermische Simulation, welche für die Evaluierung benötigt wird, wurde mit Primero unternommen. Primero ist ein Nutzerinterface, welches auf EnergyPlus basiert und in der Anwendung sehr einfach ist (nähere Angaben über die Simulation s. Anhang):

### Fall A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>

Die zwei Varianten dieser Typologie (A1 und A2) entsprechen den baulichen Voraussetzungen für Klimagruppe A. A besteht aus leichten Materialien (15cm dick) und hat zwei große Fassadenöffnungen in der vorderen und der hinteren Fassade. Wobei bei der ersten Variante A1 der Öffnungsanteil kleiner ist (O=50%) als bei A2 (O=68%). Die Hauptfassade ist mit einem tiefen (A1= 2m, A2= 3m) über die gesamte Länge erstreckten Sonnenschutz versehen. Der Operationsmodus ist eine konstante Querlüftung (Dauerlüftung).

### Fall B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>

Die zwei Varianten dieser Typologie (B1 und B2) entsprechen den baulichen Voraussetzungen für Klimagruppe B. Raum B besteht aus schweren Materialien mit großer Speichermasse (30 cm dicke Außenfassade aus Lehm, B1 ohne Wärmedämmung und bei B2 eine 10cm Dämmungsschicht), die Fassade erhält kleine Öffnungen (O= 11%) mit festem Sonnenschutz (B1= 1,5m, B2= 2m tief). Während der heißen Saison wird der Raum nachts gelüftet und während der kühlen Saison liegt der Schwerpunkt auf Tageslüftung.

### Fall C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>

Die zwei Varianten dieser Typologie (C1 und C2) entsprechen den baulichen Voraussetzungen für Klimagruppe C. Raum C hat eine gedämmte Außenhülle (C1: 10cm, C2: 15cm). Die Hauptfassade erhält kleine (O=11% bei C1) Fensteröffnungen ohne Sonnenschutz bzw. mittelgroße Fensteröffnungen (O=17% bei C2), die über eine mobile außenliegende Sonnenschutzvorrichtung verfügen (Jalousien). Die Lüftung erfolgt überwiegend mit Stoßlüftung, außer in der heißen Saison, in der auf Nachtlüftung gesetzt wird.

Drei Standorte wurden ausgesucht, um die Hauptklimagruppen zu vertreten:

- A – Singapur
- B – Riyad
- C – Lissabon

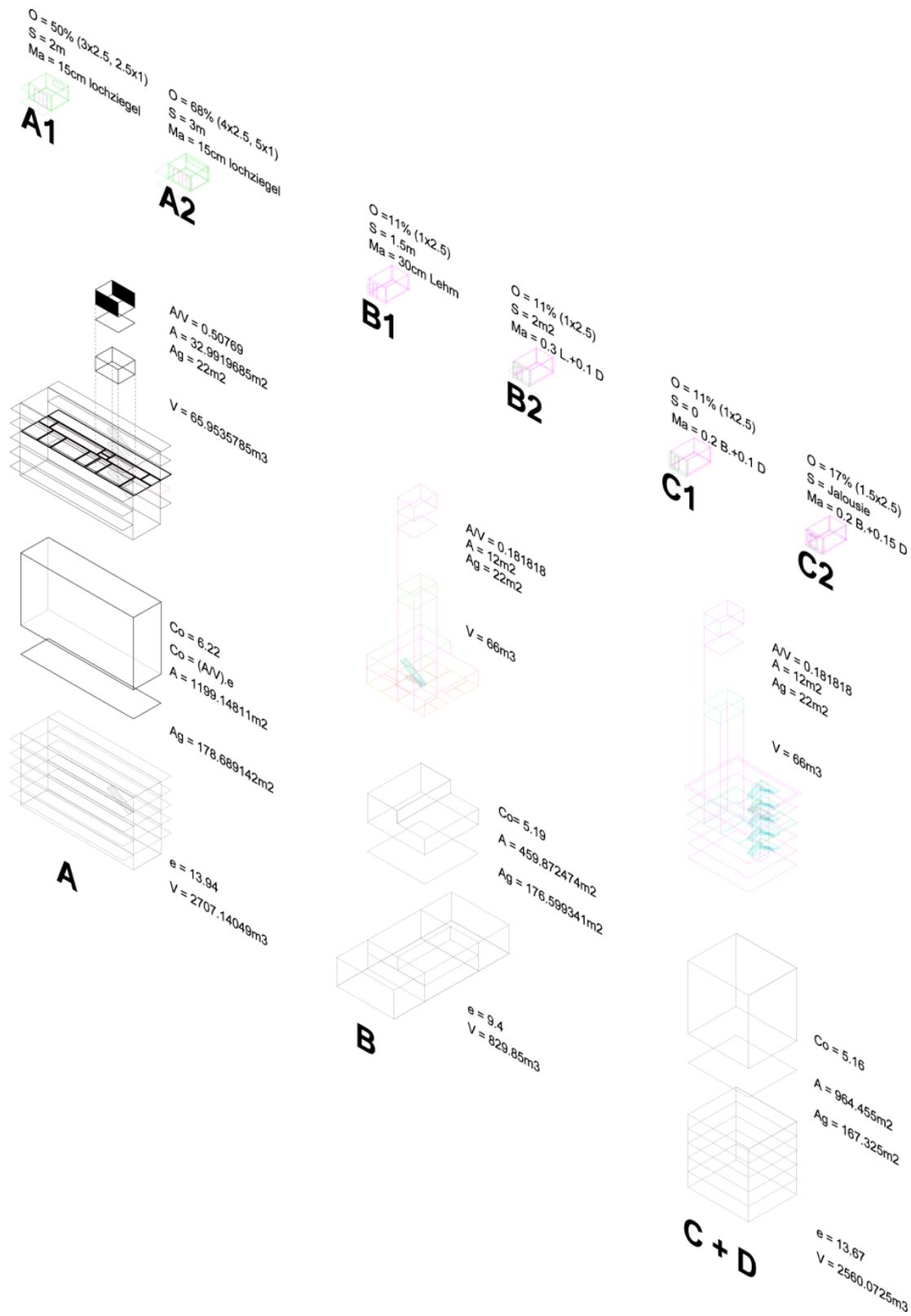


Abb. 6.3 Schemadarstellung der Entwicklung von Beispierräumen für drei ausgewählte Standorte: Singapur (A), Riad (B), Lissabon (C)

Die sechs Beispielräume wurden mit den drei ihrer Bauweise entsprechenden Standorten kombiniert. Diese Räume werden in Abbildung 6.3 schematisch dargestellt.

Die Ergebnisse der thermischen Simulation werden in Abbildung 6.4 bis 6.6 veranschaulicht. Der Vorgang wurde bereits ausführlich in Kapitel 5 erläutert. Die Diagramme zeigen oben die Überschreitung und unten die Unterschreitung des maximalen bzw. minimalen Tagestemperaturwertes und des Komfortbereichs in absteigender Reihenfolge (vgl. 5.4.3).

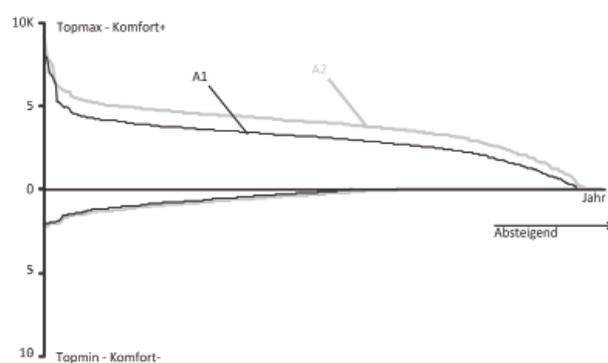


Abb. 6.4 - Fallbeispiel thermische Simulation A- Singapur: A1 in schwarz, A2 Grau

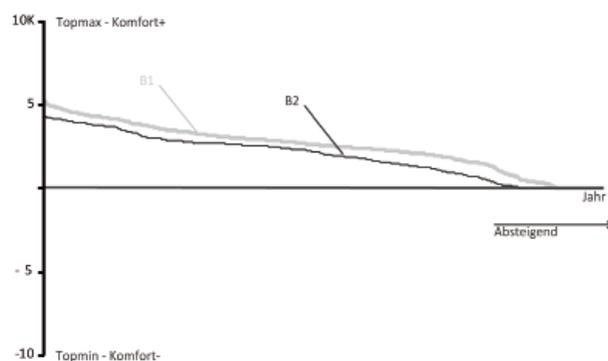


Abb. 6.5 - Fallbeispiel thermische Simulation B- Riad: B1 in schwarz, B2 Grau

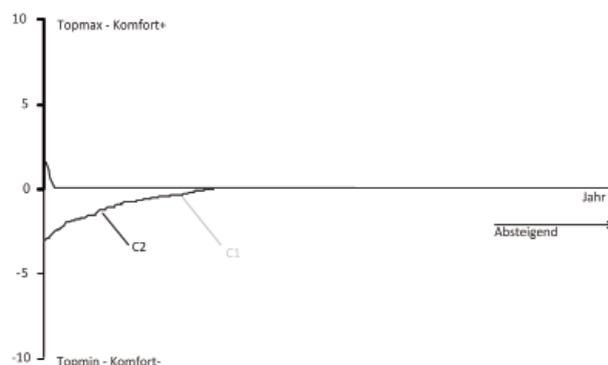


Abb. 6.6 - Fallbeispiel thermische Simulation C-Lissabon: C1 in schwarz, C2 Grau

Wie de Dear (2010) vorschlägt, kann die Komforttemperatur durch den Einsatz von Luftbewegung vergrößert werden, was hauptsächlich in den warmen, feuchten Klimaten von Vorteil ist. Bei einer Luftgeschwindigkeit von 1,2 m/s erhöht sich die maximale Komforttemperatur um 2,8 K im Vergleich zur Windstille. Diese Luftgeschwindigkeit kann durch die Fensteröffnungen erfolgen und bei Bedarf durch die Unterstützung eines Ventilators gewährleistet werden. Die Abbildung 6.7 zeigt in direktem Vergleich für den Raum A1, welche Auswirkungen der Effekt der Luftbewegung auf den Komfortbereich hätte.

Die Abbildung 6.8 zeigt das Ergebnis von Raum B2 unter simulierter Anwendung eines evaporativen Kühlungssystems. Dieses basiert darauf, die Raumtemperatur durch Erhöhen der Luftfeuchtigkeit zu verringern. Das maximal mögliche Maß der Kühlung ist die Differenz zwischen Trocken- und Feuchtetemperatur, welches in der Realität aber normalerweise nicht erreicht wird. Es wird daher von einem Wirkungsgrad von 50 % ausgegangen.

Anhand der thermischen Simulation wird deutlich, in welchem Umfang in den unterschiedlichen Klimazonen weitere Maßnahmen zum Erreichen des Komforts ergriffen werden müssen. Außerdem kann man ablesen, welche Varianten für die entsprechenden Klimagruppen angemessen sind und die besten Ergebnisse erzielen.

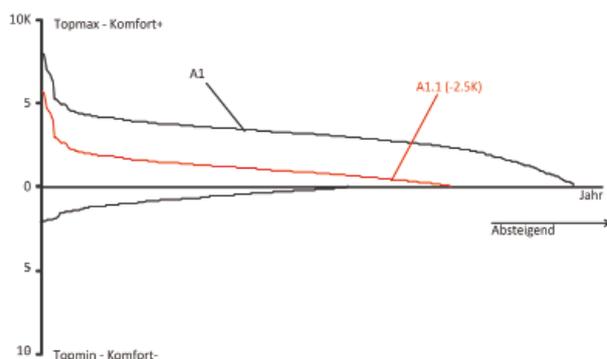


Abb. 6.7 Variante A1, A1.1: ohne (A1 dunkelgrau) und mit (rot) abgesenkter Komfortdifferenz durch die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit

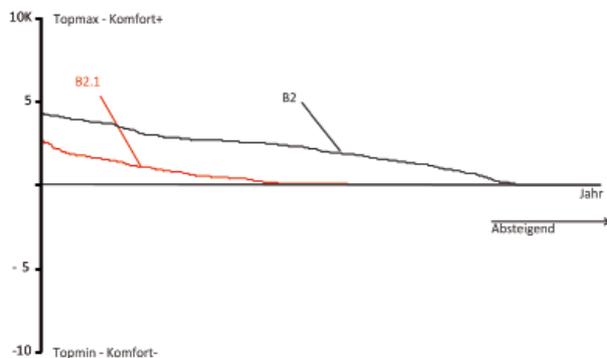


Abb. 6.8 Variante B2, B2.1: ohne (dunkelgrau) und mit (rot) Temperatursenkung durch die Erhöhung der Luftfeuchte (evaporative Kühlung)

## 7. Konklusion

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass die adaptiven Komfortmodelle als Evaluierungstool für die klimagerechten Entwurfsmethoden sehr geeignet sind. Eine neue Entwurfsmethode, die eine mehrstufige Struktur aufweist, wird vorgeschlagen:

Beobachtung der allgemeinen Klimacharakteristiken und der darauf bezogenen Merkmale der lokalen traditionellen Architektur.

Analyse der Klimadaten und mithilfe von klimagerechten Methoden die erste typologische Untersuchungen mit passiven Klimatisierungsstrategien

Evaluierung mit thermischer Simulation basierend auf dem adaptiven Algorithmus mithilfe der Darstellungsmethoden.

Optimierung durch die Auswertung der unterschiedlichen Varianten

Diese Methodik ist sehr raffiniert, weil sie das Potenzial des aktuellen Standes der verfügbaren Klimadaten ausnutzt und dabei präzise Ergebnisse erzeugt. Diese Ergebnisse wiederum können durch eine verfeinerte Visualisierung intuitiv ausgewertet werden.

Dies ist eine prozessorientierte Forschungsarbeit. Die neu hergestellte Entwurfsmethodik besteht aus einer Verknüpfung der bestehenden klimagerechten Entwurfsmethoden, dem aktuellen Stand der Klimadaten und den neuen Erkenntnissen im Bereich adaptiven thermischen Komforts.

Bei der Struktur der vorgeschlagenen Methodik fungieren die Klimadaten als Eingangsparameter, die den Prozess auslösen. Aus den bestehenden klimagerechten Entwurfsmethoden werden Designparameter hergeleitet und aus den bestehenden adaptiven Komfortmodellen wird eine Evaluierungsmethode entwickelt. Es wurde versucht, das Ungleichgewicht zwischen der Aktualität der Entwicklungen im Bereich der Komfortmodelle, dem hohen Anstieg der Klimadatenmenge und der Stagnation der bestehenden klimagerechten Entwurfsmethoden zu beheben.

Die resultierende klimaadaptive Entwurfsmethodik wurde mehrstufig aufgebaut (s. 6.1). Sie beginnt mit der Aufteilung in Klimagruppen und einem damit zusammenhängenden Aufbau eines ersten Designansatzes: einer Kombination von typologischen Parametern und traditionellen passiven Klimatisierungsstrategien. Für jeden Parameter werden Grenzwerte festgelegt mit einem bestimmten Spielraum, welcher die Konzeption mehrerer Varianten ermöglicht. Darauf folgt ein erster Evaluierungsvorgang. Falls die Kriterien nicht erfüllt werden, kann der Designansatz entweder aufgearbeitet werden, woraufhin ein weiteres Mal eine Evaluierung erfolgt, oder in die weiteren Stufen ergänzt werden (Hybride und Aktive Klimatisierung).

Der mehrstufige Aufbau des Prozesses erweist sich deshalb als sinnvoll, weil die anzuwendenden Klimatisierungsstrategien in hierarchischer Reihenfolge eingesetzt werden, von den technisch am wenigsten aufwändig zu betreibenden Strategien zu den am hochtechnischen Strategien. Damit wird erreicht, dass der Entwurf sich auf die möglichst einfachen technischen Mittel beschränkt.

Insbesondere ist die Qualität der zwei Vorschläge des fünften Kapitels hervorzuheben. Der erste ist die differenzierte Berechnung der mittleren Komforttemperatur je nach Klimagruppe, was

für eine feine Integration schon in den ersten Phasen des Prozesses sorgt. Der zweite Vorschlag einer Berechnung des Komfortabstandes in direkter Abhängigkeit von der Tagesschwankung ist sehr zukunftsweisend, hat einen starken Bezug zu den grundlegenden Prämissen der thermischen Adaptivität und könnte sogar als Gegenstand zur Untersuchung für die Erweiterung der zwei wichtigsten Komfortstandards (ASHRAE 55 und CEN 15251) dienen.

Diese Arbeit bietet noch viel Raum zur Weiterentwicklung.

Eine vorstellbare wertvolle Ergänzung dieser Arbeit wäre die Entwicklung und Auswertung von einer großen Anzahl an Anwendungsbeispielen mit der Nutzung der hier dargestellten Methode. Besonders interessant wäre diese Untersuchung im Hinblick auf die Entwicklung eines parametrischen Werkzeuges, welches die Erkenntnisse dieser Arbeit beinhaltet.

Für den Aufbau eines solchen Tools wären noch einige Entwicklungen erforderlich. Zum einem müsste der Algorithmus direkt auf die Luftfeuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit reagieren, zum anderen müssten Mindestanforderungen nach natürlicher Belichtung festgelegt werden.



## Bibliographie

- ASHRAE 1985 *Physiological Principles for Comfort and Health*  
ASHRAE, fundamentals Handbook
- Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007 *Thermal Comfort*  
PLEA, Notes
- Beck, C. et al 2006 *Characterizing global climate change by means of Köppen classification*  
University of Veterinary Medicine, Vienna
- Bedford, T. 1936 *Warmth factor in comfort at work*  
Med. res. CI ind. Health res. Board, Rp 76. HMSO
- Brager, G.S. et al 2004 *Thermal environmental conditions for human occupancy*  
ASHRAE, standard 55
- Cunnighan, W.A. & Thompson, I.L. 1986 *Passive cooling with natural draft cooling towers in combination with solar chimneys*  
PLEA, Hungary
- de Dear, R. J. 1998 *A global database of thermal comfort field experiments*  
ASHRAE, Transactions
- de Dear, R. J. 2011 *Recent Enhancements to the Adaptive Comfort Standard in ASHRAE 55-2010*  
ANZAScA
- de Dear, R. J., Brager, G. S. & Cooper, D. 1998 *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*  
ASHRAE, RP-884 Final Report
- de Siqueira, G. 2009 *EPROKLID: Entwurfsprozess mit Klimadaten*  
HCU Hamburg, Masterthesis
- de Siqueira, G. L. & Dietrich, U. 2013 *Dividing indoor comfort limits by climate zones and describing it as a curve for the benefit of passive and low tech architecture design.*  
SB13 conference UMINHO, Portugal
- deutscher Wetterdienst - <http://www.dwd.de/lexikon>
- Essenwanger, O. M. 2001 *Classification of climates*  
World Surv. of Climatology 1C, General Climatology, Elsevier, Amsterdam
- Fanger, P.O. 1982 *Thermal Comfort*  
Robert E. Krieger, Malabar, FL.
- Fathy, H. 1987 *Architektur aus 1001 Stein*  
Arch+ 88
- Frampton, K. 1980 *Modern architecture: a critical history*  
Oxford University Press
- Fry, B. J. 2004 *computational information design*  
Massachusetts Institute of Technology, Phd Thesis
- Gagge, A. P. 1936 *the linearity criterion applied to partitional calorimetry*  
Am. J. of Physiology. 116: 656-668
- Givoni, B. 1998 *Climate Considerations in Building and Urban Design*  
Van Nostrand Reinhold Co., New York
- Givoni, B. 2011 *Indoor temperature reduction by passive cooling systems*  
Solar Energy, 85
- Givoni, B. 1994a *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*  
Van Nostrand Reinhold Co., New York
- Givoni, B. 1994b *Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures*  
PLEA, Israel
- Gonzalez, E. & Givoni, B. 2005 *Comparing performance of three passive cooling systems in Maracaibo*  
ISES, USA
- Houghten, F.C. & Yaglou, C. P. 1923 *Determination of comfort zone*  
Trans. ASHVE 29:361
- Humphreys, M. A. 1975 *Field studies of thermal comfort compared and applied*  
Dep. of the Environment, Building Research Establishment, CP 76/75
- Humphreys, M. A. 1978 *Outdoor temperatures and comfort indoors*  
Building Research and Practice, 6
- Humphreys, M. A. 1981 *The dependence of comfortable temperature upon indoor and outdoor climate*  
Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort, Elsevier
- Humphreys, M. A. & Nicol, J. F. 1998 *Understanding the adaptive approach to thermal comfort*  
ASHRAE, Transactions
- Humphreys, M. A., Rijal, H. B. & Nicol, J. F. 2010 *Examining and developing the adaptive relation between climate and thermal comfort indoors*  
Windsor, UK
- Bernstein, L. et al 2007 *Climate Change 2007: Synthesis Report*  
Valencia, Spain, www.ipcc.ch
- Kako, I. K. 2009 *Empirically derived formulas to predict indoor max., average, and min. temperatures in roofpond buildings using minimum climatic information*  
University of Nevada Las Vegas, Master Thesis
- Koenigsberger, O.H., Mahoney, C. & Evans, M. 1971 *Climate and House Design*

Koenigsberger, O.H., Mahoney, C. & Evans, M.	1971	<i>Climate and House Design</i> United Nations, 93
Latour, B.	2010	<i>Modernisierung oder Ökologisierung? Das ist hier die Frage</i> arch+ 196/197
Lauber, W. et al	2005	<i>Tropical architecture - sustainable and humane building in Africa, Latin America, and South-East Asia</i> Prestel Verlag, München
Mayers großes Taschenlexikon	1998	<i>Erde</i> ISBN 3-411-11006-6
Nicol, J. F. & Humphreys, M. A.	2010	<i>Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251</i> Building and Environment, 45
Nicol, J. F. & McCartney, K.	2000	<i>Smart controls and thermal comfort project, public final report</i> the european commission
Nicol, J. F. & McCartney, K.	2000	<i>Smart controls and thermal comfort project, public final report for task 2</i> the european commission
Nicol, J. F. & McCartney, K.	2000	<i>Smart controls and thermal comfort project, public final report for task 3</i> the european commission
Olgay, V.	1963	<i>Design with climate</i> Princeton University Press
Oliver, P.	1987	<i>Dwellings, the House across the World</i> Phaidon Press Limited, Oxford
Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A.	2007	<i>Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification</i> Hydrology and Earth System Sciences
Rudofsky, B.	1989	<i>Architektur ohne Architekten, eine Einführung in die Anonyme Architektur</i> Residenz Verlag, Salzburg
Sanderson, M.	1999	<i>The classification of climates from Pythagoras to Koeppen</i> Bull. Am. Meteorol. Soc., 80
Siemens Buildingtechnologies	-	<a href="http://w1.siemens.ch/web/bt_ch/SiteCollectionDocuments/bt_internet_ch/support/Grundl_HX.pdf">http://w1.siemens.ch/web/bt_ch/SiteCollectionDocuments/bt_internet_ch/support/Grundl_HX.pdf</a>
Tufte, E. R.	1992	<i>The Visual Display of Quantitative Information</i> Cheshire, Graphics Press

## Software und Daten

Climate Data Energyplus	<a href="http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm">http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm</a>
Meteonorm	<a href="http://meteonorm.com/de/">http://meteonorm.com/de/</a>
Processing	<a href="https://www.processing.org/">https://www.processing.org/</a>
Primero	Dokumentation <i>Primero Komfort, Thermische Behaglichkeit - Komfort in Gebäude</i> <a href="http://www.primerosoftware.de/primero-module-s-1/primero-komfort/">http://www.primerosoftware.de/primero-module-s-1/primero-komfort/</a>

## Bildnachweis

2 . 1	<i>Klimaklassifikation Köppen-Geiger: Kriterien</i>	Beck, C. et al 2006; überarbeitet
2 . 2	<i>Klimaklassifikation Köppen-Geiger: Weltkarte</i>	Beck, C. et al 2006
2 . 3	<i>Vergleich zwischen zwei unterschiedlichen städtebaulichen Typologien</i>	Rudofsky, B. 1989
2 . 4	<i>Ähnliches Klima, ähnliche Typologien</i>	Oliver, P. 1987
2 . 5	<i>Typologien aus einer Siedlung im feuchten warmen Klima Kameruns</i>	Lauber, W. 2005
2 . 6	<i>Unterschiedliche Typologien des trocken heißen Klimas</i>	Oliver, P. 1987
2 . 7	<i>Unterschiedliche Typologien der Kühlungstürme</i>	Oliver, P. 1987
2 . 8	<i>die Trulli</i>	Oliver, P. 1987
2 . 9	<i>ein irisches Bauernhaus</i>	Oliver, P. 1987
2 . 10	<i>Fachwerkhäuser</i>	Oliver, P. 1987
2 . 11	<i>ein Beispiel aus dem kalten Gebiet</i>	Oliver, P. 1987
3 . 1	<i>Trockentemperatur DBT</i>	Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007
3 . 2	<i>Absolute Luftfeuchtigkeit AH</i>	Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007
3 . 3	<i>Sättigungskurve</i>	Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007
3 . 4	<i>relative Luftfeuchtigkeit LH</i>	Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007
3 . 5	<i>Feuchttemperatur WBT</i>	Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007
3 . 6	<i>Enthalpie</i>	Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007
3 . 7	<i>spezifisches Volumen</i>	Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007
3 . 8	<i>Gesamtdarstellung des psychrometrischen Diagramms</i>	Auliciems, A. & Szokolay, S. V. 2007
3 . 9	<i>Bsp. psychrometrische Darstellung von sensibler Heizung und Kühlung</i>	Siemens Buildingtechnologies
3 . 10	<i>Bsp. psychrometrische Darstellung von Be- und Entfeuchtung</i>	Siemens Buildingtechnologies
3 . 11	<i>Bsp. psychrometrische Darstellung der Kühlung durch Verdunstung</i>	Siemens Buildingtechnologies
3 . 12	<i>Olgays bioklimatisches Diagramm</i>	Königsberegger et al
3 . 13	<i>Olgays Diagramm des Klimabedarfs</i>	Givoni 1998
3 . 14	<i>Tabellen v. Mahoney, Gruppe 1, Angaben und Indizes, Bombay, Indien</i>	Königsberegger et al
3 . 15	<i>Mahoney, Gruppe 2, Komfortanalyse</i>	Königsberegger et al
3 . 16	<i>Mahoney, Gruppe 2, Auswertung der Klimadaten</i>	Königsberegger et al
3 . 17	<i>Tabellen von Mahoney, Gruppe 3, Strategien</i>	Königsberegger et al
3 . 18	<i>Tabellen von Mahoney, Anwendungsbeispiel Singapur</i>	Königsberegger et al, überarbeitet
3 . 19	<i>Tabellen von Mahoney, Anwendungsbeispiel Riad</i>	Königsberegger et al, überarbeitet
3 . 20	<i>Tabellen von Mahoney, Anwendungsbeispiel Lissabon</i>	Königsberegger et al, überarbeitet
3 . 21	<i>Tabellen von Mahoney, Anwendungsbeispiel Helsinki</i>	Königsberegger et al, überarbeitet
3 . 22	<i>ASHRAE-Komfortbereich bei Windstille</i>	Givoni 1998
3 . 23	<i>BBCC Komfortbereich</i>	Givoni 1998
3 . 24	<i>Erweiterung der Komfortgrenze durch Luftbewegung: Tageslüftung</i>	Givoni 1998
3 . 25	<i>Kühlung durch Nachtlüftung</i>	Givoni 1998
3 . 26	<i>Kühlung durch Verdunstung</i>	Givoni 1998
3 . 27	<i>Kühlung durch indirekte Verdunstung</i>	Givoni 1998
3 . 28	<i>BBCC der Industrieländer</i>	Givoni 1998
3 . 29	<i>BBCC der Entwicklungsländer</i>	Givoni 1998
3 . 30	<i>BBCC, Anwendungsbeispiel Singapur</i>	Givoni 1998, überarbeitet
3 . 31	<i>BBCC, Anwendungsbeispiel Riad</i>	Givoni 1998, überarbeitet

3	31	<i>BBCC, Anwendungsbeispiel Riad</i>	Givoni 1998, überarbeitet
3	32	<i>BBCC, Anwendungsbeispiel Lissabon</i>	Givoni 1998, überarbeitet
3	33	<i>BBCC, Anwendungsbeispiel Helsinki</i>	Givoni 1998, überarbeitet
3	. 34	<i>ABNT: der Komfortbereich</i>	de Siqueira, Masterthesis
3	. 35	<i>Eproklid: der Komfortbereich</i>	de Siqueira, Masterthesis
3	. 36	<i>Eproklid: Eingabe der Klimadaten</i>	de Siqueira, Masterthesis
3	. 37	<i>Eproklid: Einteilung in neun Felder, Beschreibung</i>	de Siqueira, Masterthesis

# Anhang 1:

Computer-Script für die Visualisierung der Daten in Kapitel 5 (in Processing 1.5.1 ausgeführt, [www.processing.org](http://www.processing.org))

```
//keys a, b, c, d turns on and off climate zones
//keys h, n turns on and off operation mode: nv or hvac
//keys 0, +, - turns on and off votes: neutral=0, hot=+, cold=-
//key left regulates colors
//key right regulates alpha
//key up regulates size
//key s sets Standard's neutral lines on/off
//key Delete clears
//key p prints

int es=5; //ellipse size
float sw; //stroke weight
int c=40; //color coeficient from 0-41
int cb=0; //color black
int alpha=100;
boolean stand=false;
int psx=225; //defines screen position: horizontal
int sy=-500/40; //scale factor vertical; negative value for represent as standard y axis
int sx=500/35; //scale factor horizontal
float coef; //coeficient for comfort standard's representation
String [] survey;

import processing.pdf.*;
boolean savePDF = false;

void setup() {
  size(800, 600);
  background(255);
  smooth();

  survey = loadStrings("all.txt");
}

void draw() {
  if (savePDF) beginRecord(PDF, timestamp()+".pdf");
  zoom();
  reference();
  display(survey);
  standard();

  if (savePDF) {
    savePDF = false;
    endRecord();
  }
}

String timestamp() {
  Calendar now = Calendar.getInstance();
  return String.format("%1$tY%1$tM%1$tD_%1$tH%1$tM%1$tS", now);
}
// parameters listed in the input data "all.txt"
// String index = rows [0];
// String building = rows [1];
// String location = rows [2];
// String zone = rows [3];
// String subzone = rows [4];
// String season = rows [5];
// String modus = rows [6];
// int vote = int(rows [7]);
// float tin = sy*(float(rows[8])/100);
// float tout = sx*(float(rows[9])/100);

void category(String[]survey, String zone, String modus, String vote, int c, int cb, int alpha, int es) {

  for (int i=0; i<survey.length; i++) {
    String [] rows= split (survey [i], ",");

    String z = rows [3];
    String m = rows [6];
    String v = rows [7];
    int vc = int (rows [7]);
    float tin = sy*(float(rows[8])/100);
    float tout = sx*(float(rows[9])/100);

    if (z.equals(zone) && m.equals(modus)&& v.equals(vote)) {
      noStroke ();
      fill(cb*(125+(vc*c)), cb*125, cb*(125-(vc*c)), alpha);
    }
  }
}
```

```

        ellipse(tout, tin, es, es);
    }
}
String[] ZONES = new String[] {
    "A", "B", "C", "D"
};
String[] MODES = new String[] {
    "nv", "hvac"
};
String[] VOTES = new String[] {
    "-3", "-2", "-1", "0", "1", "2", "3"
};

ArrayList<String> visibleZones = new ArrayList<String> (Arrays.asList(ZONES));
ArrayList<String> visibleModes = new ArrayList<String> (Arrays.asList(MODES));
ArrayList<String> visibleVotes = new ArrayList<String> (Arrays.asList(VOTES));

void display (String[] survey) {

    if (key == DELETE) {
        visibleZones.remove("A");
        visibleZones.remove("B");
        visibleZones.remove("C");
        visibleZones.remove("D");
        background(255);
    }
    else {
        drawPlot();
    }
}

void keyPressed() {

    if (key == 'p' || key == 'P') savePDF = true;

    if (key == 'a' || key=='b' || key=='c' || key=='d') {
        String Z= new String(new char[] {
            key
        }
        ).toUpperCase();

        if (visibleZones.contains(Z)) {
            visibleZones.remove(Z);
        }
        else {
            visibleZones.add(Z);
        }
    }
    if (key=='n' || key=='h') {
        String M= new String(new char[] {
            key
        }
        );

        if (M.equals("n")) {
            M="nv";
        }
        else if (M.equals("h")) {
            M="hvac";
        }
    }

    if (visibleModes.contains(M)) {
        visibleModes.remove(M);
    }
    else {
        visibleModes.add(M);
    }
}
if (key=='0') {
    if (visibleVotes.contains("0")) {

        visibleVotes.remove("0");

    }
    else {
        visibleVotes.add("0");
    }
}

if (key=='1') {
    if (
        visibleVotes.contains("-1")||
        visibleVotes.contains("1")
    ) {
        visibleVotes.remove("-1");
        visibleVotes.remove("1");
    }
    else {
        visibleVotes.add("-1");
        visibleVotes.add("1");
    }
}
if (key=='+' ) {
    if (
        visibleVotes.contains("2")||
        visibleVotes.contains("3")
    ) {
        visibleVotes.remove("2");
        visibleVotes.remove("3");
    }
    else {
        visibleVotes.add("2");
        visibleVotes.add("3");
    }
}
if (key=='-' ) {
    if (
        visibleVotes.contains("-2")||
        visibleVotes.contains("-3")
    ) {
        visibleVotes.remove("-2");
        visibleVotes.remove("-3");
    }
    else {
        visibleVotes.add("-2");
        visibleVotes.add("-3");
    }
}

if (keyCode==LEFT) {
    if (c>20) {
        c=c-20;
        cb=1;
    }
    else if (c==20) {
        c=c-20;
        cb=1;
    }
    else if (c<20) {
        c=60;
        cb=0;
    }
}

if (keyCode==RIGHT) {
    if (alpha<=80) {
        alpha=alpha+20;
    }
    else {
        alpha=10;
    }
}

if (keyCode==UP) {
    if (es<14) {
        es=es+2;
    }
    else {
        es=3;
    }
}

if (key=='s') {
    if (stand==false) {
        stand=true;
    }
    else if (stand==true) {
        stand=false;
    }
}

```

```

println (visibleZones + "zones" + visibleModes + "mode" + visibleVotes );
println ("standards" + ":" + stand + "_" + "color" + ":" + c + "alpha" + ":" + alpha + "_" + "size" + ":" + es);
}

void drawPlot() {
background (255);
reference();
for (String zone : visibleZones) {
for (String modus : visibleModes) {
for (String vote : visibleVotes) {
category (survey, zone, modus, vote, c, cb, alpha, es);
}
}
}
}
//create scale reference from 0-30°c

void reference () {
strokeWeight(1);
stroke(0);
int i;
for (i=0; i<40; i=i+10) {
line (sx*i, 0, sx*i, sy*1);
line (width-(psx+sx*1), sy*i, width-psx, sy*i);
}
}

//calculates and displays comfort standards
void standard() {
int reg;
if (stand) {
reg=150;
}
else {
reg=0;
}
strokeWeight(2);
stroke(0,reg);
coef=-0.33;
line (sx*10, sy*(coef*10+18.9), sx*35, sy*((coef*35)+18.9));
coef=-0.25;
line (sx*10, sy*(coef*10+18.9), sx*35, sy*((coef*35)+18.9));
}

//defines screen position
void zoom () {
translate (psx, height);
}

```

## Anhang 2:

Computer-Script für die Visualisierung von Heatmaps in Kapitel 5 (in Processing 1.5.1 ausgeführt, [www.processing.org](http://www.processing.org))

```
import processing.pdf.*;
boolean savePDF = false;

// 2D Array of objects
Cell[][] grid;

// 1D Array raw data
String [] survey;

int cols = 40; //number of columns
int rows = 40; //number of rows
float w; //width of cells
float h; //height of cells

float toutMin=0; //filter: lowest temperature indoor
float toutMax=40; //filter: highest temperature indoor
float toutStep = (toutMax - toutMin) / cols;

float tinMin=0; //filter: lowest temperature outdoor
float tinMax=40; //filter: highest temperature outdoor
float tinStep = (tinMax - tinMin) / rows;

String validZone= "C";

int c1, c2, c3;

void setup() {
  size(600, 600);

  c1=247;
  c2=247;
  c3=247;

  background(c1, c2, c3);
  w= width/cols;
  h= height/rows;

  survey= loadStrings("rp-parsed.txt");

  grid = new Cell[cols][rows];
  for (int i = 0; i < cols; i++) {
    for (int j = 0; j < rows; j++) {
      grid[i][j] = new Cell(i, j, i*w, -j*h, w, h);
      grid[i][j].calculate();
    }
  }
}

void draw() {
  if (savePDF) beginRecord(PDF, timestamp()+".pdf");
  translate(0, height-h);
  background(255);
  for (int i = 0; i < cols; i++) {
    for (int j = 0; j < rows; j++) {
      grid[i][j].display();
    }
  }
  if (savePDF) {
    savePDF = false;
    endRecord();
  }
}

void keyPressed() {
  loop();
  if (key=='p' || key=='P') savePDF = true;
}

// timestamp
String timestamp() {
  Calendar now = Calendar.getInstance();
  return String.format("%1$tY%1$tM%1$tD_%1$tH%1$tM%1$tS", now);
}

class Cell {
  int i, j;
  float x, y; // x,y location
  float w, h, r; // width and height
  int c1, c2, c3;//color

  // Cell Constructor
  Cell(int _i, int _j, float _X, float _Y, float _W, float _H) {
    i = _i;
    j = _j;
    x = _X;
    y = _Y;
    w = _W;
    h = _H;
    c1=0;
    c2=0;
    c3=0;
  }
}
```

```

}

void calculate() {

String vote;
int countValid=0;
int countNotValid=0;
float validRate;

for (int k=0; k<survey.length; k++) {
String [] pieces= split (survey [k], ",");

String zones = pieces [2];
int votes = int(pieces [9]);
float rawTin = (float(pieces[11]));
float rawTout = (float(pieces[8]));
int tin = (int(rawTin/toutStep));
int tout = (int(rawTout/toutStep));

//filter
if (rawTout>=toutMin
&& rawTin>=tinMin
&& tout ==i
&& tin ==j
&& zones.equals(validZone)
) {

if (votes>=2 && votes<2) {
countValid++;
}
else {
countNotValid++;
}
}
}
validRate=(float) ((double)countValid/ (double)(countValid+countNotValid));

if (countValid+countNotValid<10) {
c1=247;
c2=247;
c3=247;
r=0;
}
else if (validRate>=0.9) {
c1=82;
c2=82;
c3=82;
r=validRate;
}
else if (validRate<0.9 && validRate>=0.8) {
c1=150;
c2=150;
c3=150;
r=validRate;
}
else if (validRate<0.8 && validRate>=0.7) {
c1=204;
c2=204;
c3=204;
r=validRate;
}
else {
c1=247;
c2=247;
c3=247;
r=validRate;
}
}
void display() {
stroke(200, 100);
fill (c1, c2, c3);
println(i+" / "+ j + " -> rate = " + r);
rect (x, y, w, h);
noLoop();
}
}

```

## Anhang 3:

Eingangs-Daten für die thermische Simulation von Raum 1, 2 und 3 in Kapitel 6 (mit Primero ausgeführt, [www.primerosoftware.de](http://www.primerosoftware.de))

### Raum A1

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

#### Projektdaten

<b>Projekt/Bezeichnung</b>	caseSutiesA1
<b>Strasse/Haus-Nr.</b>	- -
<b>PLZ/Ort</b>	10000/-
<b>Klima</b>	C:\Primero\PrimeroKomfort\A-SGP.epw
<b>Urlaubs- und Ferienzeiten</b>	Keine Ferien

#### Betrachteter Raum

<b>[m<sup>3</sup>] Nettovolumen</b>	72.0
<b>[m<sup>2</sup>] Nutzfläche</b>	22.02
<b>untersuchter (kritischer) Raum</b>	A1
<b>Lage des Raumes im Gebäude</b>	- -
<b>Hauptnutzung</b>	Wohnen (Wohnraum)

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

#### Projektdaten

<b>Projekt/Bezeichnung</b>	caseSutiesA1
<b>Strasse/Haus-Nr.</b>	- -
<b>PLZ/Ort</b>	10000/-
<b>Klima</b>	C:\Primero\PrimeroKomfort\A-SGP.epw
<b>Urlaubs- und Ferienzeiten</b>	Keine Ferien

#### Betrachteter Raum

<b>[m<sup>3</sup>] Nettovolumen</b>	72.0
<b>[m<sup>2</sup>] Nutzfläche</b>	22.02
<b>untersuchter (kritischer) Raum</b>	A1
<b>Lage des Raumes im Gebäude</b>	- -
<b>Hauptnutzung</b>	Wohnen (Wohnraum)

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

### Verschattung in der Fensterebene

#### Beschreibung/Lage:

#### Verschattung in der Fensterebene:

Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m <sup>2</sup> ]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Lage	Konstruktion 1	Konstruktion 2	Position Lamellen	Faktor Fc	g-Wert verschattet	Regelung
Volumenkörper1 Boden		Boden gegen unbeh. Gebäudeteil	22.02	Unten	180.0							
Volumenkörper1 Wand1	F1	Außenwand Fenster	9.15 7.35	Süd Süd	90.0 90.0	außen, hinterlüftet	Jalousie - Raffstore	weiß	cut off	0.36	-	zu, wenn Sonne auf die Fassade scheint
Volumenkörper1 Wand3	f2	Außenwand Fenster	14.0 2.5	Nord Nord	90.0 90.0	außen, hinterlüftet	Jalousie - Raffstore	weiß	cut off	0.36	-	zu, wenn Sonne auf die Fassade scheint

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Verschattung am Bauteil

### Beschreibung/Lage:

Ansatzpunkt auf Bauteil	Name der Verschattung	Tiefe [m]	Neigung [°]	Transmission [%]
Volumenkörper1 Wand1	v1	2.0	0.0	0.0
Volumenkörper1 Wand3	v1	2.0	0.0	0.0

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Bauteile gegen Erdreich/unbeheizten Keller

### Beschreibung/Lage:

### Konstruktion:

Bauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Konstruktionstyp	U-Wert[W/m²K]
---------	------------	-------------------	------------------	---------------

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Begrenzende Innenbauteile

### Beschreibung/Lage:

### Konstruktion:

Bauteil	Elemente im Bauteil	Bauteiltyp	Netto-Fläche [m²]	Konstruktionstyp
Volumenkörper1 Wand2		Innenwand	12.03	IWD_SK(2)
Volumenkörper1 Wand4		Innenwand	11.94	IWD_SK(2)
Volumenkörper1 Decke		Zwischendecke	22.02	ZDK_SH(3)

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Innere Verbauung

### Beschreibung/Lage:

### Konstruktion:

Bauteil	Lage im Raum	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Ebene	Konstruktionstyp
---------	--------------	------------	-------------------	-------	------------------

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Objekte im Außenraum

### Beschreibung/Lage:

Objekt(Name)	Art der Lage	Form	Netto Fläche [m²]	Höhe Ansatzpunkt über/unter 0.00m	Objekttransparenz [%]
--------------	--------------	------	-------------------	-----------------------------------	-----------------------

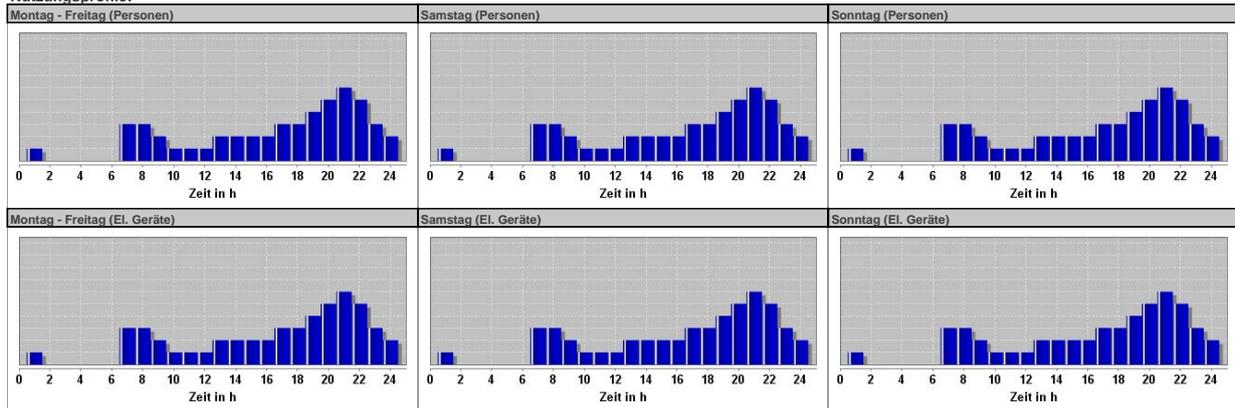
Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Technische Systeme

<b>Bruttovolumen des Raumes [m³]</b>	72.0
--------------------------------------	------

<b>Nutzung:</b>	
Nutzung	Wohnen (Wohnraum)
Nutzfläche [m²]	22.02
Personenbelegung	hoch (28.0 m²/Person)
Elektrische Geräte	hoch (6.0 W/m²)
Beleuchtung	hoch (5.4 W/m²)

### Nutzungsprofile:



Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Technische Systeme (2)

<b>Lüftung:</b>	
$n_{inj}$ [1/h]	1.0
Art der Lüftung	natürlich
Erdreichwärmetauscher vorhanden?	Nein

<b>Kunstlicht:</b>	
Beleuchtungsstärke [lx]	150
Regelung	E Referenzpunkt < E nenn. ein/aus
Koordinaten des Referenzpunktes	x = 2.5 y = 2.99 z = 0.8

<b>Energieversorgung:</b>	
Heizung	
Heizperiode	25. Dezember bis 25. Dezember
Heiztemperatur [°C]	10

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Technische Systeme - Infiltration

<b>Luftdichtheit:</b>	
Drucktest geplant/ausgeführt?	Ja
Angestrebtes Ergebnis $n_{inj}$ [1/h]	10.0

<b>Windeinfluss:</b>	
Lage des Raumes bezüglich Wind	ungeschützt
Anzahl der windexponierten Fassaden	mehr als eine

<b>Luftwechsel durch Infiltration:</b>	
Resultierender Luftwechsel durch Infiltration $n_{inj}$ [1/h]	1.0

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung

### Luftwechsel:

<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja
Querlüftung möglich	Ja
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	0.6
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	2.0 (von 6 bis 22 Uhr) und 3.0 (von 22 bis 6 Uhr)
<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja
Querlüftung möglich	Ja
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	1.0
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	2.0 (von 6 bis 22 Uhr) und 3.0 (von 22 bis 6 Uhr)

### Lüftungsstrategie:

<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>	
Innerhalb der Nutzungszeit	
Mindestluftwechsel bis $Q_v$ [°C]	19
Maximaler Luftwechsel wird erreicht bei $Q_v$ [°C]	25
Reduktion auf Mindestluftwechsel oberhalb $Q_v$ [°C]	40

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA1	basis	gussiDissi	30.11.14 13:27

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung (2)

<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>	
zwischen 2 Nutzungstagen	
Erhöhte Lüftung aktivieren ab Tagesmittelwert Außentemp. an Tagen ohne Nutzung	19 °C im Zeitraum: 1 bis 6 Uhr
Erhöhte Lüftung auch dann möglich?	Ja

## Raum A2

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

### Projektdaten

<b>Projekt/Bezeichnung</b>	caseSutiesA2
<b>Strasse/Haus-Nr.</b>	- -
<b>PLZ/Ort</b>	10000/-
<b>Klima</b>	C:\Primero\PrimeroKomfortA-SGP.epw
<b>Urlaubs- und Ferienzeiten</b>	Keine Ferien

### Betrachteter Raum

<b>[m³] Nettovolumen</b>	66.06
<b>[m²] Nutzfläche</b>	22.02
<b>untersuchter (kritischer) Raum</b>	A1
<b>Lage des Raumes im Gebäude</b>	- -
<b>Hauptnutzung</b>	Wohnen (Wohnraum)

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

### Bauteile gegen Außen

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:				Fenster:						
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Konstruktionstyp	U-Wert [W/m²K]	g-Wert	t-vis	Bedruckungsgrad [%]	Rahmenanteil [%]	U-WertGlas [W/m²K]	U-WertRahm n [W/m²K]
Volumenkörper1 Boden		Boden gegen unbeh. Gebäudeteil	22.02	Unten	180.0	BDA_SK(2)	0.22						
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand	6.49	Süd	90.0	U-Wert-Manager	1.47						
		Fenster	10.01	Süd	90.0	FE	4.2	0.86	0.9	0.0	10.0	5.8	<0.9
Volumenkörper1 Wand3	f2	Außenwand	12.0	Nord	90.0	U-Wert-Manager	1.47						
		Fenster	4.5	Nord	90.0	FE	4.2	0.86	0.9	0.0	10.0	5.8	<0.9

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

### Verschattung in der Fensterebene

Beschreibung/Lage:			Verschattung in der Fensterebene:									
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Lage	Konstruktion 1	Konstruktion 2	Position Lamellen	Faktor Fc	g-Wert verschattet	Regelung
Volumenkörper1 Boden		Boden gegen unbeh. Gebäudeteil	22.02	Unten	180.0							
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand	6.49	Süd	90.0							
		Fenster	10.01	Süd	90.0	außen, hinterlüftet	Jalousie - Raffstore	weiß	-	-	-	-
Volumenkörper1 Wand3	f2	Außenwand	12.0	Nord	90.0							
		Fenster	4.5	Nord	90.0	außen, hinterlüftet	Jalousie - Raffstore	weiß	-	-	-	-

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

### Verschattung am Bauteil

Beschreibung/Lage:			
Ansatzpunkt auf Bauteil	Name der Verschattung	Tiefe [m]	Neigung [°]
Volumenkörper1 Wand1	v1	2.0	0.0
Volumenkörper1 Wand3	v1	2.0	0.0

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

### Bauteile gegen Erdreich/unbeheizten Keller

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:	
Bauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Konstruktionstyp	U-Wert[W/m²K]

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

## Begrenzende Innenbauteile

Beschreibung/Lage:				Konstruktion:
Bauteil	Elemente im Bauteil	Bauteiltyp	Netto-Fläche [m²]	Konstruktionstyp
Volumenkörper1 Wand2		Innenwand	12.03	IWD_SK(2)
Volumenkörper1 Wand4		Innenwand	11.94	IWD_SK(2)
Volumenkörper1 Decke		Zwischendecke	22.02	ZDK_SH(3)
Volumenkörper1 Wand5		Zwischendecke	0.04	ZDK_SH(4)

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

## Innere Verbauung

Beschreibung/Lage:				Konstruktion:	
Bauteil	Lage Im Raum	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Ebene	Konstruktionstyp

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

## Objekte im Außenraum

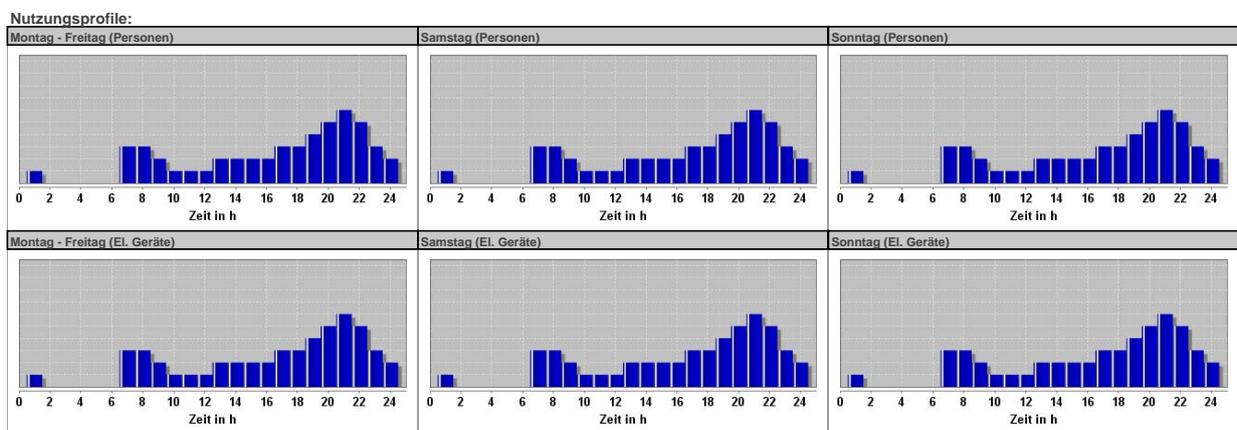
Beschreibung/Lage:					
Objekt(Name)	Art der Lage	Form	Netto Fläche [m²]	Höhe Ansatzpunkt über/unter 0.00m	Objekttransparenz [%]

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

## Technische Systeme

<b>Bruttovolumen des Raumes [m³]</b>	66.06
--------------------------------------	-------

Nutzung:	
Nutzung	Wohnen (Wohnraum)
Nutzfläche [m²]	22.02
Personenbelegung	hoch (28.0 m²/Person)
Elektrische Geräte	hoch (6.0 W/m²)
Beleuchtung	hoch (5.4 W/m²)



Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSutiesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

## Technische Systeme (2)

Lüftung:	
$n_{50}$ [1/h]	1.0
Art der Lüftung	natürlich
Erdreichwärmetauscher vorhanden?	Nein

Kunstlicht:	
Beleuchtungsstärke [lx]	150
Regelung	E Referenzpunkt < E nenn, ein/aus
Koordinaten des Referenzpunktes	x = 2.5 y = 2.99 z = 0.8

Energieversorgung:	
Heizung	
Heizperiode	25. Dezember bis 25. Dezember
Heiztemperatur [°C]	10

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSuitesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

## Technische Systeme - Infiltration

<b>Luftdichtheit:</b>	
Drucktest geplant/ausgeführt?	Ja
Angestrebtes Ergebnis $n_{50}$ [1/h]	10.0
<b>Windeinfluss:</b>	
Lage des Raumes bezüglich Wind	ungeschützt
Anzahl der windexponierten Fassaden	mehr als eine
<b>Luftwechsel durch Infiltration:</b>	
Resultierender Luftwechsel durch Infiltration $n_{inf}$ [1/h]	1.0

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSuitesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung

<b>Luftwechsel:</b>	
<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja
Querlüftung möglich	Ja
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	0.6
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	2.0 (von 6 bis 22 Uhr) und 3.0 (von 22 bis 6 Uhr)
<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja
Querlüftung möglich	Ja
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	1.0
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	2.0 (von 6 bis 22 Uhr) und 3.0 (von 22 bis 6 Uhr)

<b>Lüftungsstrategie:</b>	
<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>	
Innerhalb der Nutzungszeit	
Mindestluftwechsel bis $Q_1$ [°C]	19
Maximaler Luftwechsel wird erreicht bei $Q_2$ [°C]	25
Reduktion auf Mindestluftwechsel oberhalb $Q_3$ [°C]	40

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseSuitesA2	basis	gussiDissi	30.11.14 13:35

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung (2)

<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>	
zwischen 2 Nutzungstagen	
Erhöhte Lüftung aktivieren ab Tagesmittelwert Außentemp. an Tagen ohne Nutzung	19 °C im Zeitraum: 1 bis 6 Uhr
Erhöhte Lüftung auch dann möglich?	Ja

# Raum B1

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Projektdaten

<b>Projekt/Bezeichnung</b>	caseStudyB1
<b>Strasse/Haus-Nr.</b>	- -
<b>PLZ/Ort</b>	10000/-
<b>Klima</b>	C:\Primerio\PrimerioKomfortB_SAU.epw
<b>Urlaubs- und Ferienzeiten</b>	Keine Ferien

## Betrachteter Raum

<b>[m³] Nettovolumen</b>	66.06
<b>[m²] Nutzfläche</b>	22.0
<b>untersuchter (kritischer) Raum</b>	B1
<b>Lage des Raumes im Gebäude</b>	- -
<b>Hauptnutzung</b>	Wohnen (Wohnraum)

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Bauteile gegen Außen

Beschreibung/Lage:		Konstruktion:				Fenster:							
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Konstruktionstyp	U-Wert [W/m²K]	g-Wert	t-vis	Bedruckungsgrad [%]	Rahmenanteil [%]	U-WertGlas [W/m²K]	U-WertRahmen [W/m²K]
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand Fenster	9.5 2.5	Süd Süd	90.0 90.0	U-Wert-Manager FE	2.21 1.2	0.60	0.79	0.0	10.0	1.1	<0.9

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Verschattung in der Fensterebene

Beschreibung/Lage:		Verschattung in der Fensterebene:										
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Lage	Konstruktion 1	Konstruktion 2	Position Lamellen	Faktor Fc	g-Wert verschattet	Regelung
Volumenkörper1 Boden		Bodenplatte auf Erdreich	22.0	Unten	180.0							
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand Fenster	9.5 2.5	Süd Süd	90.0 90.0	außen, hinterlüftet	Jalousie - Raffstore	weiß	cut off	0.36	-	zu, wenn Sonne auf die Fassade scheint

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Verschattung am Bauteil

Beschreibung/Lage:		Name der Verschattung			Tiefe [m]	Neigung [°]	Transmission [%]
Ansatzpunkt auf Bauteil							
Volumenkörper1 Wand1		v1		1.5	0.0	0.0	

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Bauteile gegen Erdreich/unbeheizten Keller

Beschreibung/Lage:		Konstruktion:		
Bauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Konstruktionstyp	U-Wert[W/m²K]
Volumenkörper1 Boden	Bodenplatte auf Erdreich	22.0	BDE_MP(1)	0.3

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Begrenzende Innenbauteile

Beschreibung/Lage:		Konstruktion:		
Bauteil	Elemente im Bauteil	Bauteiltyp	Netto-Fläche [m²]	Konstruktionstyp
Volumenkörper1 Wand2		Innenwand	16.5	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Wand3		Innenwand	12.0	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Wand4		Innenwand	16.5	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Decke		Zwischendecke	22.0	ZDK_ME(1)

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Innere Verbauung

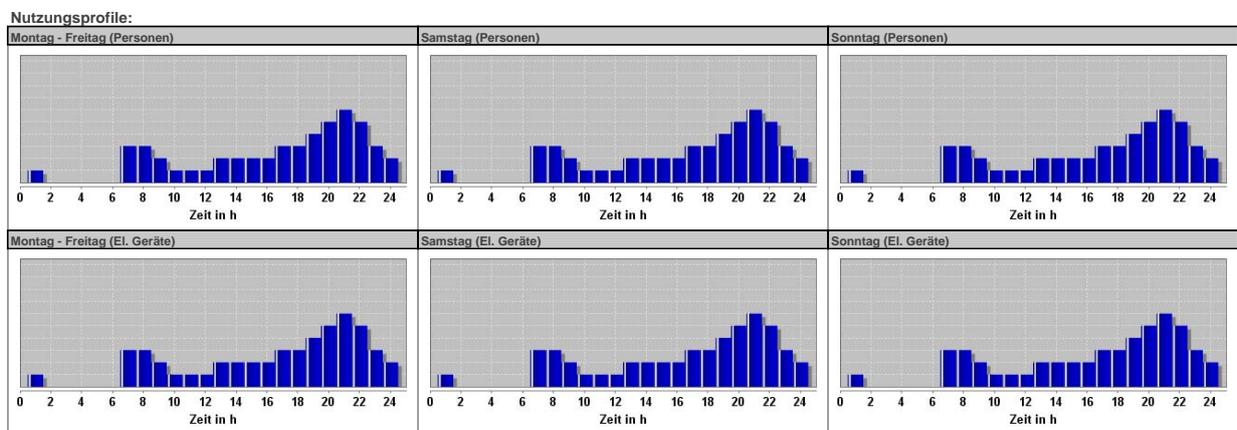
Beschreibung/Lage:			Konstruktion:		
Bauteil	Lage im Raum	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Ebene	Konstruktionstyp

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Technische Systeme

Bruttovolumen des Raumes [m³]	66.06
-------------------------------	-------

<b>Nutzung:</b>	
Nutzung	Wohnen (Wohnraum)
Nutzfläche [m²]	22,0
Personenbelegung	hoch (28,0 m³/Person)
Elektrische Geräte	hoch (6,0 W/m²)
Beleuchtung	hoch (5,4 W/m²)



Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Technische Systeme (2)

<b>Lüftung:</b>	
$n_{\text{Lüf}}$ [1/h]	0,03
Art der Lüftung	natürlich
Erdreichwärmetauscher vorhanden?	Nein

<b>Kunstlicht:</b>	
Beleuchtungsstärke [lx]	150
Regelung	Nutzungszeit
Koordinaten des Referenzpunktes	x = 2,0 y = 4,0 z = 0,8

<b>Energieversorgung:</b>	
Heizung	
Heizperiode	01. Juli bis 01. Juli
Heiztemperatur [°C]	0

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Technische Systeme - Infiltration

<b>Luftdichtheit:</b>	
Drucktest geplant/ausgeführt?	Ja
Angestrebtes Ergebnis $n_{\text{Lüf}}$ [1/h]	3,0

<b>Windeinfluss:</b>	
Lage des Raumes bezüglich Wind	starke Abschirmung
Anzahl der windexponierten Fassaden	eine

<b>Luftwechsel durch Infiltration:</b>	
Resultierender Luftwechsel durch Infiltration $n_{\text{Lüf}}$ [1/h]	0,03

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung

### Luftwechsel:

<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>		
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja	
Querlüftung möglich	Nein	
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein	
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	0.6	
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	1.0 (von 6 bis 22 Uhr) und 1.5 (von 22 bis 6 Uhr)	
<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>		
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja	
Querlüftung möglich	Nein	
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein	
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	0.03	
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	1.0 (von 6 bis 22 Uhr) und 1.5 (von 22 bis 6 Uhr)	
<b>Lüftungsstrategie:</b>		
Innerhalb der Nutzungszeit		
Mindestluftwechsel bis $Q_1$ [°C]		10
Maximaler Luftwechsel wird erreicht bei $Q_1$ [°C]		20
Reduktion auf Mindestluftwechsel oberhalb $Q_1$ [°C]		27

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:19

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung (2)

<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>		
zwischen 2 Nutzungstagen		
Erhöhte Lüftung aktivieren ab Tagesmittelwert Außentemp. an Tagen ohne Nutzung		20 °C im Zeitraum: 1 bis 6 Uhr
Erhöhte Lüftung auch dann möglich?		

# Raum B2

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Projektdatei

<b>Projekt/Bezeichnung</b>	caseStudyB2
<b>Strasse/Haus-Nr.</b>	- -
<b>PLZ/Ort</b>	10000/-
<b>Klima</b>	C:\Primerio\PrimerioKomfortB_SAU.epw
<b>Urlaubs- und Ferienzeiten</b>	Keine Ferien

## Betrachteter Raum

<b>[m³] Nettovolumen</b>	66.0
<b>[m²] Nutzfläche</b>	22.0
<b>untersuchter (kritischer) Raum</b>	B1
<b>Lage des Raumes im Gebäude</b>	- -
<b>Hauptnutzung</b>	Wohnen (Wohnraum)

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Bauteile gegen Außen

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:			Fenster:							
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Konstruktionstyp	U-Wert [W/m²K]	g-Wert	t-vis	Bedruckungsgrad [%]	Rahmenanteil [%]	U-WertGlas [W/m²K]	U-WertRahmen [W/m²K]
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand	9.5	Süd	90.0	U-Wert-Manager	0.3						
		Fenster	2.5	Süd	90.0	FE	1.2	0.60	0.79	0.0	10.0	1.1	<0.9

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Verschattung in der Fensterebene

Beschreibung/Lage:			Verschattung in der Fensterebene:									
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Lage	Konstruktion 1	Konstruktion 2	Position Lamellen	Faktor Fc	g-Wert verschattet	Regelung
Volumenkörper1 Boden		Bodenplatte auf Erdreich	22.0	Unten	180.0							
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand	9.5	Süd	90.0	außen, hinterlüftet	Jalousie - Raffstore	weiß	cut off	0.36	-	zu, wenn Sonne auf die Fassade scheint
		Fenster	2.5	Süd	90.0							

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Verschattung am Bauteil

Beschreibung/Lage:			Verschattung am Bauteil:		
Ansatzpunkt auf Bauteil	Name der Verschattung	Tiefe [m]	Neigung [°]	Transmission [%]	
Volumenkörper1 Wand1	v1	2.0	0.0	0.0	

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Bauteile gegen Erdreich/unbeheizten Keller

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:	
Bauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Konstruktionstyp	U-Wert[W/m²K]
Volumenkörper1 Boden	Bodenplatte auf Erdreich	22.0	BDE_MP(1)	0.3

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Begrenzende Innenbauteile

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:	
Bauteil	Elemente im Bauteil	Bauteiltyp	Netto-Fläche [m²]	Konstruktionstyp
Volumenkörper1 Wand2		Innenwand	16.5	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Wand3		Innenwand	12.0	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Wand4		Innenwand	16.5	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Decke		Zwischendecke	22.0	ZDK_ME(1)

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Innere Verbauung

Beschreibung/Lage:				Konstruktion:	
Bauteil	Lage Im Raum	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Ebene	Konstruktionstyp
Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:	
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27	

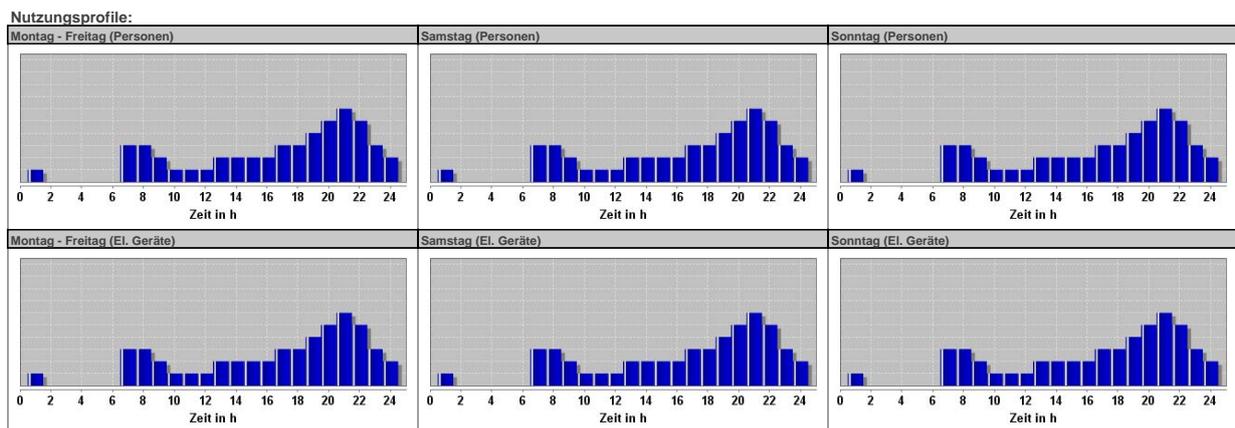
## Objekte im Außenraum

Beschreibung/Lage:					
Objekt(Name)	Art der Lage	Form	Netto Fläche [m²]	Höhe Ansatzpunkt über/unter 0.00m	Objekttransparenz [%]
Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:	
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27	

## Technische Systeme

<b>Bruttovolumen des Raumes [m³]</b>	66.0
--------------------------------------	------

Nutzung:	
Nutzung	Wohnen (Wohnraum)
Nutzfläche [m²]	22.0
Personenbelegung	hoch (28.0 m²/Person)
Elektrische Geräte	hoch (6.0 W/m²)
Beleuchtung	hoch (5.4 W/m²)



Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Technische Systeme (2)

Lüftung:	
$n_{in}$ [1/h]	0.03
Art der Lüftung	natürlich
Erdschichtwärmetauscher vorhanden?	Nein

Kunstlicht:	
Beleuchtungsstärke [lx]	150
Regelung	Nutzungszeit
Koordinaten des Referenzpunktes	x = 2.0 y = 4.0 z = 0.8

Energieversorgung:	
Heizung	
Heizperiode	01. Juli bis 01. Juli
Heiztemperatur [°C]	0

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Technische Systeme - Infiltration

Luftdichtheit:	
Drucktest geplant/ausgeführt?	Ja
Angestrebtes Ergebnis $n_{in}$ [1/h]	3.0

Windeinfluss:	
Lage des Raumes bezüglich Wind	starke Abschirmung
Anzahl der windexponierten Fassaden	eine

Luftwechsel durch Infiltration:	
Resultierender Luftwechsel durch Infiltration $n_{in}$ [1/h]	0.03

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung

### Luftwechsel:

<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja
Querlüftung möglich	Nein
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	0,6
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	1,0 (von 6 bis 22 Uhr) und 1,5 (von 22 bis 6 Uhr)
<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja
Querlüftung möglich	Nein
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	0,03
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	1,0 (von 6 bis 22 Uhr) und 1,5 (von 22 bis 6 Uhr)

### Lüftungsstrategie:

<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>	
Innerhalb der Nutzungszeit	
Mindestluftwechsel bis $Q_1$ [°C]	10
Maximaler Luftwechsel wird erreicht bei $Q_2$ [°C]	20
Reduktion auf Mindestluftwechsel oberhalb $Q_3$ [°C]	27

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyB2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:27

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung (2)

<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>	
zwischen 2 Nutzungstagen	
Erhöhte Lüftung aktivieren ab Tagesmittelwert Außentemp. an Tagen ohne Nutzung	20 °C im Zeitraum: 1 bis 6 Uhr
Erhöhte Lüftung auch dann möglich?	Nein

# Raum C1

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Projektdate

<b>Projekt/Bezeichnung</b>	caseStudyC1
<b>Strasse/Haus-Nr.</b>	- -
<b>PLZ/Ort</b>	10000/-
<b>Klima</b>	C:\Primer0\Primer0KomfortC_PRT.epw
<b>Urlaubs- und Ferienzeiten</b>	Keine Ferien

## Betrachteter Raum

<b>[m³] Nettovolumen</b>	66.0
<b>[m²] Nutzfläche</b>	22.0
<b>untersuchter (kritischer) Raum</b>	-
<b>Lage des Raumes im Gebäude</b>	- -
<b>Hauptnutzung</b>	Wohnen (Wohnraum)

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Bauteile gegen Außen

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:				Fenster:						
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Konstruktionstyp	U-Wert [W/m²K]	g-Wert	t-vis	Bedruckungsgrad [%]	Rahmenanteil [%]	U-WertGlas [W/m²K]	U-WertRahmen [W/m²K]
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand Fenster	9.5 2.5	Süd Süd	90.0 90.0	U-Wert-Manager FE	0.52 2.2	0.76	0.81	0.0	10.0	2.7	<0.9

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Verschattung in der Fensterebene

Beschreibung/Lage:			Verschattung in der Fensterebene:									
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Lage	Konstruktion 1	Konstruktion 2	Position Lamellen	Faktor Fc	g-Wert verschattet	Regelung
Volumenkörper1 Boden		Bodenplatte auf Erdreich	22.0	Unten	180.0							
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand Fenster	9.5 2.5	Süd Süd	90.0 90.0	außen, nicht hinterlüftet	Jalousie - Raffstore	weiß	cut off	0.36	-	zu, wenn Sonne auf die Fassade scheint

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Verschattung am Bauteil

Beschreibung/Lage:		Name der Verschattung	Tiefe [m]	Neigung [°]	Transmission [%]
Ansatzpunkt auf Bauteil					

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Bauteile gegen Erdreich/unbeheizten Keller

Beschreibung/Lage:		Konstruktion:		
Bauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Konstruktionstyp	U-Wert[W/m²K]
Volumenkörper1 Boden	Bodenplatte auf Erdreich	22.0	BDE_MP(2)	0.3

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Begrenzende Innenbauteile

Beschreibung/Lage:		Konstruktion:		
Bauteil	Elemente im Bauteil	Bauteiltyp	Netto-Fläche [m²]	Konstruktionstyp
Volumenkörper1 Wand2		Innenwand	16.5	IWD_MA(2)
Volumenkörper1 Wand3		Innenwand	12.0	IWD_MA(2)
Volumenkörper1 Wand4		Innenwand	16.5	IWD_MA(2)
Volumenkörper1 Decke		Zwischendecke	22.0	ZDK_ME(1)

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Innere Verbauung

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:		
Bauteil	Lage im Raum	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Ebene	Konstruktionstyp
Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:	
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42	

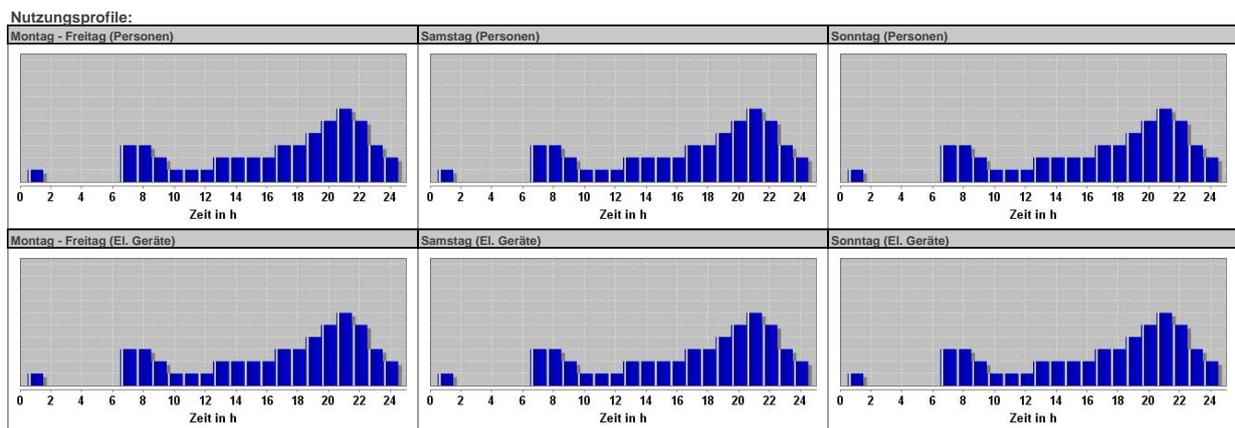
## Objekte im Außenraum

Beschreibung/Lage:					
Objekt(Name)	Art der Lage	Form	Netto Fläche [m²]	Höhe Ansatzpunkt über/unter 0.00m	Objekttransparenz [%]
Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:	
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42	

## Technische Systeme

<b>Bruttovolumen des Raumes [m³]</b>	66.0
--------------------------------------	------

Nutzung:	
Nutzung	Wohnen (Wohnraum)
Nutzfläche [m²]	22.0
Personenbelegung	hoch (28.0 m²/Person)
Elektrische Geräte	hoch (6.0 W/m²)
Beleuchtung	hoch (5.4 W/m²)



Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Technische Systeme (2)

Lüftung:	
$n_{\text{net}}$ [1/h]	0.09
Art der Lüftung	natürlich
Erdreichwärmetauscher vorhanden?	Nein

Kunstlicht:	
Beleuchtungsstärke [lx]	150
Regelung	Nutzungszeit
Koordinaten des Referenzpunktes	x = 2.0 y = 4.0 z = 0.8

Energieversorgung:	
Heizung	
Heizperiode	01. Oktober bis 30. April
Heiztemperatur [°C]	20

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Technische Systeme - Infiltration

Luftdichtheit:	
Drucktest geplant/ausgeführt?	Ja
Angestrebtes Ergebnis $n_{50}$ [1/h]	3.0

Windeinfluss:	
Lage des Raumes bezüglich Wind	ungeschützt
Anzahl der windexponierten Fassaden	eine

Luftwechsel durch Infiltration:	
Resultierender Luftwechsel durch Infiltration $n_{\text{net}}$ [1/h]	0.09

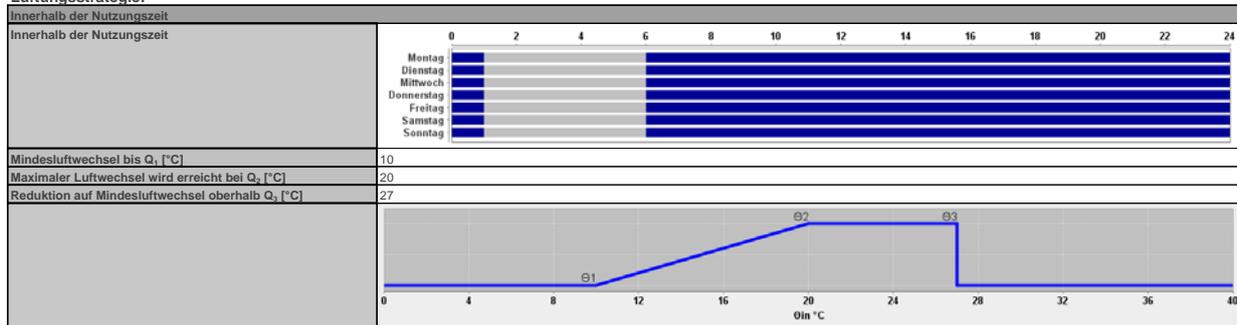
Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC1	basis	gussiDissi	01.12.14 12:42

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung

### Luftwechsel:

<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja
Querlüftung möglich	Nein
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	0,6
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	1.0 (von 6 bis 22 Uhr) und 1.5 (von 22 bis 6 Uhr)
<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Nein
Querlüftung möglich	Nein
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein

### Lüftungsstrategie:



## Raum C2

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

### Projektdaten

<b>Projekt/Bezeichnung</b>	caseStudyC2
<b>Strasse/Haus-Nr.</b>	- -
<b>PLZ/Ort</b>	10000/-
<b>Klima</b>	C:\Primer0\Primer0KomfortC_PRT.epw
<b>Urlaubs- und Ferienzeiten</b>	Keine Ferien

### Betrachteter Raum

<b>[m³] Nettovolumen</b>	66.0
<b>[m²] Nutzfläche</b>	22.0
<b>untersuchter (kritischer) Raum</b>	-
<b>Lage des Raumes im Gebäude</b>	- -
<b>Hauptnutzung</b>	Wohnen (Wohnraum)

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

### Bauteile gegen Außen

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:				Fenster:						
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Konstruktionstyp	U-Wert [W/m²K]	g-Wert	t-vis	Bedruckungsgrad [%]	Rahmenanteil [%]	U-WertGlas [W/m²K]	U-WertRahm n [W/m²K]
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand Fenster	8.25 3.75	Süd Süd	90.0 90.0	U-Wert-Manager FE	0.37 2.2	0.76	0.81	0.0	10.0	2.7	<0.9

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

### Verschattung in der Fensterebene

Beschreibung/Lage:			Verschattung in der Fensterebene:									
Außenbauteil	Element im Außenbauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Orientierung	Neigung gg. Horizont	Lage	Konstruktion 1	Konstruktion 2	Position Lamellen	Faktor Fc	g-Wert verschattet	Regelung
Volumenkörper1 Boden		Bodenplatte auf Erdreich	22.0	Unten	180.0							
Volumenkörper1 Wand1	f1	Außenwand Fenster	8.25 3.75	Süd Süd	90.0 90.0	außen, nicht hinterlüftet	Rollladen - Fensterladen	farbig, keine Transmission	-	0.3	-	zu, wenn Sonne auf die Fassade scheint

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

### Verschattung am Bauteil

Beschreibung/Lage:						
Ansatzpunkt auf Bauteil	Name der Verschattung	Tiefe [m]	Neigung [°]	Transmission [%]		

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

### Bauteile gegen Erdreich/unbeheizten Keller

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:		
Bauteil	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Konstruktionstyp	U-Wert[W/m²K]	
Volumenkörper1 Boden	Bodenplatte auf Erdreich	22.0	BDE_MP(2)	0.3	

Primero "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

### Begrenzende Innenbauteile

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:	
Bauteil	Elemente im Bauteil	Bauteiltyp	Netto-Fläche [m²]	Konstruktionstyp
Volumenkörper1 Wand2		Innenwand	16.5	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Wand3		Innenwand	12.0	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Wand4		Innenwand	16.5	IWD_MA(1)
Volumenkörper1 Decke		Zwischendecke	22.0	ZDK_ME(1)

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

## Innere Verbauung

Beschreibung/Lage:			Konstruktion:		
Bauteil	Lage Im Raum	Bauteiltyp	Netto Fläche [m²]	Ebene	Konstruktionstyp

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

## Objekte im Außenraum

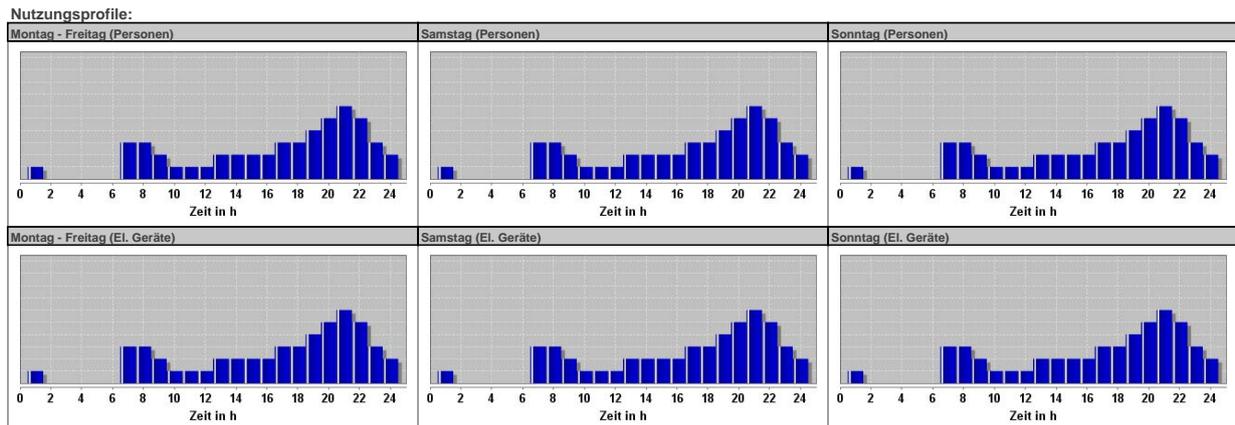
Beschreibung/Lage:					
Objekt(Name)	Art der Lage	Form	Netto Fläche [m²]	Höhe Ansatzpunkt über/unter 0.00m	Objekttransparenz [%]

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

## Technische Systeme

<b>Bruttovolumen des Raumes [m³]</b>	66.0
--------------------------------------	------

Nutzung:	
Nutzung	Wohnen (Wohnraum)
Nutzfläche [m²]	22.0
Personenbelegung	hoch (28.0 m²/Person)
Elektrische Geräte	hoch (6.0 W/m²)
Beleuchtung	hoch (5.4 W/m²)



Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

## Technische Systeme (2)

Lüftung:	
$n_{\text{Lüf}}$ [1/h]	0.09
Art der Lüftung	natürlich
Erdreichwärmetauscher vorhanden?	Nein

Kunstlicht:	
Beleuchtungsstärke [lx]	150
Regelung	Nutzungszeit
Koordinaten des Referenzpunktes	x = 2.0 y = 4.0 z = 0.8

Energieversorgung:	
Heizung	
Heizperiode	01. Oktober bis 30. April
Heiztemperatur [°C]	20

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

## Technische Systeme - Infiltration

### Luftdichtheit:

Drucktest geplant/ausgeführt?	Ja
Angestrebtes Ergebnis $n_{10}$ [1/h]	3.0

### Windeinfluss:

Lage des Raumes bezüglich Wind	ungeschützt
Anzahl der windexponierten Fassaden	eine

### Luftwechsel durch Infiltration:

Resultierender Luftwechsel durch Infiltration $n_{in}$ [1/h]	0.09
--	------

Primerio "Komfort"	Projekt:	Variante:	Sachbearbeiter:	Datum/Urzeit:
Labor f. Bauphysik	caseStudyC2	basis	gussiDissi	01.12.14 12:51

## Technische Systeme - Natürliche Lüftung

### Luftwechsel:

<b>Innerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Ja
Querlüftung möglich	Nein
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein
Minimaler Luftwechsel $n_{min}$ [1/h]	0.6
Maximaler Luftwechsel $n_{max}$ [1/h]	1.0 (von 6 bis 22 Uhr) und 1.5 (von 22 bis 6 Uhr)
<b>Außerhalb der Nutzungszeit</b>	
Fenster mit Öffnungsflügel/separate Lüftungsöffnung/Schacht vorhanden?	Nein
Querlüftung möglich	Nein
Lüftung über Höhendifferenz > 4m möglich?	Nein

### Lüftungsstrategie:

