

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science (M.Sc.) im Studiengang Stadtplanung

an der HafenCity Universität Hamburg

**Gebäudebegrünung als Lärmschutzmaßnahme
im innerstädtischen Raum**

-

**Welchen Beitrag können Dach- und Fassadenbegrünungen
zum Lärmschutz leisten?**

Von Tony Linke

Hermannstal 43
22119 Hamburg
Tel.: 0177/ 4727803
Matrikelnr.: 6009208
Eingereicht am: 13.02.2017

Erstgutachter

Uni.-Prof. Dr.-Ing. Martin Jäschke

Professur für Immissionsreduzierung
in urbanen Räumen

Zweitgutachter

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut

Professur für Umweltgerechte
Stadt- und Infrastrukturplanung

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Zielsetzung und Fragestellung | 2 |
| 1.2 Aufbau der Arbeit..... | 2 |
| 1.3 Methodisches Vorgehen..... | 3 |
| | |
| 2. Einführung in das Thema „Lärm in der Stadt“ | 5 |
| 2.1 Grundlagen der Akustik | 5 |
| 2.2 Grundlagen des Lärmbegriffs | 6 |
| 2.3 Lärmquellen | 8 |
| 2.3.1 Straßenverkehrslärm | 9 |
| 2.3.2 Schienenverkehrslärm..... | 10 |
| 2.3.3 Flugverkehrslärm | 11 |
| 2.3.4 Gewerbe- und Industrielärm | 12 |
| 2.3.5 Sport- und Freizeitlärm | 13 |
| 2.4 Lärmschutz | 14 |
| 2.4.1 Lärmschutz auf europäischer Ebene..... | 15 |
| 2.4.2 Lärmschutz auf nationaler Ebene..... | 16 |
| | |
| 3. Pflanzen als Lärmschutz | 20 |
| 3.1 Stand der Forschung | 20 |
| 3.2 Lärminderungseigenschaften von Vegetationen | 24 |
| 3.3 Lärmschutzpotential von Gebäudebegrünung | 25 |
| 3.3.1 Lärmschutzpotential von Fassadenbegrünungen | 26 |
| 3.3.2 Lärmschutzpotential von Dachbegrünungen..... | 28 |
| 3.3.3 Weitere pflanzliche Lärminderungsmaßnahmen für den urbanen Raum | 30 |
| 3.3.4 Zusammenfassende Betrachtung | 32 |
| | |
| 4. Hintergrund, Arten und Potentiale von Gebäudebegrünungen | 33 |
| 4.1 Historische Entwicklung der Gebäudebegrünung | 33 |
| 4.2 Warum Gebäude begrünen? | 36 |
| 4.2.1 Gebäudeoptimierung | 36 |
| 4.2.1.1 Lüftung und Luftreinigung..... | 37 |
| 4.2.1.2 Wärmehaltung/-Schutz und Verschattung..... | 37 |
| 4.2.1.3 Ökologie und Ökonomie | 38 |
| 4.2.1.4 Zusammenfassung der Gebäudeoptimierung | 39 |
| 4.2.2 Umfeldverbesserung | 40 |
| 4.2.2.1 Regenwasser und Gebäudebegrünung | 40 |

| | |
|--|-------------|
| 4.2.2.2 Luftverbesserung, Biodiversität und Ästhetik | 41 |
| 4.2.2.3 Zusammenfassung der Umfeldverbesserung | 43 |
| 4.3 Rechtsgrundlagen für Gebäudebegrünungen | 44 |
| 4.4 Arten und Potentiale der Fassadenbegrünungen | 45 |
| 4.4.1 Bodengebundene Systeme der Fassadenbegrünung..... | 48 |
| 4.4.1.1 Direktbewuchs mit Selbstklimmern | 49 |
| 4.4.1.2 Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterern | 50 |
| 4.4.2 Wandgebundene Systeme der Fassadenbegrünung..... | 51 |
| 4.4.2.1 Regalsysteme | 51 |
| 4.4.2.2 Modulare Systeme..... | 53 |
| 4.4.2.3 Flächige Systeme | 54 |
| 4.4.3 Mischformen | 56 |
| 4.5 Arten und Potentiale der Dachbegrünungen | 57 |
| 4.5.1 Systeme der Extensiven Dachbegrünung | 60 |
| 4.5.1.1 Direktbegrünung | 60 |
| 4.5.1.2 Textilsysteme..... | 60 |
| 4.5.1.3 Textil-Substrat Systeme | 61 |
| 4.5.1.4 Substratschüttungen..... | 61 |
| 4.5.2 Systeme der Intensiven Dachbegrünung | 62 |
| 4.5.2.1 Substratschüttungen..... | 62 |
| 4.5.2.2 Pflanzgefäße | 62 |
| 4.6 Pflanzliche und bautechnische Schäden..... | 63 |
| 4.7 Zusammenfassende Betrachtung der Gebäudebegrünung | 64 |
| | |
| 5. Untersuchung der Lärminderungswirkung von Fassadenbegrünungen im innerstädtischen Raum | 65 |
| 5.1 Auswahl der Simulationssoftware | 65 |
| 5.2 Vorstellung des Untersuchungsgebietes | 66 |
| 5.3 Konfiguration und Parameterauswahl | 68 |
| 5.4 Darstellung der Simulationsergebnisse | 70 |
| 5.5 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen | 80 |
| | |
| 6. Fazit..... | 81 |
| | |
| Anhang | III |
| Literaturverzeichnis | IV |
| Abbildungsverzeichnis | XI |
| Tabellenverzeichnis | XVI |
| Erklärung | XVII |

1. Einleitung

Die Bewohner von Ballungsräumen sind vermehrt akustischen Dauerbelastungen ausgesetzt. Die dichten Verkehrsinfrastrukturen, wie Bahnanlagen, Straßen oder Flughäfen verursachen hier besonders hohe Lärmpegel. Aber auch andere Schallquellen aus Industrie- und Gewerbeanlagen oder Freizeitlärm tragen zur geballten Lärmbelastung der Bewohner von Städten bei.

Störende oder als belastend wahrgenommene Geräusche, die auf den Menschen einwirken, werden meist als Lärm definiert und können zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Die Gefahr von schädlichen Lärmeinwirkungen besteht im Besonderen darin, dass neben erhöhtem Stress und Unwohlsein auch verschiedene psychologische Erkrankungen auftreten könnten. Dadurch kann die Leistungsfähigkeit der Betroffenen vermindert werden. Des Weiteren kann Lärm den Hörapparat von Menschen und Tieren dauerhaft schädigen und zu Herz-Kreislaufkrankungen führen. Der Lärm stellt damit eine Beeinflussung der Lebensqualität der Menschen dar. Aufgrund des starken Entwicklungsdrucks der Städte kommt es zu einer zunehmenden Verdichtung des städtischen Raums, wodurch die Belastungen verstärkt werden. Gerade der Verkehrslärm, insbesondere der Straßenverkehrslärm, stellt durch den steigenden Individualverkehr zunehmende Herausforderungen für die zukünftige Stadtentwicklung dar.

Das Baugesetzbuch als wichtigstes Gesetz des Städtebaurechts verlangt, dass bei der Aufstellung von Bauleitplänen die allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse gewährleistet werden. Damit ist die Lärmvermeidung und Bekämpfung ein zentrales Ziel der Stadtentwicklung.¹ Unterschiedliche Lärmschutzmaßnahmen, wie beispielsweise Lärmschutzwände, die Verkehrssteuerung, Tempolimits oder Schallschutzfenster können zur Lärminderung beitragen. Allerdings sind diese Maßnahmen oftmals sehr teuer oder gerade in hochverdichteten Räumen aufgrund von mangelnden Flächen nicht umsetzbar.

Die zunehmenden Herausforderungen machen es notwendig nach Alternativen für einen effektiven Schallschutz zu suchen. Vor diesem Hintergrund rücken auch moderne Begrünungssysteme und deren mögliche Potentiale in das Interesse der Forschung. In hochverdichteten und stark versiegelten Ballungsräumen stellen Fassaden und Dächer einen großen Anteil der akustisch relevanten Flächen des städtischen Raumes dar und nehmen durch ihre akustischen Eigenschaften Einfluss auf den Geräuschpegel der Umwelt. Durch Fassaden- oder Dachbegrünungen besteht damit die Möglichkeit, die akustischen Eigenschaften dieser Flächen zu verändern und somit Einfluss auf das städtische Klangbild zu nehmen.

¹vgl. § 1 (6) 1 BauGB

1.1 Zielsetzung und Fragestellung

Da Maßnahmen an der Lärmquelle selbst zur Senkung der Belastung nicht ausreichen, werden auch zukünftig andere Lärmschutzmaßnahmen notwendig sein. In innerstädtischen Bereichen ist die Auswahl von lärmindernden Maßnahmen begrenzt. Schallschutzwände führen oftmals zu einer Trennung des öffentlichen Raumes und sind daher sehr unbeliebt. Natürliche Barrieren aus Pflanzen oder Hecken scheinen da eine bessere Lösung zu bieten. Für den städtebaulichen Schallschutz werden Vegetationen bisher allerdings kaum genutzt, da die maßgeblichen Richtlinien die Dämpfung durch die Vegetation als sehr gering ansetzen. Moderne Techniken machen es jedoch möglich auch eine vertikale Begrünung, nicht mehr nur rein durch Selbstklimmer oder Kletterpflanzen, zu installieren. Mit modernen Fassaden- und Dachbegrünung ergeben sich damit neue Einsatzmöglichkeiten der Pflanzen. Die Fassaden- und Dachbegrünungen sind durch ihren vielschichtigen Aufbau nicht mit herkömmlichen Begrünungen zu vergleichen und besitzen andere akustische Eigenschaften.

In dieser Arbeit sollen daher die Gebäudebegrünungen, bestehend aus der Fassadenbegrünung und der Dachbegrünung, hinsichtlich ihrer lärmindernden Eigenschaften untersucht werden. Dabei soll die Fragen beantwortet werden: Welchen Beitrag können Gebäudebegrünungen zum innerstädtischen Lärmschutz leisten? Welche Pegelminderungen können erzielt werden?

Aus den Erkenntnissen der Arbeit sollen Schlussfolgerungen für die Einsatzmöglichkeiten der Begrünungen im Rahmen des innerstädtischen Schallschutzes abgeleitet werden. Dabei sollen Hinweise für die planerischen Voraussetzungen und Besonderheiten für einen effektiven Schallschutz mit Hilfe von Begrünungssystemen gegeben werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist im Wesentlichen in vier Abschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt, dem zweiten Kapitel, werden grundlegende Begrifflichkeiten erläutert. Hierzu wird zunächst ein Einstieg in die Akustik gegeben. Die elementaren Begriffe und Vorgänge, wie beispielsweise was ist Schall, werden erläutert. Anschließend erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem Thema des Lärms. Hierbei werden Begrifflichkeiten definiert und die unterschiedlichen Lärmquellen vorgestellt. Letztlich soll ein Überblick über geltende gesetzliche Regelungen bezüglich des Lärmschutzes den Einstieg in diese Arbeit abrunden.

Der zweite Abschnitt dieser Arbeit (Kapitel 3) befasst sich mit dem Forschungsstand zum Thema Pflanzen und Lärmschutz. Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus vorangegangenen Untersuchungen werden aufgezeigt und sollen einen ersten Überblick über die Möglichkeiten von Begrünungen als Lärmschutzmaßnahme vermitteln. Die wesentlichen Effekte die in dem

Zusammenhang zwischen Pflanze und Schall eine Lärminderung herbeiführen können sollen ebenfalls vorgestellt werden. Anschließend wird noch einmal explizit auf den Forschungsstand bezüglich der Fassaden- und Dachbegrünung eingegangen, bevor weitere Möglichkeiten der Schallminderung durch den Einsatz von Vegetationen vorgestellt werden.

Im anschließenden Abschnitt dieser Arbeit (Kapitel 4) erfolgt dann eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema der Gebäudebegrünung. Die historische Entwicklung der Gebäudebegrünung soll dabei zunächst einen Einstieg ermöglichen. Anschließend werden Gründe aufgezeigt die für eine Begrünung von Gebäuden sprechen können und somit eine Motivation darstellen. Jedoch sollen in diesem Kapitel auch die rechtlichen Grundlagen die beachtet werden müssen, sowie mögliche Schäden, die durch eine Begrünung auftreten können, vorgestellt werden. Des Weiteren erfolgt in diesem Abschnitt eine intensive Betrachtung der Arten der Gebäudebegrünung und ihrer Systemvarianzen. Hierdurch wird ein Eindruck der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und der unterschiedlichen Bauweisen vermittelt.

Im vierten Abschnitt (Kapitel 5) wird eine Parameterstudie zum Thema Wirkung von Gebäudebegrünungen im innerstädtischen Raum durchgeführt. Hierbei werden die Auswirkung von unterschiedlichen Fassaden-Begrünungsgraden und Systemen auf den Schallpegel untersucht. Die Untersuchung erfolgt anhand eines Simulationsprogrammes. Die Ergebnisse der Untersuchung werden anschließend vorgestellt und Schlussfolgerungen für die Effektivität der Begrünungen gezogen. Dabei sollen Planungshinweise für die Praxis abgeleitet werden.

Am Ende der Arbeit soll eine zusammenfassende Betrachtung der Erkenntnisse erfolgen und die Forschungsfrage beantwortet werden. Außerdem werden Hinweise für mögliche weitere Forschung gegeben.

1.3 Methodisches Vorgehen

Im Rahmen dieser Arbeit wurden unterschiedliche Methoden angewendet. Die Grundlage stellt eine ausführliche Literaturrecherche sowohl zum Thema Lärm, als auch zum Thema Akustik und Gebäudebegrünung dar. Durch das Literaturstudium konnten bisherige Ergebnisse zusammengetragen und im Zusammenhang dieser Arbeit genutzt werden. Die durchgeführte Parameterstudie machte es notwendig, sich intensiv mit unterschiedlichen Softwareanwendungen zur Lärmsimulation auseinanderzusetzen. Hierdurch sollte eine geeignete Software gefunden werden, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden kann. Gleichzeitig sollten dabei auch Erkenntnisse über die bisherige Umsetzung von Begrünungen innerhalb der Simulationssoftwares gewonnen werden. Der teilweise nicht vorhandene Zugang zur Software sowie das fehlende Wissen bei der Anwendung machten einen Kontakt zum jeweiligen Hersteller notwendig. Dabei wurden sowohl diese als auch externe Unternehmen

nach Anwendungsmöglichkeiten von Gebäudebegrünungen innerhalb von bekannten Lärmsimulationssoftwares gefragt. Für die Simulation selbst wurde ein geeignetes Untersuchungsgebiet gewählt und innerhalb der gewählten Softwareanwendung nachgebildet. Mit Hilfe der Software wurde letztlich eine Parameterstudie durchgeführt. Der genaue Aufbau der Parameterstudie wird im entsprechenden Kapitel näher erläutert. Auf eine ausführliche Darstellung der eingesetzten Methodik wird daher an dieser Stelle verzichtet. Im Rahmen der Arbeit wurden außerdem verschiedene Hersteller von Begrünungssystemen kontaktiert. Ziel war es ein bisher unbegrüntes Objekt zu finden, welches innerhalb des Bearbeitungszeitraumes dieser Arbeit begrünt werden sollte. Trotz mehrmaligen Nachfragen bei den Herstellern erfolgten keine Hinweise oder es konnte kein geeignetes Objekt gefunden werden.

2. Einführung in das Thema „Lärm in der Stadt“

In diesem Kapitel werden zunächst die Grundlagen der Akustik dargestellt. Dabei werden die wichtigsten Begriffe wie Schall und Lärm vorgestellt. Außerdem werden wichtige physikalische Zusammenhänge erklärt. Anschließend werden die unterschiedlichen Lärmquellen in Ballungsräumen vorgestellt, bevor auf rechtliche Regelungen bezüglich des Themas Lärm in der Stadt eingegangen wird.

2.1 Grundlagen der Akustik

Unsere akustische Wahrnehmung von Geräuschen wird durch Luftdruck- bzw. Luftdichteänderungen, den sogenannten Schall, hervorgerufen. Dieser breitet sich vom Emissionsort wellenartig in die Umgebung aus. Schall kann dabei durch unterschiedliche Quellen, wie Musik, Maschinen oder Sprache entstehen. Meist breitet er sich in alle Richtungen aus. Solche Quellen werden daher als Kugelquellen bezeichnet. Der Schall breitet sich in sogenannten Schallwellen aus, die als räumlich und zeitlich wiederkehrende Schwankungen des Luftdrucks bzw. der Luftdichte beschrieben werden können. Die Schallwellen können dabei in unterschiedlichen Medien, wie Gasen, Flüssigkeiten oder Festkörpern auftreten. Daher wird oftmals zwischen Luftschall, Flüssigkeitsschall oder Körperschall unterschieden.²

„Sehr allgemein ausgedrückt kann Schall als die Ausbreitung von Druck- und Dichteschwankungen in einem elastischen Medium – Gase, Flüssigkeiten, Festkörper - definiert werden.“³

Jede Schallerscheinung lässt sich durch vier wesentliche Eigenschaften charakterisieren: Frequenz, Luftdruck, Dauer und Spektrum.

Die Frequenz beschreibt die Anzahl der Schwingungen bzw. Luftdruckänderungen innerhalb eines bestimmten Zeitraums. Sie wird in Herz (Hz) angegeben. Diese Maßeinheit bezieht sich auf die Schwingungen pro Sekunde. Mit steigender Frequenz wird ein Ton subjektiv höher wahrgenommen.⁴

Mit dem Schalldruck wird die Lautstärke eines Geräusches beschrieben. Je größer die Schalldruckschwankung ist, desto lauter wird ein Ton wahrgenommen. Die Lautstärke wird als Schalldruckpegel bezeichnet und wird in Dezibel (dB) angegeben. Bei der Definition der Dezibelskala wurde die Hörwahrnehmung des Menschen zu Grunde gelegt, sodass bei einem Wert von 0 dB die Hörschwelle des Menschen beginnt. Da das menschliche Gehör Töne unterschiedlicher Frequenz ungleich laut empfindet, werden diese Eigenschaften bei

² vgl. Création Baumann AG (o.J.) S. 5

³ ebd.

⁴ vgl. Schmidt (2009) S. 2

Messungen durch Filter berücksichtigt. In diesen Fällen wird von einer sogenannten A-Bewertung des Schallpegels, kurz dB(A) gesprochen.⁵

Das Spektrum eines Tons beschreibt die unterschiedlichen Frequenzen, welche innerhalb der Schallwelle auftreten können. Die Dauer eines Tones beschreibt das zeitliche Auftreten und die Ausdehnung eines Geräusches und kann mit den bekannten Maßeinheiten wie Sekunden, Minuten etc. beschrieben werden.⁶

Mit Hilfe des menschlichen Gehörs ist es uns möglich Geräusche wahrzunehmen. Der Schall bewegt sich in Form von Schallwellen durch die Luft fort und wird als physikalischer Reiz durch die Ohrmuschel des Gehörs aufgefangen.

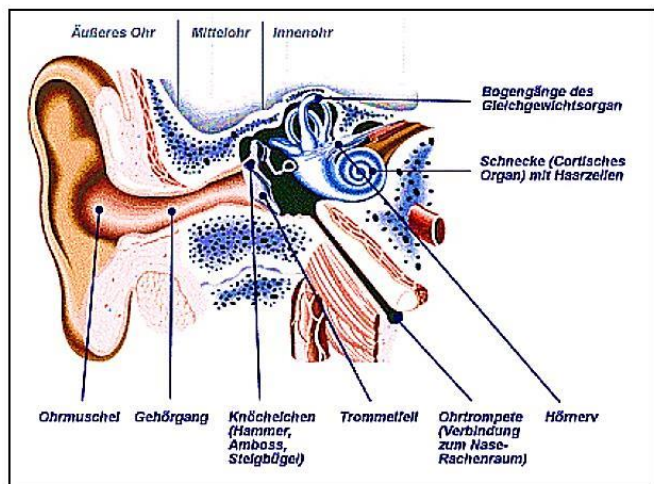


Abbildung 1: Menschliches Gehör, Feldmann, J. (2003)

Durch den Gehörgang gelangen die Schallwellen zum Trommelfell, welches in Schwingungen versetzt wird. Durch die sich im Mittelohr befindlichen Gehörknöchelchen werden die Schwingungen des Trommelfells auf das sogenannte Ovale Fenster übertragen. Dieses im Innenohr befindliche System ist mit Lympflüssigkeit gefüllt, sodass an dieser Stelle ein Wechsel des Mediums vom Luftschall zum Flüssigkeitsschall stattfindet. Zusätzlich befindet sich im Innenohr das sogenannte Cortische Organ, mit dessen Hilfe die Schallreize in Nervenimpulse umgewandelt und zum Gehirn übertragen werden. Im Gehirn findet letztlich die Interpretation des in Nervenimpulse umgewandelten Schalls statt.⁷

2.2 Grundlagen des Lärmbegriffs

Für den Begriff des Lärms gibt es keine feste Definition, da die Wahrnehmung und Empfindlichkeit von dem jeweiligen Empfänger abhängig ist. Regelwerke können mit ihren allgemeingültigen Definitionen nicht auf die individuellen Unterschiede eingehen. Die Empfindung eines Geräusches als Lärm wird durch unterschiedliche Faktoren, wie die Dauer der Lärmeinwirkung, den Zeitpunkt der Lärmeinwirkung, dem persönlichen Befinden des Empfängers oder auch der persönlichen Einstellung gegenüber der Lärmquelle beeinflusst. Laute Musik während eines Konzerts wird durch die Besucher anders wahrgenommen als durch

⁵ vgl. Création Baumann AG (o.J.) S. 6

⁶ vgl. Schmidt (2009) S. 2 ff.

⁷ vgl. Feldmann (2003) S. 32 ff.

ruhebedürftige Personen in der eigenen Wohnung, die keine Möglichkeit haben, sich der Lärmeinwirkung zu entziehen.⁸

Daraus ergeben sich verschiedene Definitionen, von denen an dieser Stelle die drei gängigsten genannt werden:

- „Lärm ist jede Art von Schall, der Menschen stört, belästigt, gesundheitlich schädigt, der ihre Leistungsfähigkeit herabsetzt, ihre Konzentrationsfähigkeit mindert, sie verunsichert.
- Lärm ist akustische Umweltverschmutzung
- Lärm ist Mangel an Stille“⁹

Trotz der subjektiven Wahrnehmung von Geräuschen, soll die untenstehende Tabelle einen Eindruck bezüglich der Wahrnehmung und Wirkung typischer Geräuscharten auf den Menschen darstellen.

| Lärmstufe | Geräuschart | Lautstärke | Geräuschempfinden |
|--|---|------------|------------------------------|
| I 30 - 65 dB(A) Psychische Reaktion | Ticken einer leisen Uhr, feiner Landregen, Flüstern | 30 dB(A) | sehr leise |
| | nahes Flüstern, ruhige Wohnstraße | 40 dB(A) | ziemlich leise |
| | Unterhaltungssprache | 50 dB(A) | Normal |
| | Unterhaltungssprache in 1 m Abstand, Bürolärm | 60 dB(A) | Normal bis laut |
| II 65 - 90 dB(A) Physiologische Reaktion | laute Unterhaltung, Rufen, Pkw in 10 m Abstand | 70 dB(A) | Laut bis sehr laut |
| | Straßenlärm bei starkem Verkehr | 80 dB(A) | sehr laut |
| III 90 - 120 dB(A) Gehörschaden, Ohr-Schmerz | laute Fabrikhalle | 90 dB(A) | sehr laut |
| | Autohupen in 7 m Abstand | 100 dB(A) | sehr laut bis unerträglich |
| | Kesselschmiede | 110 dB(A) | sehr laut bis unerträglich |
| | Flugzeugtriebwerk | 120 dB(A) | unerträglich bis schmerzhaft |
| | | 130 dB(A) | Schmerzschwelle |

Tabelle 1: Lautstärke und die zugehörige Geräuschempfindung des Menschen gegenüber typischen Geräuscharten, BMUB (o.J.)

⁸ vgl. Maute, D. (2006) S. 14

⁹ ebd. S. 14

Bei der Betrachtung der Tabelle wird deutlich, dass bereits bei geringen dB(A)-Werten psychische oder physiologische Auswirkungen für den Menschen bestehen können. Bei besonders hohen dB(A) Werten kann das Gehör bereits dauerhaft geschädigt werden. In innerstädtischen Bereichen gibt es eine Vielzahl von Lärmquellen, auf die nachfolgend eingegangen wird. Die besonderen Schutzregelungen zugunsten der Bewohner werden im Kapitel 2.4 „Lärmschutz“ näher beleuchtet.

2.3 Lärmquellen

Im Alltag nehmen wir Lärm, verursacht durch unterschiedliche Emissionsquellen, wahr. Gerade in Ballungsräumen tritt durch verdichtete Raumstrukturen und eine Vielzahl von unterschiedlichen Nutzungen eine besondere Lärmbelastung auf. In Deutschland leben 35,4 Prozent der Einwohner in dicht besiedelten Gebieten¹⁰ und 41,5 Prozent in Gebieten mit mittlerer Besiedlungsdichte.¹¹ Damit leben drei Viertel der Bevölkerung Deutschlands in Ballungsräumen und sind in besonderem Maße Lärm ausgesetzt.¹² Aus diesem Grund liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der Lärmbelastung in Ballungsräumen.

Die Lärmbelastungen in Ballungsräumen unterscheiden sich stark nach den jeweiligen Lärmquellen sowie nach Berechnungs- und Bewertungsmethoden. Daher ist es nicht verwunderlich, dass unterschiedliche Gesetzesregelungen bezüglich der Lärmquellen getroffen wurden. Maßgeblich für eine planungsrelevante Betrachtung ist der Umgebungslärm. Nach § 47b des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) wird Umgebungslärm wie folgt definiert:

„ ‚Umgebungslärm‘ [bezeichnet] belästigende oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden, einschließlich des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie Geländen für industrielle Tätigkeiten ausgeht“.¹³

Andere Lärmarten, wie Nachbarschaftslärm oder temporärer Lärm durch Baumaschinen, finden bei dieser Definition keine Berücksichtigung und haben daher keine planerische Bedeutung. Auf diese Lärmarten wird deshalb nicht weiter eingegangen. Nachfolgend wird nur der Lärm durch Verkehrsinfrastrukturen, der sich aus dem Straßenverkehrslärm, dem Schienenverkehrslärm und dem Flugverkehrslärm zusammensetzt, sowie Sport- und Freizeitlärm und Industrie- und Gewerbelärm näher betrachtet.

¹⁰ Dicht besiedelte Gebiete sind Städte oder Großstadtgebiete, in denen mindestens 50 % der Bevölkerung in hochverdichteten Clustern leben. (vgl. Statistisches Bundesamt (2015) S.29)

¹¹ Gebiete mittlerer Besiedlungsdichte sind Städte und Vororte oder Kleinstadtgebiete, in denen weniger als 50 % der Bevölkerung in ländlichen Rasterzellen und weniger als 50 % der Bevölkerung in einem hochverdichteten Cluster leben. (vgl. Statistisches Bundesamt (2015) S. 29)

¹² vgl. Statistisches Bundesamt (2015) S. 29

¹³ § 47b Satz 1 BImSchG

2.3.1 Straßenverkehrslärm

Mehr als die Hälfte der deutschen Bevölkerung fühlt sich durch Verkehrsstraßenlärm belästigt. Dies geht aus einer Umfrage des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) aus dem Jahre 2013 hervor.¹⁴ Demnach entstehen die Geräusche durch die jeweiligen Antriebsaggregate der Fahrzeuge, den Rollgeräuschen der Reifen, den Wind und durch andere Geräusche, wie Hupen. Lastkraftwagen verursachen dabei eine 20-mal höhere Belastung im Vergleich zu einem einzelnen Pkw.¹⁵ Mit einem Bestand von ca. 54,6 Mio. Kraftfahrzeugen (Stand Mai 2016) in Deutschland gegenüber ca. 52,4 Mio. Kraftfahrzeugen im Jahr 2013, steigt die Belastung auf deutschen Straßen weiter an.¹⁶

Beispielhaft soll daher an dieser Stelle die Verkehrsbelastung der Freien und Hansestadt Hamburg angeführt werden. Die nebenstehende Abbildung 2 zeigt die durchschnittliche Verkehrslärmbelastung am Tag. Diese Darstellung basiert auf einer Modellierung und nicht rein auf durchgeführten Messungen. Bei der Betrachtung wird deutlich, dass sich die Verkehrslärmbelastung

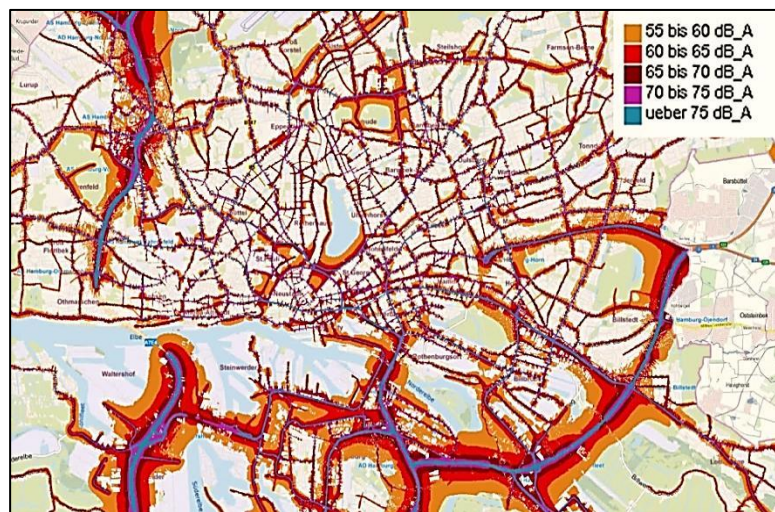


Abbildung 2: Ausschnitt aus der interaktiven Lärmkarte Hamburg, in Anlehnung an: Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung der Stadt Hamburg (o.J.)

durch das gesamte Stadtgebiet zieht und somit nahezu alle Regionen, wenn auch unterschiedlich stark, durch Straßenverkehrslärm betroffen sind. An besonders stark befahrenen Straßen können am Tag durchschnittliche Lärmbelastungen von über 75 dB (A) entstehen. In der Hansestadt sind 32.700 Menschen tagsüber dauerhaft von einem Verkehrslärmpegel von über 70 dB (A) und 369.100 Mensch einem Pegel von über 55 dB(A) ausgesetzt.¹⁷ In der gesamten Bundesrepublik sind ca. 10,2 Mio. Menschen tagsüber Pegeln von über 55 dB(A) ausgesetzt.¹⁸

¹⁴ vgl. BMUB (2013) S. 12

¹⁵ vgl. BUND (o.J.)

¹⁶ vgl. Statistisches Bundesamt (2016) S.7

¹⁷ vgl. Freie und Hansestadt Hamburg BUE (o.J.)

¹⁸ vgl. BMUB(2016)(c)

2.3.2 Schienenverkehrslärm

Eisenbahnen erzeugen ähnlich wie Kraftfahrzeuge durch das Antriebsaggregat, durch die Schienenreibung der Räder sowie durch Wind- und Hupgeräusche Schallemissionen. Dabei werden diese Emissionen vor allem durch fahrende Schienenfahrzeuge hervorgerufen. Nicht zum Schienenverkehrslärm gezählt werden dürfen die Emissionen, die auf Betriebs- oder Werkgeländen durch Schienenfahrzeuge verursacht werden. Diese zählen zu dem später betrachteten Industrie- und Gewerbelärm. Gerade in Großstädten sind durch das oftmals dichte Netz aus Straßen-, S- und U-Bahnen große Teile des Ballungsraumes vom Schienenverkehrslärm betroffen.

Eine Befragung zum Umweltbewusstsein der deutschen Bevölkerung hat ergeben, dass sich 17% der deutschen Bevölkerung durch Schienenverkehrslärm gestört fühlen.¹⁹ Abbildung 3 zeigt die Schienenverkehrslärmbelastung der Freien und Hansestadt Hamburg. Diese Grafik beruht ebenfalls auf einer Modellierung des Eisenbahnbundesamtes und der Freien und Hansestadt Hamburg. Bei der Betrachtung wird deutlich, dass auch durch Schienenfahrzeuge im nahezu gesamten Stadtgebiet

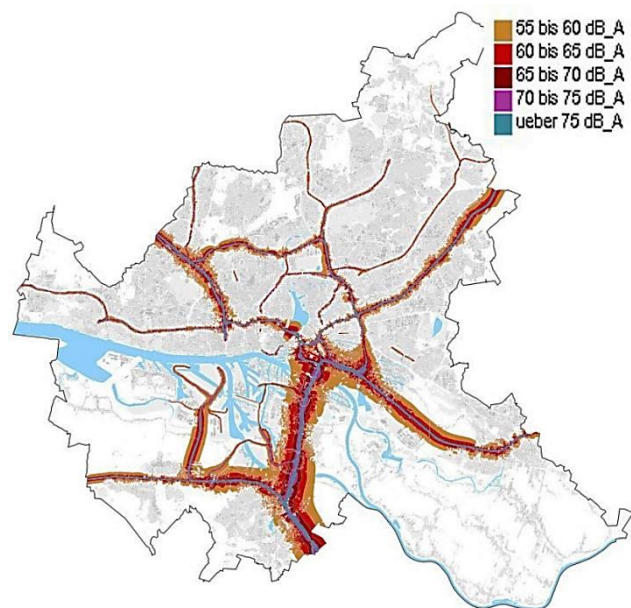


Abbildung 3: Lärmkarte Schienenverkehr Tag, in Anlehnung an: EBA; Behörde für Umwelt und Energie Hamburg (2016)

Lärmbelastungen auftreten. Gerade an den wichtigen Verkehrstrassen können

diese Belastungen besonders hoch sein und ins nähere Umfeld ausstrahlen. In Hamburg sind 11.000 Menschen tagsüber dauerhaft durch Schienenverkehrslärm einer Belastung von über 55 dB (A) ausgesetzt.²⁰ In der gesamten Bundesrepublik sind 950.000 Menschen ganztags Lärmpegeln von über 65 dB(A) und 1,9 Mio. Menschen nachts Pegeln von über 55 dB(A) durch Schienenverkehrslärm ausgesetzt.²¹

¹⁹ vgl. BMUB (2015) S. 43

²⁰ vgl. Freie und Hansestadt Hamburg BUE (o.J.)

²¹ vgl. BMUB (2016)(a)

2.3.3 Flugverkehrslärm

Fluglärm tritt vor allem geballt an den Flughäfen und deren unmittelbarer Umgebung auf. Aufgrund der großen Reishöhe von Flugzeugen sind Gebiete, die überflogen werden, nicht besonders vom Lärm betroffen. Lediglich bei den Start- und Landemanövern treten aufgrund der geringeren Höhen Lärmbelastungen auf. Anders verhält es sich bei Helikoptern, Kleinflugzeugen oder Militärflugzeugen. Flüge mit diesen Luftfahrzeugen finden oftmals auch in geringeren Höhen statt, wodurch große Lärmbelastungen entstehen. Dabei werden die Lärmemissionen sowohl bei Flugzeugen als auch bei Helikoptern durch die Triebwerke bzw. Rotorblätter bei Hubschraubern und durch die Verwirbelungen der Luft hervorgerufen. Zusätzlicher Lärm wird beim Start oder der Landung von Flugzeugen durch die Rollgeräusche der Räder erzeugt.²²

Bei Starts und Landungen von Flugzeugen auf den Flughäfen werden bestimmte Korridore genutzt. Diese Korridore sind von Fluglärm besonders betroffen und können auch Flugschneisen genannt werden. Die Abbildung 4 zeigt die Lärmkarte für den Flughafen Fuhlsbüttel in Hamburg. Da Flughäfen jedoch eher selten und keine flächendeckenden Verkehrsinfrastrukturen sind, ist die Zahl der durch Fluglärm betroffenen Personen deutlich geringer als beim Schienen- und Straßenverkehrslärm. Nach einer Umfrage des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau

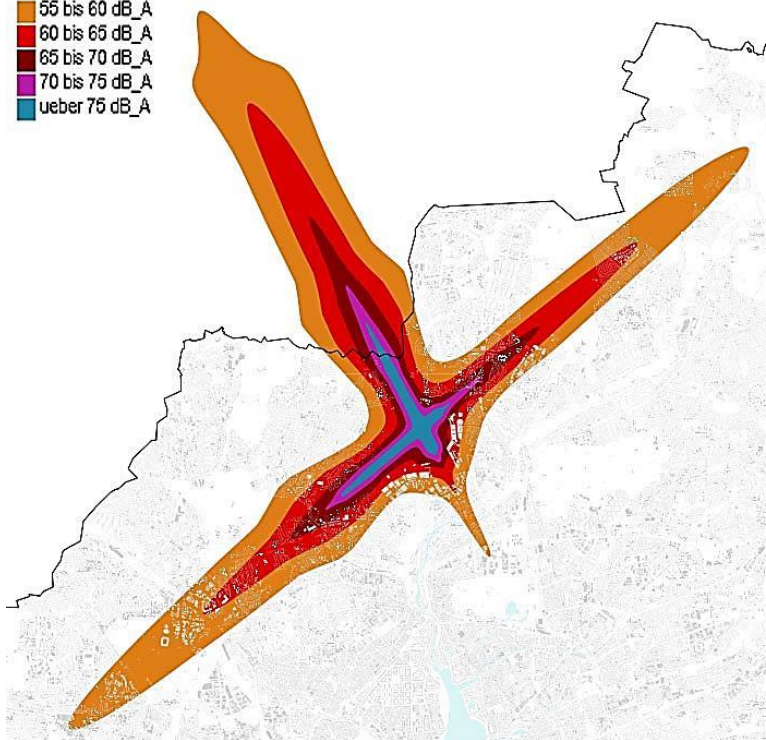


Abbildung 4: Lärmkarte Flugverkehr Tag, eigene Darstellung in Anlehnung an: Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg (2012)

und Reaktorsicherheit (BMUB) fühlt sich jeder fünfte Bundesbürger durch Fluglärm gestört.²³ In Hamburg selbst sind 49.800 Personen ganztägig Lärmbelastungen durch den Flugverkehr von über 55 dB(A) ausgesetzt.²⁴ In der gesamten Bundesrepublik betrifft dies 738.000 Menschen.²⁵

²² vgl. BMUB (2016)(b)

²³ vgl. BMUB (2015) S. 43

²⁴ vgl. Freie und Hansestadt Hamburg BUE (o.J.)

²⁵ vgl. BMUB (2016)(c)

2.3.4 Gewerbe- und Industrielärm

Unter Gewerbe- bzw. Industrielärm versteht man Lärmemissionen zahlreicher Betriebe und Anlagen im Sinne des BImSchG. Dies kann von der kleinen Schlosserei bis zum Kraftwerk reichen. Dabei ist nicht nur der entstehende Lärm bei der Produktion zu berücksichtigen, sondern auch der Verkehr auf dem Betriebsgelände.²⁶ Die Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Lärmentwicklung eines Gewerbegebiets.

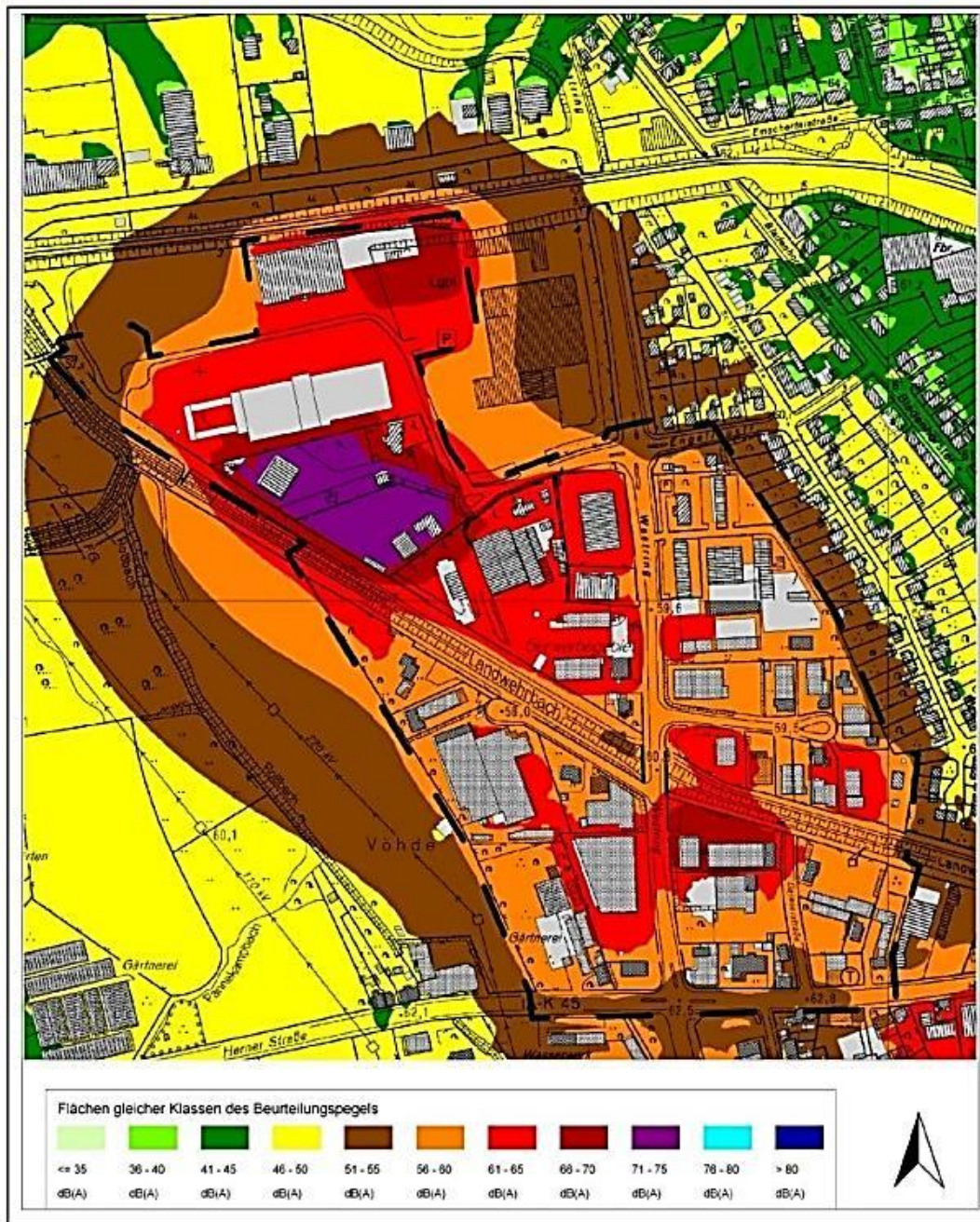


Abbildung 5: Gewerbelärm tagsüber im Bestand, in Anlehnung an: Arno Flörke Ingenieurbüro für Akustik und Umwelttechnik (2014)

²⁶ vgl. BMUB (2014)

Bei der Betrachtung dieses Beispiels fällt auf, dass sich die höchsten Pegelwerte unmittelbar auf den Betriebsgeländen ergeben. Nichtsdestotrotz strahlen diese auch in die unmittelbare Nachbarschaft aus. Gerade in Mischgebieten kann es dadurch zu vermehrten Belastungen durch Gewerbe- bzw. Industrielärm kommen. Deshalb ist es wichtig solche Anlagen vorab auf ihre Lärmverträglichkeit und damit Zulässigkeit zu prüfen. „Um die Nachbarschaft vor Lärm zu schützen, wird die Genehmigung für die Errichtung und den Betrieb einer immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlage gemäß den §§ 5 und 6 Bundes-Immissionsschutzgesetz nur erteilt, wenn u.a. schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche nicht hervorgerufen werden können.“²⁷ Nach der zuvor bereits erwähnten Umfrage zum Umweltbewusstsein der deutschen Bevölkerung vom BMUB, fühlt sich ca. ein Fünftel der Bevölkerung durch Gewerbelärm gestört.²⁸

2.3.5 Sport- und Freizeitlärm

Die unmittelbare Nähe von Wohnnutzungen und Sport- bzw. Freizeitanlagen führt vor allem in Ballungsräumen zu Konflikten durch den entstehenden Lärm. Der Lärm wird dabei durch den Menschen selbst, bei der Nutzung der Anlagen oder Ausübung unterschiedlichster Aktivitäten, hervorgerufen. Die Besonderheit bei dieser Art von Lärm ist, dass er

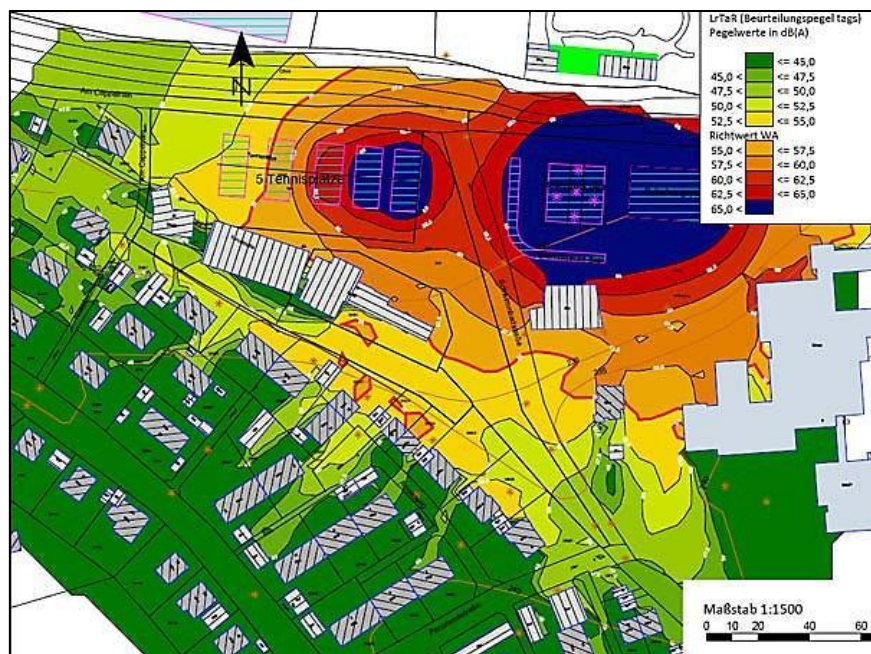


Abbildung 6: Beispiel Lärmkarte Sportanlage/Skaterpark. Zimmermann (2009)

vermehrt während ruhebedürftigen Zeiten, wie den Nachmittagsstunden, nach dem Feierabend oder an Sonn- und Feiertagen auftritt. Diese Geräuscharten sind oftmals durch impulsartige Pegeländerungen, wie beispielsweise durch das Aufprallen eines Balles oder Zuschauerreaktionen gekennzeichnet.²⁹ Abbildung 6 zeigt die Lärmkarte einer Sportanlage.

²⁷ BMUB (2014)

²⁸ vgl. BMUB(2015) S.43

²⁹ vgl. Peutz Consult GmbH (2006) S. 1

2.4 Lärmschutz

Lärm stellt für seine Umgebung einen oftmals unerwünschten Störfaktor dar, welcher gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen haben kann. Aus diesem Grund werden Maßnahmen zum Lärmschutz getroffen.

„Lärmschutz umfasst alle Maßnahmen zum Schutz vor belästigendem oder gesundheitsgefährdendem Lärm. Hierzu gehören die Verringerung des Lärms an der Quelle, die Verhinderung von Lärm(-konflikten) durch vorsorgende Planung, die Verhinderung der Ausbreitung des Lärms, und der Schutz der betroffenen durch passive Schallschutzmaßnahmen.“³⁰

Dabei gilt es schutzbedürftige Nutzungen, wie beispielsweise das Wohnen, besonders zu schützen. Nach dem Baugesetzbuch (BauGB) müssen daher bei der Aufstellung von Bebauungsplänen die allgemeinen Anforderungen für gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse beachtet werden und somit auch der Lärmschutz.³¹

Der Begriff des Lärmschutzes kann dabei in zwei Bereiche unterteilt werden: den aktiven Lärmschutz und den passiven Lärmschutz. Als aktiver Lärmschutz werden Maßnahmen bezeichnet, die unmittelbar an der Lärmquelle oder auf den Ausbreitungsweg einwirken. Hierzu zählen beispielsweise lärmmindernder Asphalt oder Lärmschutzwände. Demgegenüber bezeichnet der passive Lärmschutz Schallschutzmaßnahmen an Gebäuden, die zur Einhaltung der Grenzwerte für Innenräume beitragen sollen. Dies können Schallschutzfenster und -türen sein als auch Fassaden- und Dachdämmung.³² Die in dieser Arbeit betrachteten Arten von Gebäudebegrünungen zählen damit zu den passiven Schallschutzmaßnahmen.

Diese Maßnahmen werden auf unterschiedlichen Ebenen rechtlich gesichert und innerhalb der verschiedenen Planungsebenen angewandt. Auf Bundesebene werden rechtlich-normative Vorgaben für den Schallschutz getroffen, welche auf Länderebene konkretisiert werden und durch die unterste räumlich-administrative Verwaltungsebene, die Kommunen, umgesetzt werden. Mit zunehmender Bedeutung der supranationalen Ebene der EU finden auch immer mehr europäische Rechtsakte ihren Weg ins deutsche Recht.³³ Daher soll nachfolgend zunächst auf Regelungen der supranationalen Ebene der europäischen Union bezüglich des Themas Lärmschutz eingegangen werden, bevor die geltenden Regelungen auf Bundesebene näher vorgestellt werden.

³⁰ LÄRMKONTOR GmbH et al. (2004) S. 12.

³¹ vgl. §1 (6) Nr. 1 BauGB

³² vgl. Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg (2013)

³³ vgl. LÄRMKONTOR GmbH et al. (2004) S. 12.

2.4.1 Lärmschutz auf europäischer Ebene

Neben einer Vielzahl von unterschiedlichen Regelungen, die höchstens mittelbar in die Zuständigkeiten der Kommunen eingreifen, wurde im Jahre 1996 das Grünbuch der Europäischen Kommission zur „Künftigen Lärmschutzpolitik“ im Rahmen des 5. Umweltaktionsplanes entwickelt. Nach diesem Grünbuch sollte die Bevölkerung in Zukunft keinen Werten von über 65 dB(A) ausgesetzt sein, wobei ein Pegel von über 85 dB(A) nie auftreten soll. Außerdem wurde als Ziel formuliert, dass für Bevölkerungsteile mit einer Belastung zwischen 55 dB(A) und 65 dB(A) keine Verschlechterung eintreten darf. Ebenfalls darf keine Verstärkung für Bevölkerungsgruppen entstehen, die einem Pegel von unter 55 dB(A) ausgesetzt sind.³⁴ Grünbücher haben allerdings keine rechtlichen Wirkungen und sind eher als Empfehlungen und Diskussionsgrundlage zu verstehen.³⁵

Anders verhält es sich bei der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die "Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm" (Richtlinie 2002/49/EG), welche am 18. Juli 2002 in Kraft trat. Richtlinien sind hinsichtlich ihrer Zielformulierung und der Umsetzungsfrist verbindlich, müssen jedoch zunächst durch die Mitglieder der Europäischen Union in nationales Recht umgesetzt werden. „Mit dieser Richtlinie soll ein gemeinsames Konzept festgelegt werden, um vorzugsweise schädliche Auswirkungen einschließlich Belästigungen durch Umgebungslärm, zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder sie zu mindern(...)“.³⁶ Dieses Ziel soll durch eine Vielzahl von Maßnahmen erreicht werden, beispielsweise durch gleiche Lärmbelastungs-Kennzahlen (Lärmindizes), Berechnungsverfahren für die Immissionen sowie durch die Aufstellung von Aktionsplänen und Lärmkarten, wie sie in Kapitel 2.3 zu sehen sind. Gleichzeitig soll dabei die Öffentlichkeit informiert und beteiligt werden.³⁷ Eine weitere Richtlinie im Zusammenhang mit dem Thema Lärm ist die EU-Richtlinie „Prüfung der Umweltauswirkungen von Plänen und Programmen“ (EG-Richtlinie 2001/42/EG, Juli 2001), die im Jahre 2001 in Kraft getreten ist. Die Richtlinie fordert die Untersuchung zu erwartender Umweltauswirkungen von Plänen und Programmen. Außerdem soll eine intensivere Beteiligung der Öffentlichkeit an umweltrelevanten Planungen stattfinden. Das europaweit eingeführte Instrument der Umweltprüfung soll in allen Bauleitplanverfahren in die bestehenden Verfahrensschritte eingebunden werden. Durch die Umweltprüfung werden auch die im Zusammenhang mit einem Plan oder Programm stehenden potenziellen Lärmauswirkungen ermittelt, beschrieben und bewertet.³⁸ Die Richtlinien wurden durch verschiedenen Gesetzesänderungen und Verordnungen ins nationale Recht eingebunden. Wie der Lärmschutz auf bundesdeutscher Ebene geregelt ist, wird im nachfolgenden Kapitel erläutert.

³⁴ vgl. LÄRMKONTOR GmbH et al. (2004) S. 12.

³⁵ vgl. Deutscher Naturschutzring e.V. (o.J.)

³⁶ Art. 1 (1) RL 2002/49/EG

³⁷ vgl. LÄRMKONTOR GmbH et al. (2004) S. 12.

³⁸ vgl. ebd. S.13

2.4.2 Lärmschutz auf nationaler Ebene

Seit 1974 ist der Lärmschutz auf Bundesebene durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz geregelt. Innerhalb der letzten 25 Jahre hat Lärmschutz stark an Bedeutung auf Bundesebene gewonnen, wodurch das BImSchG mehrmals überarbeitet und durch Verordnungen und Verwaltungsvorschriften ergänzt wurde. 1990 wurde die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) verabschiedet und gleichzeitig das Bundes-Immissionsschutzgesetz durch den § 47 a zur Lärminderungsplanung erweitert. 1991 wurde die Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BImSchV) rechtskräftig. Sechs Jahre später wurden die Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes (VLärmSchR 97) und die Verkehrswege Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV) erlassen. Zusätzlich wurden durch einige Bundesländer Freizeitlärmschutzrichtlinien eingeführt. 1998 wurde eine neue Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) entwickelt und rechtskräftig. Seit Ende 2002 liegt eine neue Fassung der DIN 18005 (Schallschutz im Städtebau) vor.³⁹

Im Bereich des Lärms existieren keine einheitlichen Grenz- und Richtwerte. Ebenfalls fehlen einheitliche Ermittlungs- und Beurteilungsverfahren. Vielmehr wird je nach Lärmart bzw. Lärmverursacher unterschieden. Insofern wird der Lärm einer neuen oder geänderten Straße nach der Verkehrslärmschutzverordnung anders ermittelt und bewertet als der Lärm einer Industrieanlage nach der TA Lärm.⁴⁰ Bei den Lärmschutzwerten wird zwischen Immissionsgrenzwerten für den Verkehr, wie sie in der 16. BImSchV. festgesetzt wurden, Immissionsrichtwerten für Anlagen und den Orientierungswerten im Bereich der Planung unterschieden. In § 2 der 16. BImSchV werden konkrete Immissionsgrenzwerte für unterschiedliche Gebietstypen definiert. Da das Wohnen und sonstige schutzbedürftige Gebiete besonders vor Lärm geschützt werden sollen, werden für diese Gebiete strengere Grenzwerte festgesetzt als beispielsweise für Gewerbe- und Industriegebiete.⁴¹

Die TA Lärm ist eine Verwaltungsvorschrift aus dem Jahre 1968, die wie bereits erwähnt, 1998 überarbeitet wurde. Sie gilt für eine Bandbreite von genehmigungsbedürftigen baulichen Anlagen, wie Industrie- und Gewerbeanlagen sowie auch für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen. Anders als bei der 16. BImSchV werden in der TA Lärm keine Grenzwerte festgelegt, sondern verbindliche gebietsbezogene Immissionsrichtwerte vorgeschrieben.⁴²

³⁹ vgl. LÄRMKONTOR GmbH et al. (2004) S. 13

⁴⁰ vgl. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2016)

⁴¹ vgl. §2 16. BImSchV

⁴² vgl. TA-Lärm 1. (1998)

In der DIN 18005-1 Beiblatt 1 (Schallschutz im Städtebau) von 1987 werden schalltechnische Orientierungswerte für die städtebauliche Planung genannt. Diese Orientierungswerte können hinsichtlich der unterschiedlichen städtebaulich relevanten Lärmquellen angewendet werden. Die DIN 18005-1 Beiblatt 1 unterscheidet sich von den anderen Regelwerken, da Kerngebiete (MK) nicht den gemischt genutzten Gebieten, sondern den Gewerbegebieten gleichgestellt werden. Außerdem werden weitere Nutzungsarten, wie besondere Wohngebiete (WB), Wochenendhaus-, Ferienhaus- und Campingplatzgebiete sowie Friedhöfe, Kleingarten- und Parkanlagen berücksichtigt. Des Weiteren unterscheiden sich die Orientierungswerte der DIN 18005 von der 16. BImSchV insofern, als dass sie im Schnitt um 4 dB(A) niedriger liegen.⁴³ Nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die jeweiligen Grenz-, Richt-, bzw. Orientierungswerte, bezogen auf unterschiedliche Gebietstypen und die jeweilige Vorschriftengrundlage dieser Lärmwerte.

| Anwendungsbereich: | Verkehr | | | | Anlagen | | | | | | Planung | |
|----------------------------|---|-------|-----------------------------------|-------|---|--------------------|---|--------------------|-------------------------------------|--------------------|---|--------------------|
| Quellen: | Straßen, Schienenwege, Magnetschwebebahnen | | Straßen in der Baulast des Bundes | | Industrie- und Gewerbeanlagen | | Sportanlagen | | Freizeitanlagen | | Verkehr, Industrie, Gewerbe und Freizeit | |
| Vorschriften: | 16. BImSchV | | Lärmsanierung | | TA Lärm ¹ | | 18. BImSchV ² | | Freizeitlärmrichtlinie ² | | DIN 18005 | |
| Nutzung | Immissionsgrenzwerte | | | | Immissionsrichtwerte | | | | | | Orientierungswerte | |
| | Tag | Nacht | Tag | Nacht | Tag | Nacht ³ | Tag ⁴ | Nacht ³ | Tag ⁵ | Nacht ³ | Tag | Nacht ⁶ |
| Krankenhäuser | 57 | 47 | 67 | 57 | 45 | 35 | 45/45 | 35 | 45/45 | 35 | | |
| Schulen | 57 | 47 | 67 | 57 | Für diese Nutzungsarten gibt es keine Immissionsrichtwerte. | | | | | | Für diese Nutzungsarten gibt es keine Orientierungswerte. | |
| Altenheime | 57 | 47 | 67 | 57 | | | | | | | | |
| Kurheime | 57 | 47 | 67 | 57 | | | | | | | | |
| Kurgebiete | Für diese Nutzungsarten gibt es keine Immissionsgrenzwerte. | | | | 45 | 35 | 45/45 | 35 | 45/45 | 35 | | |
| Pflegeanstalten | Für diese Nutzungsarten gibt es keine Immissionsgrenzwerte. | | | | 45 | 35 | 45/45 | 35 | 45/45 | 35 | | |
| reine Wohngebiete | 59 | 49 | 67 | 57 | 50 | 35 | 50/45 | 35 | 50/45 | 35 | 50 | 40/35 |
| Wochenendhausgebiete | Für diese Nutzungsarten gibt es weder Immissionsgrenzwerte noch Immissionsrichtwerte. | | | | | | | | | | 50 | 40/35 |
| Ferienhausgebiete | | | | | | | | | | | 50 | 40/35 |
| Campingplatzgebiete | | | | | | | | | | | 55 | 45/40 |
| allgemeine Wohngebiete | 59 | 49 | 67 | 57 | 55 | 40 | 55/50 | 40 | 55/50 | 40 | 55 | 45/40 |
| Kleinsiedlungsgebiete | 59 | 49 | 67 | 57 | 55 | 40 | 55/50 | 40 | 55/50 | 40 | 55 | 45/40 |
| besondere Wohngebiete | Für diese Nutzungsart gibt es weder Immissionsgrenzwerte noch Immissionsrichtwerte. | | | | | | | | | | 60 | 45/40 |
| Dorfgebiete | 64 | 54 | 69 | 59 | 60 | 45 | 60/55 | 45 | 60/55 | 45 | 60 | 50/45 |
| Mischgebiete | 64 | 54 | 69 | 59 | 60 | 45 | 60/55 | 45 | 60/55 | 45 | 60 | 50/45 |
| Kerngebiete | 64 | 54 | 69 | 59 | 60 | 45 | 60/55 | 45 | 60/55 | 45 | 65 | 55/50 |
| Gewerbegebiete | 69 | 59 | 72 | 62 | 65 | 50 | 65/60 | 50 | 65/60 | 50 | 65 | 55/50 |
| Friedhöfe | | | | | | | | | | | 55 | 55 |
| Kleingartenanlagen | Für diese Nutzungsarten gibt es weder Immissionsgrenzwerte noch Immissionsrichtwerte. | | | | | | | | | | 55 | 55 |
| Parkanlagen | | | | | | | | | | | 55 | 55 |
| Sondergebiete ⁷ | | | | | | | | | | | 45-65 | 35-65 |
| Industriegebiete | Für diese Nutzungsart gibt es keine Immissionsgrenzwerte. | | | | 70 | 70 | Für diese Nutzungsart gibt es keine Immissionsrichtwerte. | | 70/70 | 70 | Für diese Nutzungsart gibt es keine Orientierungswerte. | |

¹ Besonderheiten: Immissionsrichtwerte für seltene Ereignisse, Zuschläge für Tageszeiten mit besonderer Empfindlichkeit, Kriterien für einzelne Geräuschspitzen

² Besonderheiten: Immissionsrichtwerte für seltene Ereignisse, Kriterien für einzelne Geräuschspitzen, sehr differenzierte Beurteilungszeiträume

³ lauteste (volle) Nachtstunde

⁴ außerhalb der Ruhezeiten / innerhalb der Ruhezeiten

⁵ außerhalb der Ruhezeiten / innerhalb der Ruhezeiten sowie an Sonn- und Feiertagen

⁶ bei zwei Werten gilt der zweite Wert für Industrie-, Gewerbe- und Freizeitlärm

⁷ je nach Nutzungsart

Stand: 03/2011



Abbildung 7: Übersicht über Grenz-, Richt- und Orientierungswerte im Bereich des Schutzes vor Lärm LÄRMKONTOR GmbH et- al. (2011)

Neben den bereits aufgezeigten Verordnungen gibt es weitere, die sich mit den zuvor beleuchteten Lärmarten beschäftigen. Hierbei sind die Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BImSchV), die Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24 BImSchV) sowie die Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) als beispielhaft zu nennen.⁴⁴ Außerdem gibt es wesentliche Paragraphen, die die städtebauliche Planung beeinflussen.

⁴³ vgl. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (o.J.)a

⁴⁴ vgl. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (o.J.)b

Im öffentlichen Baurecht gilt es besonders schützenswerte Nutzungen vor Lärm zu bewahren. Daher gilt nach § 50 BImSchG der Trennungsgrundsatz, um nicht verträgliche Nutzungen wie Wohnen und Industrie räumlich voneinander zu trennen und somit schädliche Umwelteinwirkungen, wie Luftverunreinigungen oder auch Lärm zu vermeiden.

„Bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen sind die für eine bestimmte Nutzung vorgesehenen Flächen einander so zuzuordnen, dass schädliche Umwelteinwirkungen(...), so weit wie möglich vermieden werden(...).“⁴⁵

Durch diese räumliche Trennung von Wohnen und anderen Nutzungen sollen vor allem bei Neuplanungen Umwelteinwirkungen wie Lärm vermieden werden. Hierdurch sind in den schützenswerten Gebieten (Wohngebiete) keine nachträglichen Schutzmaßnahmen notwendig. Allerdings stößt der Trennungsgrundsatz dort auf Grenzen, wo bereits ein Miteinander von Wohnen und Arbeiten besteht. Deshalb ist er heute ein eher veraltetes Leitbild, das in der Vergangenheit zu erhöhten Verkehrsaufkommen geführt hat und somit gleichzeitig auch zu erhöhten Belastungen der schützenswerten Gebiete.⁴⁶

Die Berücksichtigung des Lärmschutzes findet auch bei der Aufstellung von Bebauungsplänen und damit im BauGB Beachtung. Der Bebauungsplan (B-Plan) stellt dabei das Hauptinstrument der kommunalen Planung dar und ist durch das BauGB rechtlich verankert. Ein B-Plan ist aufzustellen „(...)sobald und soweit es für die städtebauliche Entwicklung und Ordnung erforderlich ist(...)“.⁴⁷ Solche Erfordernisse können Lärmprobleme im Bestand sowie auch bei Neubauvorhaben sein. Bei der Aufstellung von Bebauungs- und Flächennutzungsplänen (F-Plan) muss der zuvor erwähnte Trennungsgrundsatz nach § 50 BImSchG berücksichtigt werden.⁴⁸

Bei der Aufstellung der Bebauungspläne gilt es das Abwägungsgebot zu berücksichtigen: „Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind die öffentlichen und privaten Belange gegeneinander und untereinander gerecht abzuwägen.“⁴⁹ Im Sinne dieses Gebotes muss für jede Planung geprüft werden, inwieweit sich negative Folgen auf die Immissionssituation und damit auf die Lärmbelastung ergeben. Dabei wird aber auch gefordert, dass alle Belange untereinander abgewogen werden. Dies bedeutet für den Lärmschutz, dass der Schallschutz gegenüber anderen Belange zurückgestellt werden oder zumindest auf ein rechtlich gebotenes Minimum beschränkt werden kann, wenn dies durch andere Belange geboten erscheint.⁵⁰

⁴⁵ § 50 BImSchG

⁴⁶ vgl. Schmidt (1992) S. 51ff.

⁴⁷ §1 (3) BauGB

⁴⁸ vgl. LÄRMKONTOR GmbH et al. (2004) S. 23

⁴⁹ §1 (7) BauGB

⁵⁰ vgl. LÄRMKONTOR GmbH et al. (2004) S. 23

Mit der Möglichkeit Festsetzungen innerhalb eines Bebauungsplanes zu treffen (§ 9 Abs. 1 BauGB), stellt dieser aber auch gleichzeitig ein wesentliches Instrument zur Lärmvermeidung und Minderung dar. Die wichtigsten Festsetzungsmöglichkeiten aus Sicht des Lärmschutzes finden sich in § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB. Danach können festgesetzt werden:

1. „die von der Bebauung freizuhaltenden Schutzflächen und ihre Nutzungen“ (Abstandflächen zum Auseinanderrücken von Wohnen und Schall emittierenden Nutzungen),
2. „Flächen für besondere Anlagen und Vorkehrungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen im Sinne des BImSchG“ (zum Beispiel Lärmschutzwälle - wände)
3. „sowie die zum Schutz vor solchen Einwirkungen oder zur Vermeidung oder Minderung solcher Einwirkungen zu treffenden baulichen und sonstigen technischen Vorkehrungen“ (zum Beispiel Lärmschutzfenster, Orientierungen von gegen Lärm unempfindlichen Räumen zur Straße).⁵¹

In diesem Sinne können auch Gebäudebegrünungen innerhalb eines B-Plans festgesetzt werden. Über die Festsetzungen von Art und Maß der baulichen Nutzung, welche innerhalb der Baunutzungsverordnung (BauNVO) geregelt sind, können zusätzliche Konflikte vermieden werden. Außerdem bestimmt der § 15 Abs 1 BauNVO, dass „(...)bauliche und sonstige Anlagen im Einzelfall unzulässig [sind], wenn sie nach Anzahl, Lage, Umfang oder Zweckbestimmung der Eigenart des Baugebiets widersprechen. Sie sind auch unzulässig, wenn von ihnen Belästigungen oder Störungen ausgehen können, die nach der Eigenart des Baugebiets im Baugebiet selbst oder in dessen Umgebung unzumutbar sind, oder wenn sie solchen Belästigungen oder Störungen ausgesetzt werden.“⁵² Dabei macht die BauNVO keine Aussagen über das Maß der Belästigung, sondern verweist lediglich auf das Bundes-Immissionsschutzgesetz und die jeweils erlassenen Verordnungen.⁵³

Mit dem "Gesetz zur Umsetzung der EG-Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm" aus dem Jahr 2005 wurde die EG-Umgebungslärmrichtlinie in deutsches Recht eingeführt und das Bundes- Immissionsschutzgesetz hinsichtlich der Ziele der Richtlinie (siehe Kapitel 2.4.1 Lärmschutz auf europäischer Ebene) angepasst. Dabei wurde der § 47a des alten Bundes-Immissionsschutzgesetzes durch die §§ 47a - f ersetzt.⁵⁴

⁵¹ LÄRMKONTOR GmbH et al. (2004) S. 23 f.

⁵² § 15 (1) BauNVO

⁵³ vgl. § 15 (3) BauNVO

⁵⁴ vgl. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (o.J.)

3. Pflanzen als Lärmschutz

In diesem Kapitel soll zunächst eine Darstellung des Forschungsstandes hinsichtlich verschiedener Einsatzmöglichkeiten von Pflanzen als potentielle Lärminderungsmaßnahmen erfolgen. Anschließend werden die anerkannten Lärminderungseigenschaften von Vegetationen vorgestellt. Da sich diese Arbeit hauptsächlich mit dem Thema der Gebäudebegrünung auseinandersetzt, soll an dieser Stelle auf den Stand der Forschung hinsichtlich dieser Formen besonders eingegangen werden. Nichtsdestotrotz wird ein kurzer Überblick über weitere Einsatzmöglichkeiten von Pflanzen und deren Lärminderungspotential im innerstädtischen Raum gegeben.

3.1 Stand der Forschung

Die Bedeutung des Lärmschutzes ist in den vergangenen Jahren stark gestiegen. Nicht erst die Einführung der EU – Umgebungslärmrichtlinie hat zum Bedeutungsgewinn der Thematik der Lärmbekämpfung beigetragen. Die Akustik von Vegetationen ist seit geraumer Zeit immer wieder untersucht worden. C. F. Eyring hat bereits durch Messungen im Dschungel Panamas die Hörbarkeit und die Ortung von Signalen in den 40er Jahren untersucht.⁵⁵ Weitere Studien wurden beispielsweise durch D. Aylor unter anderem an Mais und Schilf durchgeführt. Aylor kommt in seinen Studien zu dem Schluss, dass die wesentlichen Einflussfaktoren für die Schalldämpfung von Vegetation, der Bodeneffekt sowie die Schallstreuung des Bewuchses sind.⁵⁶ Diese Effekte werden im nachfolgenden Kapitel näher erläutert. Untersuchungen bezüglich der Reduktion von Verkehrsgeräuschen durch Pflanzen wurden beispielsweise durch J. Kragh Ende der 70er, Anfang der 80er Jahre durchgeführt. Dabei untersuchte er natürliche Vegetationsstreifen von unterschiedlichen Breiten. Er kam zu dem Schluss, dass es kaum messbare Lärminderungseffekte gibt. Lediglich ab einer Frequenz von über 2 kHz kommt es zu einer Dämpfung durch die Vegetation. Bei diesen Studien durch Kragh fand auch eine Befragung von Testpersonen statt. Dabei wurde die verringerte Störwirkung des Straßenverkehrslärms psychologischen Faktoren, durch beispielsweise den vorhandenen Sichtschutz, zugeordnet. Bei der Messung von vorbeifahrenden Schienenfahrzeugen, stellte er bei breiten durchmischten Vegetationen von 25 bis 50m eine Schalldämpfung von bis zu 9 dB fest⁵⁷

⁵⁵ vgl. Späh et. al. (2011) S. 8; Eyring (1946)

⁵⁶ vgl. Späh et. al. (2011) S. 8; Aylor (1972)

⁵⁷ vgl. Späh et. al. (2011) S.8; Kragh (1979); Kragh (1981)

In der Mitte der 80er Jahre haben die Forscher Harris und Cohn die Wirkung von relativ schmalen Vegetationsstreifen entlang von Highways untersucht. Bei dieser Untersuchung stellten sie eine Reduktion des Straßenverkehrslärms um 2 - 3 dB(A) fest.⁵⁸

In dem Bericht von Huddard, L. „The use of the vegetation for traffic noise screening“ aus dem Jahre 1990, fasst der Autor die bisher durchgeführten Studien zusammen und vergleicht die Ergebnisse mit einer eigenen Feldstudie. Hierbei kam er zu der Schlussfolgerung, dass die Bepflanzung vor allem bei höheren Frequenzen jenseits der 2000 Hz eine lärmmindernde Wirkung entfalten kann. In niedrigen Frequenzbereichen ist der Bodeneffekt der entscheidende Faktor des Lärminderungspotentials, welcher durch die Vegetation, z.B. durch Durchwurzelung, verstärkt werden kann. Huddard kommt zu dem Schluss, dass die Effektivität der Lärminderung durch Vegetation am größten ist, je näher sie sich an der Quelle des Lärms befindet. Damit verweist er darauf, dass auch schmalere Vegetationsstreifen in Quellnähe zur Lärminderung beitragen können.⁵⁹

Außerdem weist Huddard in diesem Bericht darauf hin, „dass die Effizienz von Schallschutzwänden durch die Reduktion der wahrgenommenen Schallpegel und der Störung beurteilt werden sollte, und nicht durch die reine Reduktion der Geräuschpegel.“⁶⁰ Hierdurch wird auf einen großen psychologischen Einfluss bei der Beurteilung von Begrünungen als Schallschutzmaßnahmen hingewiesen, da auch kleinere Maßnahmen einen positiven Effekt auf die Lärmwahrnehmung und damit auf den Grad der Belästigung haben können.⁶¹

Beispielhaft für diesen Effekt sei die Untersuchung „Perception of noise transmitted through barriers“ von Aylor und Lawrence aus dem Jahre 1976 genannt. Bei dieser Untersuchung wurde Probanden nach ihrer Lärmwahrnehmung bezüglich einer Lärmquelle gefragt, die durch eine Barriere abgeschwächt wurde. Bei diesem Versuch wurden den Probanden zuerst die Augen verbunden, sodass die Barriere nicht wahrnehmbar war. Anschließend fand eine Beurteilung der Lärmquelle bei gleicher Lautstärke mit sichtbarer Barriere statt. Die Probanden beurteilten den Lärmpegel mit sichtbarer Barriere deutlich geringer gegenüber dem Versuch mit verbundenen Augen.⁶²

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von weiteren Untersuchungen, wie beispielsweise die von G. Beck, in der er unterschiedliche Vegetationsarten und Mischgruppierungen auf ihre Lärminderungswirkung untersuchte.⁶³

⁵⁸ vgl. Späh et. al. (2011) S. 8; Harris u. Cohn (1985)

⁵⁹ vgl. Huddard (1990)

⁶⁰ Späh et. al. (2011) S. 8

⁶¹ vgl. ebd.

⁶² vgl. Aylor u. Lawrence (1976)

⁶³ vgl. Beck (1982)

Abschließend sei hier auf die Untersuchung des Fraunhofer Instituts für Bauphysik in Stuttgart aus dem Jahre 2011 verwiesen. Bei dieser Untersuchung wurden typische, in unseren Breiten vorkommende Heckenarten hinsichtlich ihrer Schalldämmung untersucht. Dabei stand die Frage im Vordergrund, wie hoch die Reduktion des A-bewerteten Summenschallpegels von Verkehrslärm durch die unterschiedlichen Heckenarten ausfällt, um Schlussfolgerungen für deren Eignung als Lärmschutzmaßnahmen treffen zu können.⁶⁴ Als Lärmquelle wurde dabei das standardisierte Verkehrslärmspektrum aus der DIN EN 1793-3 „Lärmschutzeinrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften“ verwendet.⁶⁵

Zunächst wurden bei dieser Studie Referenzmessungen im Labor mit den verschiedenen Heckentypen durchgeführt, um diese später mit den Messungen im Freien vergleichen zu können. Dabei wurden kaum Unterschiede zwischen den Labormessungen und den Messungen im Freien festgestellt. Die Untersuchung zeigt, dass die Hecken nicht für die Schalldämmung des Verkehrslärmspektrums geeignet sind, da eine Schalldämmung erst ab 2000 Hz eintritt. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Messungen.

| | Standardisiertes Verkehrslärmspektrum | Hainbuchenhecke | Buchsbaumhecke | Efeuhecke | Lorbeerhecke |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------|-----------|--------------|
| Linearpegel in dB | 65,2 | 65,0 | 66,6 | 64,9 | 65,3 |
| A-bewerteter Pegel in dB(A) | 60,2 | 60,0 | 61,5 | 59,5 | 59,4 |
| Veränderung A-Pegel in dB | - | 0,2 | -1,3 | 0,7 | 0,8 |

Tabelle 2: Einzahlpegel des Linearpegels und des A-bewerteten Summenpegels des standardisierten Verkehrslärmspektrums sowie das Verkehrslärmspektrum minus der gemessenen Einfügungsdämmung für die Hecken im Freien, Späh, M. et. al. (2011)

⁶⁴ vgl. Späh et. al. (2011) S. 7

⁶⁵ vgl. ebd. S.14

Diese Ergebnisse zeigen, dass bei der Lorbeerhecke eine Reduktion von maximal 0,8 dB auftritt. Bei der betrachteten Buchsbaumhecke ist die Minderung negativ, da es im mittleren Frequenzbereich zu Pegelüberhöhungen kommt und dies damit zur Erhöhung des A-bewerteten Summenpegels führt. Gerade in den mittleren Frequenzbereichen wäre eine Dämmwirkung notwendig, um eine größere Reduktion des Summenpegels zu erreichen.⁶⁶ Nichtsdestotrotz erzielen die untersuchten Vegetationsformen eine deutliche Reduzierung in den hohen Frequenzanteilen des Lärmspektrums, wodurch eine Veränderung des Geräuschkennzeichens erzielt wird. Abschließend wurden bei dieser Studie die gemessenen Werte mit Hilfe eines Rechenmodells mit den modellierten Werten verglichen. Dabei können im Modell unterschiedliche Eingangsparameter für die Beschaffenheit der Hecke, wie beispielsweise Heckendicke, Blattbestand oder Blattradius festgelegt werden. Insgesamt zeigt sich eine gute Übereinstimmung des Rechenmodells mit der durchgeführten Messung. Anhand einer Parameterstudie, mit Hilfe des Rechenmodells, konnte anschließend untersucht werden, welche Anpassungen bei einer Hecke notwendig sind, um in tieferen Frequenzbereichen eine Dämmwirkung erzielen zu können.⁶⁷ Dabei kommt die Studie zu folgenden Aussagen:

- Die Dämmwirkung wird vor allem durch die Belaubung erzielt. Die Dämmwirkung von Ästen und Zweigen setzt erst im hohen Frequenzbereich ein und kann daher vernachlässigt werden.
- Die Dämmwirkung steigt nach dem Einsetzen mit zunehmender Frequenz an.
- Die Größe der Blätter ist entscheidend für den Zeitpunkt des Einsetzens der Dämmwirkung. Bei großen Blättern beginnt die Dämmwirkung in tieferen Frequenzbereichen, kann jedoch bei realistischer Annahme erst bei 1000 Hz einsetzen.
- Mit einer größeren Belaubungsdichte ist eine größere Dämmwirkung im Bereich der hohen Frequenzen zu erzielen.
- Mit zunehmender Dicke der Hecke steigt die Dämmwirkung. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Bewuchsdichte innerhalb der gesamten Hecke gleich bleibt, was in der Praxis oftmals nicht gegeben ist.⁶⁸

Insgesamt zeigt das Rechenmodell, dass sich mit Hecken, die große Blätter, eine dichte Belaubung und ausreichende Breite besitzen, durchaus der A-bewertete Summenpegel innerhalb des Verkehrslärmspektrums um mehrere Dezibel verringern lässt. So konnte in dieser Studie für eine modellierte Hecke unter Annahme durchaus realistischer Parameter eine Reduktion von 5,8 dB(A) erreicht werden.⁶⁹

⁶⁶ vgl. Späh et. al. (2011) S. 67

⁶⁷ vgl. ebd. S. 69 ff.

⁶⁸ vgl. ebd. S. 88 f.

⁶⁹ vgl. ebd. S.89

3.2 Lärminderungseigenschaften von Vegetationen

Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Studien wurde deutlich, dass lärmindernde Wirkungen der Vegetationsformen durch den Bodeneffekt, die Absorption sowie die Reflexions- und Streueigenschaften bestimmt sind. Um diese Effekte verstehen und einordnen zu können, sollen diese hier genauer erläutert werden.

Absorption

Bei der Absorption wird dem Schall Energie entzogen und in Wärme umgewandelt. Diese Umwandlung kann durch verschiedene Effekte, wie den Bodeneffekt, die Luft oder auch Bewuchs entstehen. Dabei wird durch den sogenannten Schallabsorptionsgrad α die Eigenschaft eines Materials angegeben, den auftretenden Schall in andere Energieformen umzuwandeln. Ist $\alpha=1$, so findet eine vollständig Absorption statt. Dementsprechend findet bei einem Wert von $\alpha=0$ eine vollständige Reflexion statt und das Material besitzt keine Absorptionswirkung.⁷⁰ Die Schallenergie wird dabei durch Teilchenschwingungen innerhalb der Blätter von Vegetationen absorbiert und umgewandelt. Untersuchungen zeigen jedoch, dass diese Teilchenschwingungen unter 1.000 Hz sehr gering sind und daher nur wenig Effekte auftreten. Erst ab einer Frequenz von über 1.000 Hz treten höhere Schwingungen auf, welche den Absorptionseffekt verstärken.⁷¹

Bodeneffekt

„Der Bodeneffekt entsteht durch Interferenz der vom (harten) Boden reflektierten Schallstrahlen mit den direkten Schallstrahlen zwischen Emissions- und Immissionsort.“⁷² Die Dämpfung durch den Bodeneffekt ist dabei stark von lokalen Einflüssen bestimmt. Für die Bestimmung des sogenannten Bodendämpfungsmaßes (A_{gr}) ist daher die Bodenbeschaffenheit sowohl am Emissionsort als auch am Immissionsort von entscheidender Bedeutung.⁷³ Vegetationen nehmen dabei durch Wurzeln oder Laubwurf maßgeblich Einfluss auf die Bodenstruktur. Bei größeren Entfernungen und einer Schallausbreitung in niedrigen Höhen kann so für einen weichen Boden eine Dämpfung von 4,8 dB erreicht werden. Bei kurzen Distanzen und einer größeren Höhe verringert sich der Effekt und strebt gegen Null.⁷⁴

⁷⁰ vgl. Maute (2006) S.99 ff.; Création Baumann AG (o.J.) S. 14 ff.

⁷¹ vgl. Yang (2013) S. 11 ff.

⁷² Maute (2006) S. 100

⁷³ vgl. ebd.

⁷⁴ vgl. ebd.

Reflexion und Streuung

Bei der Reflexion treffen die Schallstrahlen auf ein Hindernis und werden von diesem abgelenkt und gestreut. An nicht glatten Oberflächen treten diffuse Reflexionen auf, die auch als Streuung bezeichnet werden. Durch eine mehrfache Reflexion der Schallstrahlen wird der Schallweg verlängert und es kommt zu mehrfachen Absorptionseffekten.⁷⁵ Der Schall wird von allen Teilen der Vegetation reflektiert und gestreut. Der auftretende Effekt ist dabei Frequenzabhängig.⁷⁶

3.3 Lärmschutzpotential von Gebäudebegrünung

Nachdem unterschiedliche Effekte von Vegetationen und deren Potential für die Schalldämmung vorgestellt wurden, soll nun genauer auf die Potentiale von Pflanzen als Lärmschutzmaßnahmen in der Gebäudebegrünung eingegangen werden. Ein wesentlicher Unterschied zu den meisten zuvor vorgestellten Untersuchungen besteht darin, dass bei der Gebäudebegrünung die Nähe zwischen Emissions- und Immissionsort eine andere ist als bei Untersuchungen im freien Feld. Groß ausgeprägte Vegetationstreifen oder Wälle entlang von Straßenzügen sind in städtischen Räumen nur schwer umsetzbar. Die Möglichkeiten der Gebäudebegrünung beschränken sich daher auf begrünte Fassaden oder Gründächer. Welches Potential aber auch diese vergleichsweise kleinen Maßnahmen haben können, sollen die nachfolgend vorgestellten Ergebnisse unterschiedlicher Studien aufzeigen. Prinzipiell ist festzustellen, dass es sehr wenige Messungen in städtischen Räumen gibt. Das liegt daran, dass bei den Messungen von akustischen Deskriptoren, bezogen auf den Einfluss von Vegetationen auf den Schall, ruhige Bedingungen herrschen müssen und Hintergrundgeräusche vermieden werden sollen. In innerstädtischen Räumen treten aber oftmals eine Vielzahl von unterschiedlichen Lärmquellen auf, die man in der Praxis nur schwer alle beseitigen kann. Deshalb werden solche Untersuchungen oftmals mit Hilfe von Computersimulationen durchgeführt. Für diese Simulationen ist es allerdings notwendig Daten zu sammeln, was teilweise durch die zuvor beschriebenen Studien geschehen ist. Abschließend sollen neben den Möglichkeiten der Gebäudebegrünung noch weitere Einsatzmöglichkeiten von Pflanzen für den Schallschutz im innerstädtischen Raum aufgezeigt werden.

⁷⁵ vgl. Maute (2006) S. 23 f.

⁷⁶ vgl. ebd. S.101

3.3.1 Lärmschutzpotential von Fassadenbegrünungen

Fassadenbegrünungen lassen sich prinzipiell in zwei Gruppen unterteilen: die grünen Fassaden und die grünen Wände. Die häufigsten grünen Fassadensysteme sind das modulare Gitterpanel sowie die Kabel-, Draht- und Seilnetzsysteme, während die Verwendung von Pflanzkassetten oder das Baukastensystem mit Substratböden häufig in Wohnwandsystemen gefunden werden können. Auf die Unterschiede dieser verschiedenen Typen soll in einem späteren Kapitel eingegangen werden.

In innerstädtischen Räumen stellen Fassaden eine große Fläche dar, die unterschiedlichen Lärmquellen ausgesetzt ist. Damit sind die schallmindernden Eigenschaften von Fassaden ein wesentliches Element zur Wahrnehmung der städtischen Akustik. Hornikx und Forssen haben bei ihren Untersuchungen feststellen können, dass die Schalldämpfung in Straßenschluchten und Innenhöfen durch einen höheren Absorptionsgrad und der Fassadengröße positiv beeinflusst werden kann.⁷⁷

Das Projekt der Europäischen Union "HOSANNA – Holistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combination of Natural and Artificial means" beschäftigt sich im besonderen Maße mit der Lärmreduktion durch Pflanzen. In dieser Studie kommen die Forscher zu dem Ergebnis, dass die Fassadenbegrünung vor allem in den mittleren und hohen Frequenzen zu einer Schallabsorption und damit einer Pegelminderung beitragen kann. Zur Veranschaulichung des Effektes der Vegetation wurde eine Berechnung für einen Straßenzug mit jeweils 19m hohen Fassaden durchgeführt. Dabei wurde vorerst angenommen, dass die Fassaden der Gebäude keinen Bewuchs aufweisen und nur eine geringe Absorption durch das Mauerwerk stattfindet. Anschließend fand eine Simulation mit begrünten Fassaden unter Berücksichtigung des Bodeneffekts und der Absorptionsfähigkeit der Vegetation statt. Hierbei wurde eine straßenseitige Geräuschreduzierung von 2-3 dB (A) in einer Höhe von 1,5m bis 4m erzielt. Bei einer Teilbegrünung der Fassaden im unteren Bereich konnte eine Reduzierung um 2 dB(A) erreicht werden, wohingegen eine Begrünung des oberen Bereiches der Fassaden zu einer Reduzierung von 1 dB(A) führt. Das Lärminderungspotential von begrünten Fassaden wirkt dabei in schmalen Straßen und bei größerer Entfernung zwischen der Lärmquelle und dem Empfänger stärker.⁷⁸

Doch nicht nur die Lärminderung zur Straße und damit zur Hauptlärmquelle spielt eine wichtige Rolle, sondern auch die Reduzierung des Lärms an den Rückseiten und Innenhöfen der Gebäude. Begrünte Fassaden in Innenhöfen wirken auf alle Quellen, sowohl außerhalb des Innenhofes als auch auf Quellen innerhalb des Hofes. Beim Vergleich eines Innenhofes

⁷⁷ vgl. Hornikx et. al. (2012) S. 8 ; Hornikx/Forssen (2007)

⁷⁸ vgl. HOSANNA (o.J.) S. 29

mit vollständig begrünten Fassaden gegenüber unbegrünten Fassaden mit einem geringen Absorptionsgrad, konnte eine Pegelreduzierung von 4 dB(A) innerhalb des Innenhofes festgestellt werden. Bei offenen Höfen an vielbefahrenen Straßen kann der Schallpegel innerhalb des Hofes um bis zu 15 dB (A) erhöht sein gegenüber geschlossenen Höfen. Nichtsdestotrotz zeigen Messungen, dass auch hier eine Minderung von 4 dB (A) durch Fassadenbegrünung erreicht werden kann.⁷⁹

Der Forscher Nyuk Hien Wong untersuchte im Jahre 2009 unterschiedliche Typen von Grünwänden hinsichtlich ihres Lärminderungspotentials. Dabei stellte er große Unterschiede zwischen den verschiedenen Systemen fest. Im unteren Frequenzbereich (125 bis 1250 Hz) schwankten die Ergebnisse der Pegelminderungen zwischen 2,2 dB und 9,9 dB, im hohen Frequenzbereich (4 bis 10 kHz) zwischen 2,0 und 8,8 dB. Diese Unterschiede führte er auf die unterschiedliche Beschaffenheit der verschiedenen Systeme zurück.⁸⁰ Bei den in dieser Untersuchung eingesetzten Systemen hat beispielsweise das unterschiedliche Substrat, das den Pflanzen als Nährboden dient, verschiedene Dämpfungseigenschaften. Hierdurch lassen sich die teilweise großen Unterschiede erklären.

Weiterhin hat Wong den Absorptionsgrad eines Begrünungssystems mit derselben Pflanze nach Bedeckungsgrad und Frequenz untersucht. Das Ergebnis ist in Abbildung 8 dargestellt.

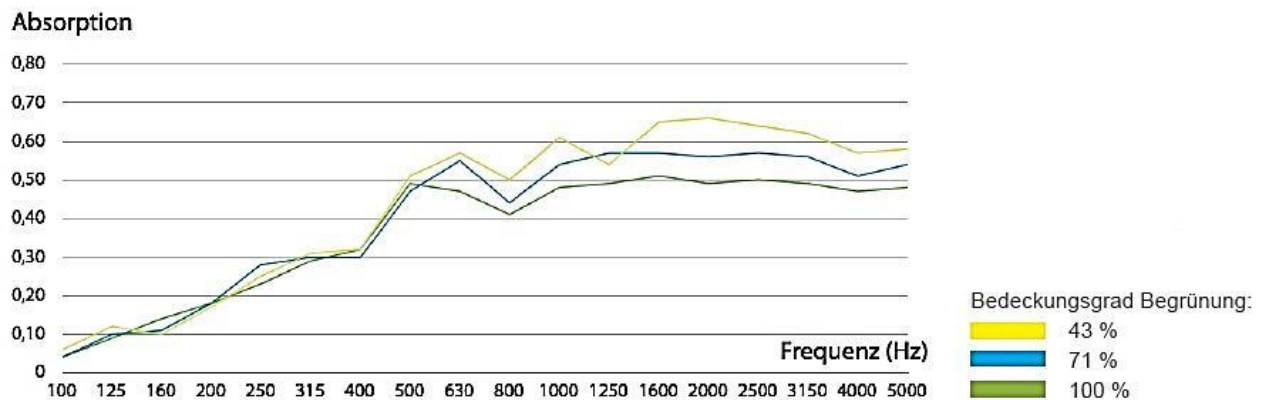


Abbildung 8: Fassadenbegrünung - Absorptionsgrade nach Frequenz und Bedeckungsgrad der Begrünung, Pfoser, N. et. al (2013)

Dabei ist festzustellen, dass es im tiefen Frequenzbereich bis ca. 700 Hz kaum nennenswerte Unterschiede aufgrund des Bedeckungsgrades der Begrünung gibt. Allerdings steigt der Absorptionsgrad mit steigender Frequenz an. Verglichen mit anderen Materialien weist das untersuchte Begrünungssystem einen der höchsten Absorptionsgrade auf.⁸¹

⁷⁹ vgl. HOSANNA (o.J.) S. 29

⁸⁰ vgl. Wong/Tan (2010) S. 418

⁸¹ vgl ebd. S. 419

3.3.2 Lärmschutzpotential von Dachbegrünungen

Dachbegrünungen lassen sich in zwei Arten unterteilen: Zum einen in Extensive Dachbegrünungen und zum anderen in Intensive Dachbegrünungen. Diese Arten unterscheiden sich in einer Vielzahl von Merkmalen (siehe Kapitel 4.4 und 4.5) und weisen verschiedene Lärmreduzierungs-potentiale je nach Ausgestaltung auf. Ein normales Dach erreicht eine Lärmreduzierung von ca. 33 dB, bezogen auf das Innere des Dachgeschosses gegenüber der ungeminderten Lärmeinwirkung von außen. Demgegenüber erreicht ein Gründach, bei dem die Dicke der Vegetation-, Substrat- und Drainageschicht nicht angegeben ist, im trockenen Zustand einer Lärmreduzierung von ca. 41 dB und bei feuchten Zustand 51 dB. Damit ergibt sich, verglichen mit einem herkömmlichen unbegrüntem Dach, eine Reduzierung von 8dB oder mehr.⁸² Lagström konnte bei seinen Untersuchungen 2004 einen Unterschied von 5 bis

20 dB je nach Frequenzspektrum zwischen begrünten und unbegrüntem Dächern feststellen (siehe Abbildung 9). Die Unterschiede in den Frequenzbereichen führt er auf die Absorptionseigenschaft verschiedener Materialien des Dachbegrünungssystems zurück.⁸³

Zu ähnlichen Ergebnissen bezüglich der Abhängigkeit der Schallminderung von unterschiedlichen Materialien kommen auch Connelly und Hodgson bei ihren Untersuchungen aus dem Jahr 2015. Dabei wurden 17 ver-

schiedene Dachbegrünungssysteme mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie Substratdicke, Substratmaterial und Bewuchsdichte, hinsichtlich ihres Absorptionsgrades untersucht. Dabei stellten sie eine Bandbreite des Absorptionsgrades von 0.2 bis 0.63 fest.⁸⁴ Gründächer leisten aber nicht nur unmittelbar Lärmreduzierung für die Dachgeschosse, sondern sie können erheblich zur Lärmreduzierung an lärmabgewandten Seiten und Innenhöfen beitragen. Wie hoch der Schallpegel ist, der sich in Häuserschluchten und Innenhöfen über die Dächer ausbreitet, hängt dabei von Gebäudegrößen, Gebäudetiefen und Dachformen ab. Schrägdächer haben in der Regel eine höhere lärmreduzierende Wirkung als Flachdächer. Dieser Effekt

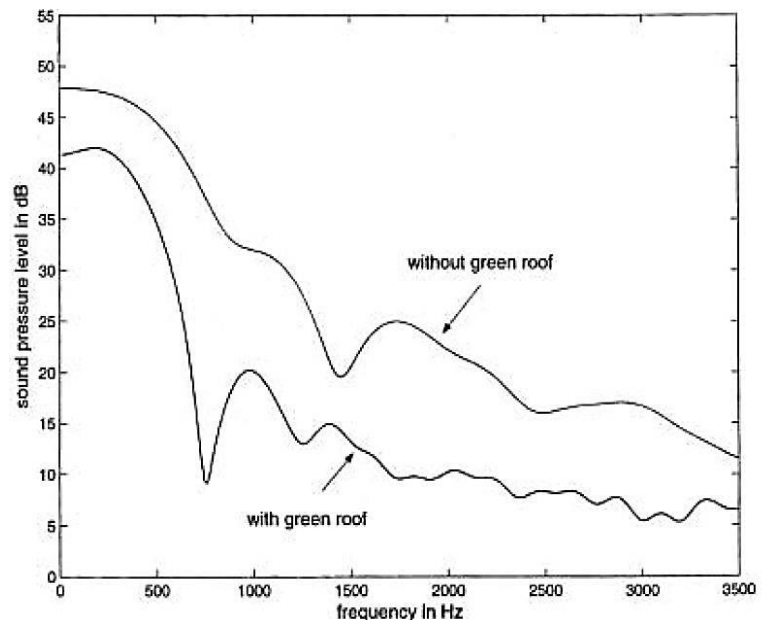


Abbildung 9: comparison between transfer functions, whole impulse response, Lagström, J. (2004)

⁸² vgl. Lagström (2004) S.16

⁸³ vgl. ebd. S. 30

⁸⁴ vgl. Coelly/Hodgson (2015)

wird auf den größeren Bereich der Wechselwirkung der Schallwellen mit dem Schrägdach im Vergleich zu einem Flachdach zurückgeführt.⁸⁵

Untersuchungen des HOSANNA Projektes zeigen, dass begrünte Schrägdächer mit einer Substratschicht von 10 cm, um einen Innenhof herum angeordnet, zu einer Lärminderung von 8 dB(A) bezogen auf den Lärmpegel des Innenhofes führen können. Demgegenüber führen begrünte Flachdächer bei gleicher Situation nur zu einer Pegelminderung von 2 dB(A).⁸⁶ Abbildung 10 zeigt die Lärminderung im Vergleich zwischen begrünten und unbegrünten Schrägdächern in Abhängigkeit von der Frequenz. Weiterhin kann durch die Installation von Vegetationsbarrieren entlang der Dachkanten eine Lärminderung bezogen auf den Lärmpegel des Innenhofes erreicht werden. Nach Simulationen der Forscher des HOSANNA Projektes kann bei einer einseitigen Installation einer 60 cm hohen Barriere entlang der Dachkante eine Reduzierung des Lärmpegels um 1 dB (A) erreicht werden.

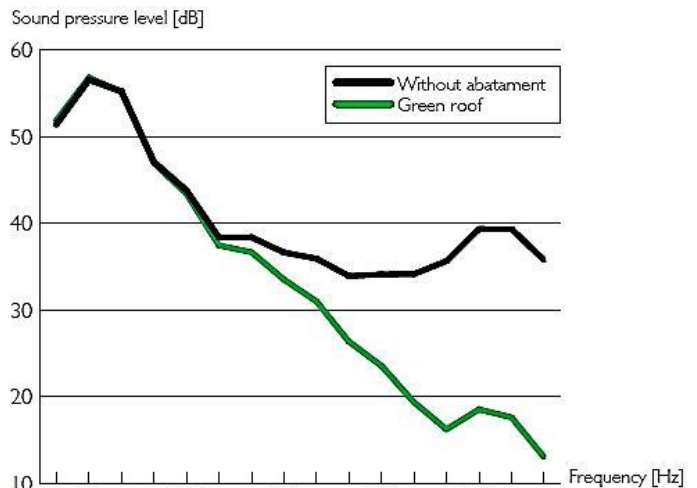


Abbildung 10: Sound-pressure-level spectra at courtyard with and without vegetation on angled roofs. For a two-lane urban road (5% heavy and 95% light vehicles, travelling at 50 km/h) averaged over receiver position in courtyard. Redicted insertion loss of vegetated roof. 8 dB (A), HOSANNA (o.J)

Bei einer beidseitigen Installation kann dies zu einer Reduzierung des Lärmpegels des Innenhofes von bis zu 3 dB(A) führen.⁸⁷ Gründachsysteme können aber auch auf niedrigen Straßenniveaus, z.B. bei der Begrünung von Tiefgaragendächern, angewendet werden. Zur Wirkung dieser Systeme auf Straßenniveau gibt es bisher sehr wenige Untersuchungen. Yang, H.S. führte in seiner Arbeit „Outdoor noise control by natural/sustainable materials in urban areas“ Untersuchungen zu diesem Thema durch. Dabei führte er verschiedene Messungen mit unterschiedlichen Ausgangslagen der Begrünungssysteme, wie beispielsweise Ausrichtung, Bewuchsdichte und Substrataufbau, durch. Aus diesen Studien konnte er Schlussfolgerungen für den effektiven Aufbau eines Begrünungssystems auf Straßenniveau ziehen. Diese sind: “1) Increase the area of green roof systems for effective noise control; 2) Locate green roof systems on a low barrier by considering frequency spectrum of noise sources; 3) Use dense/absorbent vegetation growing on the green roof substrate; 4) Install ground diffusers (i.e., rib-like structures such as green roof trays) to increase ground diffusion.”⁸⁸

⁸⁵ vgl Hornikx et. al. (2012) S.51 ff.

⁸⁶ vgl. HOSANNA (o.J.) S.31

⁸⁷ vgl. ebd. S. 32; Hornikx et. al. (2012) S.73

⁸⁸ Yang (2013) S.108

3.3.3 Weitere pflanzliche Lärminderungsmaßnahmen für den urbanen Raum

Urbane Räume unterscheiden sich durch eine Vielzahl von Besonderheiten, wie dichte Bebauung, ein hohes Verkehrsaufkommen und eine große Anzahl unterschiedlicher Lärmquellen gegenüber anderen Räumen. Standardisierte Lösungen zur Lärmbekämpfung wie große Schallschutzwände oder mehrere Meter breite Vegetationsstreifen sind in städtischen Gebieten nur selten umsetzbar. Deshalb werden immer mehr Alternativlösungen für den innerstädtischen Bereich entwickelt, bei denen auch der Einsatz von Pflanzen in den Vordergrund rückt. Nachfolgend werden einige Beispiele von pflanzlichen Maßnahmen vorgestellt, die neben den bereits erwähnten Fassaden- und Dachbegrünungen zur Lärminderung beitragen können.

Kleine Barrieren

Ein Hauptaugenmerk der HOSANNA Forschungen lag in der Untersuchung der Wirkung von kleinen Barrieren (1m x 1m) entlang der Straßenränder. Hierfür wurden unterschiedliche Barrieretypen bestehenden aus Substraten, Steinen, Pflanzenresten oder



Abbildung 11: Low-height noise barrier, HOSANNA (o.J.)

Kombinationen untersucht. Dabei kamen die Forscher zu dem Ergebnis, dass solche kleine Barrieren in unmittelbarer Nähe zur Lärmquelle einen großen Effekt auf die direkt hinter der Barriere befindliche Umwelt haben. Für einen Bereich von 2m bis 50m hinter der Barriere und in einer Höhe von 1m bis 5m konnte eine Lärminderung bis zu 9 dB(A) simuliert werden. Dieser Effekt kann durch zusätzliche Barrieren zwischen den Fahrspuren noch verstärkt werden.⁸⁹ Bei der Simulation einer vierspurigen Straßenschlucht mit jeweils einer Barriere an den Straßenrändern und einer mittleren Barriere zwischen den Fahrstreifen, konnte im Bereich der Gehwege eine Reduktion um 5 dB(A) erreicht werden.⁹⁰

Aufgrund der reflektierenden Eigenschaften der Fassaden, wird der Effekt hier verringert. Durch die zusätzliche Installation von Bäumen, Büschen oder Hecken, können weitere Lärminderungseffekte erzielt werden. Der Effekt ist dabei gegenüber den Barrieren mit 1-2 dB (A) eher klein.⁹¹

⁸⁹ vgl. HOSANNA (o.J.) S.12

⁹⁰ vgl. Defrance et. al. (2013) S. 23 ff.

⁹¹ vgl. HOSANNA (o.J.) S.20

Grüne Gleise

Im Bereich der Straßenbahnen werden Schallemissionen durch den Zustand der Schienen, die Räder der Bahn sowie konstruktiv-technische Aspekte bestimmt. Neben der Vermeidung von Lärm an der Quelle, durch z.B. bessere Schienen, rückt bei den grünen Gleisen der Faktor der Verringerung der Lärmausbreitung in den Mittelpunkt.



Abbildung 12: Rasengleis in Nantes Frankreich, Spath, R. (2016)

„Im Rahmen der Berechnung von Schallimmissionen, die nach der 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bzw. der „Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen, Schall 03“ erfolgt, wird dem „Rasengleis“ pauschal ein Minderungsbonus zugestanden. Danach erhalten „Rasensbahnkörper“ unabhängig von ihrer Bauweise einen Abschlag von 2 dB(A).“⁹²

Dieser „Rasenbonus“ ist allerdings nicht zwangsläufig gerechtfertigt, da nicht in allen Fällen einer Gleisbegrünung eine Lärminderung von 2 dB(A) erreicht wird. Bei tiefliegenden Vegetationen reicht die Vegetationsebene nur bis an die Befestigungen der Schienen und erreicht damit keine größere Schallminderung (1 dB (A)) als bei herkömmlichen Schottergleisen. Anders verhält es sich bei Grüngleissystemen mit höherliegender Vegetationsschicht. Hierbei reicht die Vegetation bis an den Schienenkopf heran, sodass das gesamte Gleis eingebettet wird. Mit einem solchen System kann bei vollständiger Einhausung der Schiene eine Minderung um 3 dB(A) erzielt werden. Allerdings haben bei diesem System nicht nur die Höhe der Vegetation einen Einfluss, sondern auch andere Schallabsorptionskomponenten, wie Wassergehalt oder Bewuchsdichte.⁹³

⁹² Grüngleisnetzwerk (2012) S. 11 f.

⁹³ vgl. ebd.

3.3.4 Zusammenfassende Betrachtung

Die Betrachtung der zusammengetragenen Ergebnisse zeigt, dass Begrünungen einen Einfluss auf den Lärmpegel nehmen können. Pflanzen können gerade in hohen Frequenzbereichen eine Dämpfung bewirken, die nicht zu vernachlässigen ist. Bei der Betrachtung des Verkehrs als Hauptlärmquelle scheinen Pflanzen aufgrund dieser Eigenschaften nicht besonders für eine Lärmreduzierung geeignet zu sein. Hier wäre eine Pegelminderung in den tiefen und mittleren Frequenzbereichen notwendig. Dennoch tragen sie durch die Absorption der hohen Frequenzbereiche zu einer veränderten Wahrnehmung des Geräuschspektrums bei. Gerade Hochfrequenzöne werden oftmals als störend empfunden. Außerdem wurde gezeigt, dass Pflanzen einen psychologischen Effekt bei der Wahrnehmung von Geräuschen für den Empfänger haben können.

Die doch sehr unterschiedlichen Ergebnisse von Minderungen von 1 dB(A) bis 10 dB (A) und mehr zeigen, dass nicht jedes Begrünungssystem gleiche Effekte erzielt. Der Absorptionsgrad einer Begrünung wird stark durch den Bodeneffekt, die Blattgröße, Bewuchsdichte und Blattstellung zur Lärmquelle beeinflusst. Gerade bei Fassadenbegrünungen sind große Unterschiede in den Systemaufbauten festzustellen. Für Effekte innerhalb des Verkehrslärmspektrums zeigt sich der Bodeneffekt verantwortlich. Dachbegrünungen wirken vor allem positiv auf das sich unterhalb befindliche Geschoss, tragen aber nicht maßgeblich zur Minderung des Lärms an den verkehrszugewandten Seiten bei. Anders ist es bei den verkehrsabgewandten Seiten. Durch die zusätzliche Absorption der Dachbegrünung, kann der Pegel dort gesenkt werden. In typisch urbanen Situationen, wie Häuserschluchten, haben Simulationen gezeigt, dass mit Fassadenbegrünungen eine Minderung von 2-3 dB(A) möglich ist. Durch den Einsatz von zusätzlichen Maßnahmen, wie kleinen Barrieren in unmittelbarer Nähe der Lärmquelle oder Grüne Gleise, können weiter positive Effekte erzielt werden. Abbildung 13 zeigt noch einmal zusammenfassend die maximale Lärminderung von Begrünungen.

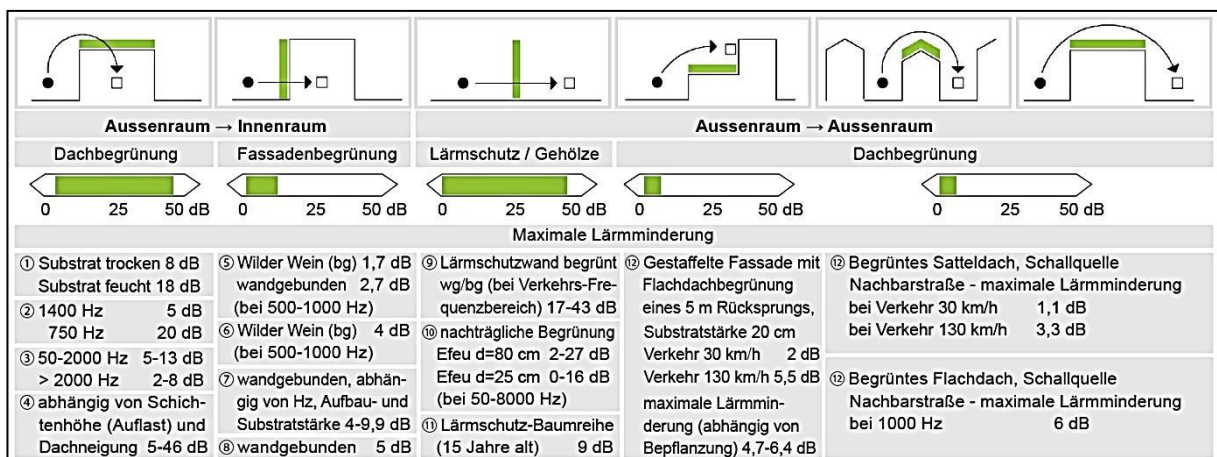


Abbildung 13: Maximale Lärminderung von Begrünungen, Pfoser, N. et. al (2013)

4. Hintergrund, Arten und Potentiale von Gebäudebegrünungen

Die Gebäudebegrünung ist kein Phänomen der Neuzeit, sondern sie findet schon seit Jahrhunderten aus unterschiedlichen Zwecken ihre Anwendung. Ein historischer Einstieg soll in diesem Kapitel die Entwicklung der Gebäudebegrünung verdeutlichen. Gebäudebegrünung ist nicht gleich Gebäudebegrünung und unterscheidet sich gerade durch die modernen Möglichkeiten der heutigen Zeit stark von historischen Beispielen. Formal gesehen lassen sich die Begrünungsformen in die Dachbegrünungen und Fassadenbegrünungen unterscheiden. Diese Arten bieten jedoch in ihren Ausgestaltungsformen unterschiedliche Ansätze, wodurch sich wiederum Unterarten unterscheiden lassen. Daher sollen in diesem Kapitel die Besonderheiten und Ausgestaltungsmöglichkeiten von unterschiedlichen Begrünungen aufgezeigt werden. Dabei werden die wesentlichen Arten der Fassaden- und Dachbegrünung genauer vorgestellt, um die praktischen Umsetzungsmöglichkeiten kennenzulernen. Des Weiteren werden die rechtlichen und bauseitigen Voraussetzungen aufgezeigt, die notwendig sind, um ein Begrünungssystem zu installieren. Mit Ausnahme des bereits aufgezeigten Lärmschutzeffekts, werden weitere positive Eigenschaften von Begrünungen dargestellt. Abschließend werden mögliche Schäden, die durch Begrünungen auftreten können, betrachtet.

4.1 Historische Entwicklung der Gebäudebegrünung

Gebäudebegrünungen gibt es schon solange der Mensch Behausungen baut, denn es existieren schon immer Pflanzen wie Efeu oder Urwald-Lianen, die Objekte beranken. Wie in der Bibel bereits beschrieben, entdeckte Noah, nachdem er die Arche verlassen hatte, die Weinrebe und so begann eine neue Epoche, in der die Rebe kultiviert wurde. Historische Bilder zeigen Lauben von Weinblättern umrankt als früheste Arten der Gebäudebegrünung. Die Historie zeigt durch Bilder, dass bereits in frühester Zeit Rankhilfen benutzt wurden. Auch in anderen Kulturen wurden Kletterpflanzen kultiviert, in Asien beispielsweise der Blauregen.⁹⁴



Abbildung 14: Weinreben am Spalier, Fassadengrün e.K. (o.J.)

In der Zeit des Mittelalters dominierten vor allem Efeu und Weinreben in Mitteleuropa als Bauwerksbegrünungen. Während der Efeu an Gebäuden eher wild wuchs und nicht zwangsläufig beabsichtigt war, wurden Weinreben bewusst an Gebäudefassaden gezüchtet. Die aus dem Süden stammenden Reben wurden durch die Römer im ersten Jahrtausend nach Christi eingeführt. Jedoch gab es aufgrund der fehlenden Wärme immer wieder Probleme mit der Reifung der Beeren.

⁹⁴ vgl. Fassadengrün e.K. (o.J.)

Daher wurden die Pflanzen oftmals an Klostermauern, Weinbergmauern oder Häusern gesetzt, um die zusätzliche Wärme des aufgeheizten Mauerwerks für die Reifung der Früchte nutzen zu können. Damit fand die Bauwerksbegrünung auch erstmals aus praktischen Gesichtspunkten statt.⁹⁵

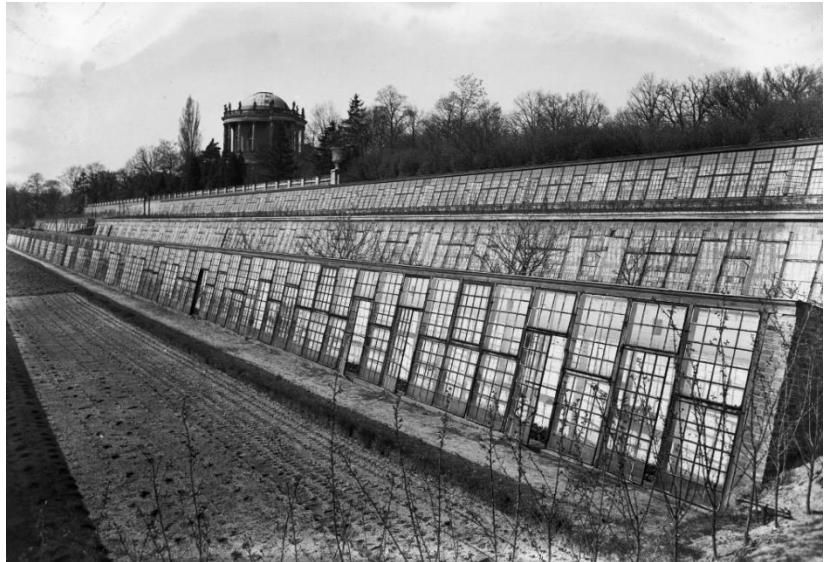


Abbildung 15: Talutmauern unterhalb des Klausberg-Belvederes um 1930, F. Seidenstücker(o.J.), Bildarchiv Preußischer Kulturbesitz

In der Zeit des Barocks und der Renaissance (ca.1500 – 1770) erblühte die Gartenkunst, bei der die Bauwerksbegrünung eine wesentliche Rolle spielte. In den oftmals streng angelegten Schloss- und Hofgärten des Adels wurden Lauben, Pergolen oder auch Wände aus ästhetischen Gründen begrünt. Außerdem fand das Spalierobst seinen Weg in die



Abbildung 16: Treillage aus Holz, Fassadengrün e.K. (o.J.)

Gärten und an die Bauwerke, welches mit Hilfe von oftmals kunstvollen hölzernen Treillagen kultiviert wurde.⁹⁶ Nachdem die Fassadenbegrünungen nun nicht mehr rein auf Klostergärten beschränkt waren, fand eine rasche Ausbreitung der Wandbegrünungen statt, selbst einfache Häuser von Tagelöhnern waren teils begrünt. Neue Arten von Kletterpflanzen, wie z.B. Wilder Mauerwein, die Klettertrompete oder Wildreben wurden in Europa eingeführt. In dieser Zeit wurden vor allem Holzspaliere als Rankhilfen eingesetzt. Dominant war in dieser Zeit besonders die klassische Bauform nach dem Gartenzaunprinzip: Waagerechter Riegel mit senkrechten Latten. In der Zeit des Barocks kam es hier auch zu kunstvolleren Ausgestaltungen in Form der bereits erwähnten Treillagen. Diese wurden teilweise gar nicht begrünt, sondern dienten nur als Dekoration. Bereits vor den heute üblichen Drahtseilsystemen wurde im Barock Spalierobst an Drähten gezogen, da diese robuster als textile Schnüre waren.

⁹⁵ vgl. Fassadengrün e.K. (o.J.)

⁹⁶ vgl. ebd.

Das Obst wuchs unter anderem an speziell errichteten und verglasten Talutmauern, wie von Friedrich dem Großen in Sanssouci errichtet⁹⁷.

In der Zeit des Klassizismus setzten sich viele Elemente der Bauwerksbegrünung aus der Zeit des Barocks fort. Neue Kletterpflanzen, wie die Pfeifenwinde oder chinesische und japanische Blauregen, wurden eingeführt oder gezüchtet. Mit der einsetzenden Romantik kam die Burgenverehrung als Impuls in die Gesellschaft. Statt der bisherigen Ordnung und Strenge, wurden efeubewachsene uralte wirkende Wände verehrt und vielerorts neu geschaffen.⁹⁸

In der Mitte des 19. Jahrhunderts hatte der Weinanbau in Europa aufgrund von Schädlings- und Pilzbefall Einbußen zu verzeichnen. Der Anbau ging bis auf wenige klimatisch begünstigte Gebiete zurück. Die Weinreben wurden in der Bauwerksbegrünung daraufhin durch Blatt- und Zierpflanzen ersetzt. Einem Trend aus England folgend, erhielten die Häuser und Villen üppige Begrünungen mit reinen Zierspalieren, meist aus Rosen oder Clematis. In dieser Zeit entstanden auch immer mehr Kleingärten, die ebenfalls Begrünungen aufwiesen. Zu dieser

Zeit erhielten Gebäude Grünschmuck, wenn der Kaiser oder König kam.⁹⁹ „Dies beruhte auf der alten Tradition, nichts fortzuwerfen und stattdessen alles zu verwenden, so auch den Verschnitt immergrüner Pflanzen (Efeu, Buchsbaum, Stechpalme).“¹⁰⁰ Der Verschnitt wurde zu Girlanden gebunden und an den Fassaden befestigt. Aufgrund der zunehmenden Anzahl an unterschiedlichen Arten und der damit verbundenen Variationsmöglichkeiten, wurden vielerorts diese grünen Girlanden durch dauerhafte Begrünungen an Rankdrähten ersetzt.¹⁰¹ In der Industriearchitektur der Gründerzeit und des Geschosswohnungsbaus spielte die



Abbildung 17: Grünschmuck nach alter Überlieferung, geflochtene Girlanden, Fassadengrün e.K. (o.J.)

Gebäudebegrünung jedoch zu damaliger Zeit keine besondere Rolle. Erst mit der Gartenstadt-Bewegung Anfang des 20. Jahrhunderts, hielt die Gebäudebegrünung auch im Geschosswohnungsbau und bei Industrieanlagen Einzug. Mit dieser Bewegung erlebten die Wandgärten einen Boom. Schöne Berankungen und die Selbstversorgung mit Hilfe von Spalierobst waren wichtige Teile dieser Bewegung. Die Begrünungswelle fand jedoch ein jähes Ende als sich herausstellte, dass die Pflanzen auch Pflege brauchen. Schließlich war es der Zweite Weltkrieg, der die Begrünung stoppte und um Jahrzehnte zurück warf.

⁹⁷ vgl. Fassadengrün e.K. (o.J.)

⁹⁸ vgl. ebd.

⁹⁹ vgl. ebd.

¹⁰⁰ ebd.

¹⁰¹ vgl. ebd.

Nach Ende des Krieges stand der schnelle Wiederaufbau im Vordergrund und nicht ästhetische Gesichtspunkte. Dadurch wurde die Begrünung zu einer Randerscheinung bis die neue Öko-Bewegung in den 1960er Jahre entstand.¹⁰² Die Begrünung war bei dieser Bewegung vor allem aus ökologischen Gesichtspunkten motiviert. Zwar kann diese Umweltbewegung nicht als direkter Baustil bezeichnet werden, sie prägte allerdings unsere Städte im großen Maße. Hauptverantwortlich hierfür waren die Umweltverbände, die die Begrünung vom Land in die Stadt trugen. Eine Vielzahl von kommunalen Förderprogrammen wurde ins Leben gerufen und tausende Selbstklimmer vielerorts verschenkt. Zusätzlich wurden Wettbewerbe wie "Die schönste Begrünung unserer Stadt" initiiert. Im Eifer der Entwicklung wurde jedoch oftmals übersehen, dass Begrünungen nur funktionieren, wenn ein perfektes Netz von Abstimmungen existiert: So muss eine Befürwortung des Hausbesitzers, eine Akzeptanz durch Mieter und Nachbarn vorhanden sein als auch die Klärung der Zuständigkeit bezüglich Pflege und Entsorgung von Laub etc. Aufgrund dieser oftmals fehlenden Abstimmung folgten Rückschläge, da keine Lösungen für diese Probleme gefunden werden konnten.¹⁰³

4.2 Warum Gebäude begrünen?

Neben den zuvor dargestellten lärmindernde Wirkungen von Vegetationen wie Absorption, Reflexion und Streuung, besitzen Pflanzen weitere Eigenschaften, die eine Gebäudebegrünung aus ökologischer und ökonomischer Sicht als sinnvoll erachten lassen. Diese nachfolgend ausführlich darzustellenden Eigenschaften machen Gebäudebegrünungen für eine Vielzahl von Interessensgruppen interessant und können damit nicht nur aus Lärmschutzsicht eine Bereicherung für den städtischen Raum darstellen. Aus diesen Merkmalen lassen sich zwei wesentliche Motivationsfaktoren für eine Gebäudebegrünung ableiten. Zum einen die Gebäudeoptimierung und zum anderen die Umfeldverbesserung. Beide sollen nachfolgend mit ihren jeweiligen Potentialen und Motivationsfaktoren erläutert werden.

4.2.1 Gebäudeoptimierung

In der heutigen Zeit sind Kriterien wie Nutzungsqualität, Wirtschaftlichkeit und Gestaltung nicht mehr alleine von Interesse, sondern sie werden gleichbedeutend mit dem materiellen, betrieblichen, nachhaltigen und natürlichen Ressourcenumgang im Sinne eines verantwortungsvollen Beitrags zum Klimaschutz betrachtet. Bei einer in diesem Sinne verstandenen Gebäudeoptimierung wird der Planungsprozess durch Umweltaspekte, Aufenthaltsqualität und einer wirtschaftlich effizienten Bauweise geleitet. Neben den modernen, schnell reagierenden und unterstützenden Gebäudetechniken, sind anpassungsfähige Gebäudehüllen ebenfalls gefragt. Mit einer Bauweise unter Einbeziehung von Pflanzen kann die Nutzbarma-

¹⁰² vgl. Fassadengrün e.K. (o.J.)

¹⁰³ vgl. ebd.

chung von natürlichen Angeboten wie Solarenergie, Wärme- und Kühlungsleistung oder Luft und Wasser, besser erreicht werden als mit einer rein technisch basierten Bauweise. Durch eine Gebäudebegrünung können Schutzfunktionen der Gebäudehülle gegen Temperatur, Niederschlag oder UV-Strahlung unterstützt werden.¹⁰⁴ „Entsprechende boden- und wandgebundene Begrünungstechniken können mit Verdunstungskühlung, saisonaler Verschattung, UV-Schutz, Dämmung, Regenrückhaltung, Feinstaubbindung, Photosynthese und Schönheit phasenweise bis ganzjährig einen wirksamen Optimierungsbeitrag leisten.“¹⁰⁵ Aus diesen Eigenschaften erschließt sich ein breites Anwendungsspektrum der Bauwerksbegrünung aus Sicht der Gebäudeoptimierung.

4.2.1.1 Lüftung und Luftreinigung

Durch das natürliche Lüften durch Öffnen oder Anklappen der Fenster, wird unbehandelte Außenluft transportiert. Durch dieses Lüftungssystem soll die Qualität der Raumluft verbessert werden oder überschüssige Wärme, verursacht durch direkte oder indirekte Sonnenenergie, abgegeben werden. Begrünungen können je nach Bewuchsdichte für eine erhöhte Beständigkeit von klimatischen Verhältnissen der direkten Umgebungsluft sorgen. Neben dieser Temperaturregulierung sind die staubfilternden Eigenschaften der Pflanzen ein wesentlicher Punkt zur Verbesserung der Luftqualität. Hierzu trägt auch die erhöhte Luftfeuchte in unmittelbarer Nähe der Pflanzen bei.¹⁰⁶

Bei Messungen in der Vergangenheit konnte so in den Sommermonaten eine 20 - 40% und in den Wintermonaten eine 2 - 8% höhere Luftfeuchtigkeit festgestellt werden.¹⁰⁷ Bei künstlichen Lüftungsanlagen kann für Kühlzwecke und Reinigungseffekte die Zuluft auch über die Begrünungen angesaugt werden. Während bei diesen Anlagen normalerweise ein Einsprühen von Wasserdampf in die Zuluft notwendig ist, um die Luft zu kühlen, kann die kältere Umgebungsluft der Pflanzen direkt verwendet werden und so den technischen Kühlaufwand einsparen.¹⁰⁸

4.2.1.2 Wärmehaltung/-Schutz und Verschattung

Immergrüne Systeme puffern den Kälteangriff an den Außenwänden ab und tragen damit zur Wärmehaltung bei. Die Fassaden und Dächer werden durch die Bepflanzung vor Wind und Nässe geschützt. Die wärmedämmende Wirkung der Begrünung resultiert dabei aus der beruhigten Luftschicht zwischen Wand und Vegetation sowie dem mehrschichtigen Systemaufbau der Begrünung. Diese Auswirkungen wurden in verschiedenen Temperatur- und

¹⁰⁴ vgl. Pfoser (2016) S. 71

¹⁰⁵ ebd.

¹⁰⁶ vgl. ebd. S. 75 f.

¹⁰⁷ vgl. Rath et al. (1988) S. 19 ff.

¹⁰⁸ vgl. Pfoser (2016) S. 84

Wärmedurchgangsmessungen in der Vergangenheit quantifiziert. Je nach Art und Aufbau des Begrünungssystems, kann die Temperatur in den winterlichen Monaten zwischen Wandoberfläche und Außenblattbereich 3 - 7°C höhere Temperatur aufweisen. Dies ist unter anderem auf den zusätzlichen Windschutz und die zusätzliche Substratschicht als Dämmfaktor zurückzuführen.¹⁰⁹

In den Sommermonaten tritt ein gegensätzlicher Effekt auf und die Begrünung trägt zur Kühlung der Fassade bei. Durch die Verschattung der Oberfläche und die Verdunstungskälte der Pflanzen, wird die langwellige Strahlung verringert und es tritt ein Kühleffekt auf. Messungen von Rath/Kiessl und Gertis aus dem Jahre 1988 zeigen, dass zwischen 40 bis 80% der Sonnenstrahlung durch das Laub der Begrünungen absorbiert oder reflektiert wird.¹¹⁰ Durch diese Effekte können maschinelle Kühlungssysteme teilweise eingespart oder in der Nutzungsdauer beschränkt werden, um Energie zu sparen.¹¹¹

Durch die kühlere Umgebungsluft können auch Photovoltaikanalgen von einer Begrünung profitieren, indem die Anlagentemperatur in einem normalen Bereich gehalten wird und somit die Effektivität der Anlagen gewährleistet ist. Bei hohen Temperaturen der Anlagen sinkt der Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung.¹¹²

4.2.1.3 Ökologie und Ökonomie

Für eine ökologische Bilanzierung der Bauweisen muss neben dem Energieverbrauch im Betrieb auch immer der Energieaufwand bei der Herstellung und Entsorgung der Anlagen sowie der jeweilige Materialstrom berücksichtigt werden. Ökobilanzen erhalten bei der Betrachtung und Bewertung von Lebenszyklen nachhaltiger Gebäudestandards eine immer größere Bedeutung. Pflanzen selbst sind ein nachwachsender Rohstoff und damit ein ökologisch wertvoller Baustoff. Hinzu kommt, dass die Pflanzen im Zuge der Photosynthese das klimaschädliche Gas CO² zerlegen, den Kohlenstoff binden und Sauerstoff abgeben. Gleichzeitig können Pflanzen weitere schädliche Luftschadstoffe durch Auswaschung und Adsorption¹¹³ aus der Luft filtern.

Das Leistungsspektrum der Pflanzen wird dabei durch deren Oberflächengröße beeinflusst, wobei immergrüne Pflanzen einen Vorteil gegenüber anderen Arten mit Laubabwurf besitzen, da sie dem jahreszeitlichen Wechsel der Belaubung nicht unterliegen. Durch die Wärmehaltung und Kühlung, sowie den Schutz vor UV-Strahlung und Wetterextremen wie Hagelschlag oder Starkregen, werden die hinterlegenden bzw. unterliegenden Bauteile der

¹⁰⁹ vgl. Pfoser (2016) S. 84

¹¹⁰ vgl. Rath et al. (1988) S. 19 ff.

¹¹¹ vgl. Pfoser (2016) S. 79 f.

¹¹² vgl. ebd. S. 85

¹¹³ „Anreicherung eines Stoffes an der Oberfläche eines Festkörpers, durch molekulare Wechselwirkung bedingt.“ Spektrum Akademischer Verlag(1999)

Gebäude geschützt und somit der Lebenszyklus verlängert. Durch gleichzeitige Einsparungen von Heiz- bzw. Kühlenergie leisten Begrünungen einen zusätzlichen direkten Beitrag zur Verbesserung der Ökobilanz, indem der Verbrauch von fossilen Energieträgern gesenkt wird. Bei einer Ökobilanzierung von Gebäudebegrünungen dürfen allerdings oftmals notwendige Kletterhilfen oder Begrünungstechniken und der damit verbundenen Energie- und Stoffkreislauf nicht außer Acht gelassen werden.¹¹⁴

4.2.1.4 Zusammenfassung der Gebäudeoptimierung

Die untenstehende Tabelle 3 fasst die Potentiale der Gebäudebegrünung hinsichtlich der Gebäudeoptimierung zusammen. Dabei stellt die Tabelle die jeweiligen Bedarfsbereiche der Gebäudeoptimierung vor und zeigt auf, mit welchen Maßnahmen die Gebäudebegrünung auf diese eingeht und welche Wirkungen und Einsparungen sich daraus ergeben.

Die Begrünung kann bei der Gebäudeoptimierung in hohem Maße unterstützend wirken. Durch Schutzfunktionen gegenüber äußeren Wettererscheinungen sowie Temperaturextreme können Begrünungen zur Verlängerung der Lebenszyklen anderer Bauteile beitragen.¹¹⁵ „Direkte Einsparungen und eine Verbesserung der Ökobilanz werden vor allem durch Unterstützung und ggf. Substitution technischer Systeme erreicht: Kühlenergieaufwand und Materialeinsatz zur Fassaden- Verschattung, Wirkungsgradverbesserung durch Kühlung von Photovoltaikanlagen, Unterstützung oder Ersatz von Klimageräten, Materialschutz und Energieeinsparung.“¹¹⁶ Zusammen mit den dargestellten Möglichkeiten zur Lärminderung verfügen Begrünungen über ein breites Spektrum an Leistungspotentialen und Lösungsmöglichkeiten für eine Optimierung der bebauten Umwelt.

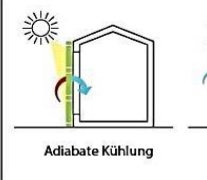



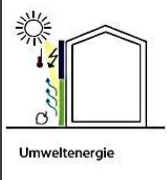
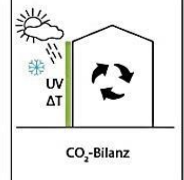

| BEDARF | °C Temperatur | ☀️ Licht | 🌬️ Lüftung | ⚡ Elektrische Energie | ♻️ Material/ Ökobilanz | |
|---|--|--|---|---|---|--|
| MASSNAHME |  Adiabate Kühlung |  Wärmehaltung/ Pufferwirkung |  Außen liegender Sonnenschutz |  Vorkonditionierung natürliche/kontrollierte Lüftung |  Umweltenergie |  CO ₂ -Bilanz |
| WIRKUNG GEBÄUDE- BEGRÜNUNG | <ul style="list-style-type: none"> + Vermeidung Aufheizung Gebäudeoberflächen/Innenraum/Absorber durch Verschattung/Verdunstungsleistung der Pflanzen + Reduktion Wärmeverluste der Gebäudehülle + geringere Windbelastung + geringere Feuchte | <ul style="list-style-type: none"> + Blendschutz durch Verschattung + Funktionsübernahme technischer Systeme + Pflanzenabhängig transluzent | <ul style="list-style-type: none"> + Luftreinigung + Luftbefeuchtung + Kühlung der Zuluft im Sommer + ggf. Pufferwirkung der Zuluft im Winter | <ul style="list-style-type: none"> + Wirkungsgradsteigerung technischer Systeme + Unterstützung aktiver und passiver Energiegewinnung | <ul style="list-style-type: none"> + Kohlenstoff - Speicherung + O₂-Produktion + Energiebedarfsreduktion + Filterung von Feinstäuben + Bauteilschutz/Verlängerung der Lebensdauer | |
|  | Einsparung Kühlkosten | Reduktion Wärmedurchgang | Reduktion Primärenergie, Einsparung Wartungskosten technischer Systeme | Unterstützung/Entfall Klimageräte | Leistungssteigerung Photovoltaik, Einsparung Kühlenergie, Biomassegewinnung | Einsparung Fassaden-/Dachmaterialien, Lebensdauerverlängerung |

Tabelle 3: Maßnahmen zur Gebäudeoptimierung. Darstellung der Wirkungen sowie Einsparungen durch Fassadenbegrünung. in Anlehnung an: Pfoser, N. (2016)

¹¹⁴ vgl. Pfoser (2016) S. 87

¹¹⁵ vgl. ebd. S. 88

¹¹⁶ ebd. S. 88

4.2.2 Umfeldverbesserung

Bei Maßnahmen im städtischen Raum bilden Umweltaspekte, Aufenthaltsqualitäten oder Kostenvorteile zentrale Kriterien zur Umsetzung der Maßnahmen. Gebäudebegrünungen wirken nicht nur vorteilhaft auf die Bauwerke selbst, sondern haben auch positive Auswirkungen auf das städtische Umfeld. Bei Niederschlägen wird durch Moose oder wasserspeichernde Substrate ein Regenwasserrückhalt geleistet und gleichzeitig zusätzliche Verdunstungsflächen geschaffen, welche die Temperaturen des Stadtklimas beeinflussen können. Die Begrünungen sorgen für zusätzliche Beschattungen und ausgleichende Luftbefeuchtung und Regulierung damit das Umgebungsklima. Gleichzeitig verbessern Vegetationen durch ihre Filtereigenschaften die Luftqualität, indem sie Feinstaub binden und Sauerstoff produzieren. Ebenfalls ermöglichen Begrünungen den Anbau von Nahrungsmitteln und können als Lebensraum und Nahrungsangebot für Tiere dienen. Gerade in innerstädtischen Bereichen mit hoher baulicher Dichte und hohem Versiegelungsgrad können Gebäudebegrünungen als Bereicherung zum städtischen Grünflächenangebot gesehen werden. In solchen innerstädtischen Bereichen bieten ungenutzte Flachdächer, fensterlose Industriebauten, Stütz- und Trennwände etc. eine große Flächenreserve zur Aufwertung des Stadtbildes und können als Potentialflächen für zusätzliche Begrünungen angesehen werden. Aufwertungen des städtischen Umfeldes tragen maßgebend zur Verbesserung des Wohnumfelds bei und damit zum Wohlbefinden und der Identifikation der Bewohner mit ihrer Stadt.¹¹⁷

Einen weiteren Zusatzeffekt stellt die anfallende Biomasse dar, die energetisch genutzt werden kann.¹¹⁸

4.2.2.1 Regenwasser und Gebäudebegrünung

Durch die Regenrückhaltefunktion der Gebäudebegrünungen kann Kanalüberlastungen entgegengewirkt werden und somit vor allem bei Starkregenereignissen die Wahrscheinlichkeit für den Austritt von Schmutzwasser aus der Kanalisation verringert werden. Überschüssiges Wasser kann in Zisternen gesammelt und zur Bewässerung der Pflanzen genutzt werden. Zusätzlich können je nach Begrünungssystem auch die unterschiedlichen Substratböden eine Regenrückhaltung bewirken. Je nach Speicherkapazität des Substrats können zusätzliche Bewässerung verringert oder gar vermieden werden, wodurch zusätzliche Kosten für eine Bewässerung eingespart werden.¹¹⁹

¹¹⁷ vgl. Pfoser (2016) S. 89

¹¹⁸ vgl. ebd. S. 89

¹¹⁹ vgl. ebd. S. 90ff.

Ein begrüntes Dach kann je nach Begrünungsart und Aufbau zwischen 40 und 99% des jährlichen Niederschlages zurückhalten. Ein Teil davon verdunstet und verbessert durch den Kühlungseffekt und die Luftbefeuchtung unsere Umwelt.¹²⁰ Mit der Rückhaltung des Regenwassers und dem Effekt der Verdunstungskühlung bildet die Gebäudebegrünung einen wichtigen Faktor zur Vermeidung von innerstädtischen Hitzeinseln.¹²¹

„Versiegelte Flächen heizen sich ungemindert auf: statt in Verdunstungsleistung wird die solare Strahlung in sensible Wärme und langwellige Strahlung umgewandelt.“¹²² Die Verdunstung des Regenwassers ist allerdings wichtig, um den Wasserkreislauf am Leben zu erhalten und damit für erneute Niederschläge zu sorgen. Die lokale Verdunstung von Regenwasser nimmt damit direkten Einfluss auf das lokale und regionale Klima. Die Gebäudebegrünung bewirkt mit Hilfe der Verdunstungskälte, welche durch den Energieverbrauch beim Wechsel des Aggregatzustandes von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff entsteht, eine unmittelbare Temperatursenkung der Umgebung.

Durch das Lüften partizipiert auch der Gebäudeinnenraum am Kühlungseffekt. Im Vergleich zu begrünten Fassaden wandeln unbegrünte Fassaden ca. 80% des Strahlungseintrags in Wärme um und geben diese über langwellige Strahlung in Teilen wieder ab.¹²³

4.2.2.2 Luftverbesserung, Biodiversität und Ästhetik

Ein wesentliches Merkmal von Pflanzen ist die staubfilternde und Feinstaub bindende Wirkung der Blätter. Durch die Filterung der für den Menschen gefährlichen Schadstoffe aus der Umgebungsluft, wird die Lebensqualität verbessert und das Krankheitsrisiko gesenkt. Gleichzeitig wird das klimaschädliche Gas CO₂ abgebaut und die Luft mit Sauerstoff angereichert. Begrünungen können unmittelbar zur Verbesserung der Umgebungsluft und damit zur Steigerung der Lebensqualität beitragen.¹²⁴

Gerade in Stadträumen mit einem hohen Versiegelungsgrad haben Begrünungen das Potential der Fauna ein Lebensraumangebot zu gegeben. Viele Arten von Insekten nutzen Begrünungen als Lebensraum oder Nahrungsquelle und dienen wiederum anderen Tierarten wie Vögeln als Nahrung. Außerdem können Begrünungen als schützender Lebensraum gesehen werden, in welchem z.B. Vögel in Ruhe nisten können. Begrünungen können auch einen Betrag zum Artenschutz leisten, indem sie seltene Arten anlocken und gerade im innerstädtischen Bereich durch Kleinstbiotope eine Verbindung der Lebensräume herstellen.¹²⁵

¹²⁰ vgl Mann (2013) S. 22

¹²¹ vgl. Pfoser (2016) S. 90 ff.

¹²² ebd.S. 91

¹²³ vgl. ebd. S. 92

¹²⁴ vgl. ebd. S. 93 ff.

¹²⁵ vgl. Preiss et. al. (2013) S.9

Mit der erhöhten Artenvielfalt im innerstädtischen Bereich tragen Begrünungen wesentlich zum Wohlbefinden der Bevölkerung bei, indem z.B. mehr Singvögel vor Ort zu finden sind.

Begrünte Bauwerke haben einen besonderen, unverwechselbaren Charakter und werden daher oftmals auch als ästhetische Besonderheiten genutzt. Die Begrünung stellt die Schnittstelle zwischen dem Hausinneren, dem privaten Bereich und dem Äußeren, dem öffentlichen Bereich, dar. Als solche können sie als individuelle Ausgestaltungsmöglichkeiten der Hausbesitzer genutzt werden.¹²⁶

Gleichzeitig können Gebäudebegrünungen aber auch als raumbildende oder gestaltende Elemente eingesetzt werden. Besonders Fassadenbegrünungen können je nach Installation und Bewuchs den Raum höher oder weiter erscheinen lassen. Mit einer gezielten Bepflanzung können Blicke der Passanten gelenkt und Aufmerksamkeit erzielt werden. Gerade in der modernen Architektur findet die Gebäudebegrünung aber oftmals mehr als ästhetisches Element und Alleinstellungsmerkmal seine Anwendung. Während eine Begrünung an mehreren Bauwerken den Raum prägen kann, dient sie bei Einzelobjekten oftmals lediglich dem Alleinstellungsmerkmal, um einen Anziehungspunkt zu schaffen.¹²⁷

¹²⁶ vgl. Preiss et. al. (2013) S.9

¹²⁷ vgl. Pfoser (2016) S. 104 ff.

4.2.2.3 Zusammenfassung der Umfeldverbesserung

Die untenstehende Tabelle zeigt zusammengefasst die Potentiale von Gebäudebegrünungen hinsichtlich der Wirkung auf das Umfeld. Nahe den begrünten Gebäuden treten aufgrund der positiven Eigenschaften der Pflanzen, wie der Luftfilterung oder der Verdunstungskühlung, klimatische Verbesserungen auf, die unsere Lebensqualität steigern. Örtlich können Begrünungen einen Beitrag zur Bekämpfung von innerstädtischen Hitzeinseln leisten und das Mikroklima verbessern. Gleichzeitig werden die städtischen Kanalisationssysteme entlastet und das Straßenbild aufgewertet. Der Ausbau der innerstädtischen Biodiversität fördert die Entwicklung der Flora und Fauna und bietet Möglichkeiten die Artenvielfalt zu fördern.¹²⁸ Mit einem breiteren Lebensraum und Nahrungsmittelangebot wird es einer Vielzahl von Arten möglich im städtischen Raum zu leben. Durch kleinteilige Biotope können die Lebensräume verbunden werden und die Lebensraumwanderung wird erleichtert. Ebenfalls können durch Begrünungen Umfeldverbesserungen durch die ästhetische Gestaltung erreicht werden. Bauwerksbegrünungen können aber auch raumstrukturierend wirken oder punktuelle Facetten betonen und damit als Orientierung dienen.

Nicht zuletzt die hier nicht explizit betrachtet Minderung der Lärmbelastung trägt im besonderen Maße zur Umfeldverbesserung bei. Durch die Lärminderungseigenschaften der Begrünung wird der Gesamtlärmpegel in der Umgebung verringert. Der Lärm als Stressfaktor und Verursacher sowie Verstärker von einigen Krankheiten wird abgeschwächt. Somit tragen Begrünungen zur Gesundheitsvorsorge der Bewohner bei.







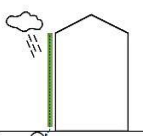
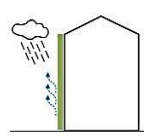
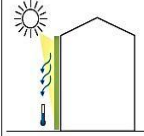
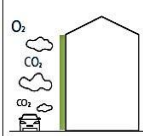
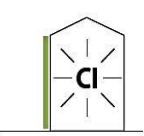
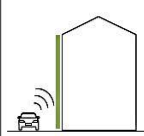
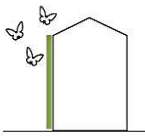

| BEDARF |  Wasser |  Vermeidung von Überhitzung |  Reduktion der Luftbelastung |  Akzeptanz |  Minderung der Lärmbelastung |  Biodiversität | |
|---|--|---|--|---|---|---|-------------|
| MASSNAHME |  Regenwasser-Rückhalt  Regenwasser-verdunstung |  Adiabate Kühlung und Verschattung |  Photosynthese und Feinstaubbindung |  Aufwertung von Gebäuden und Freiraum |  Schallabsorption Minderung Schallreflektion |  Erweiterung Lebensraum für Flora und Fauna | |
| WIRKUNG GEBÄUDE-BEGRÜNUNG | <ul style="list-style-type: none"> + Wasserrückhalt durch Minderung des Abflussbeiwerts + Verhinderung hoher Belastung der Kanalisation + Reduktion versiegelter Flächen + Erhöhung der Verdunstungsrate + Umgebungskühlung | <ul style="list-style-type: none"> + Kühlung durch Verdunstung und Verschattung + Minderung städtischer Wärmeinseln | <ul style="list-style-type: none"> + Kohlenstoffspeicherung + Sauerstoffproduktion + Feinstaubbindung und Verstoffwechslung von Luftschadstoffen + Oberflächenschutz | <ul style="list-style-type: none"> + Verbesserung der Aufenthaltsqualität + Steigerung der Akzeptanz + Corporate Identity + Fernwirkung | <ul style="list-style-type: none"> + Lärminderung im Außenraum + Reduktion Transmission Gebäude | <ul style="list-style-type: none"> + trägt zur lokalen Artenvielfalt bei + Erweiterung Nahrungs- und Lebensraum | |
|  EINSPARUNG/ ZUGEWINN | reduzierte Niederschlagswassergebühr | Reduktion Starkregenereignisse / Sturm und Hagelschäden, Kanalentlastung | Schutz Material/ Klima/Gesundheit | Schutz Material/ Gesundheit | Attraktivität | Gesundheit, Sicherheit, Aufenthalts- und Kommunikationsqualität | Artenschutz |

Tabelle 4: Maßnahmen zur Umfeldoptimierung. Darstellung der Wirkungen sowie Einsparungen durch Fassadenbegrünung. Pfoser, N. (2016)

¹²⁸ vgl. Pfoser (2016) S. 98

4.3 Rechtsgrundlagen für Gebäudebegrünungen

Eine rechtliche Durchsetzungsmöglichkeit von Gebäudebegrünungen lässt sich aus dem Baugesetzbuch ableiten. Dort werden, wie in Kapitel 2.4.2 aufgezeigt, Festsetzungsmöglichkeiten in der Bauleitplanung, konkret innerhalb der Bebauungspläne, ermöglicht. Von dieser Möglichkeit machen Kommunen bisher aber zu selten gebrauch. Im § 9 (3) BauGB heißt es: „Bei Festsetzungen nach Absatz 1 kann auch die Höhenlage festgesetzt werden. Festsetzungen nach Absatz 1 für übereinanderliegende Geschosse und Ebenen und sonstige Teile baulicher Anlagen können gesondert getroffen werden; dies gilt auch, soweit Geschosse, Ebenen und sonstige Teile baulicher Anlagen unterhalb der Geländeoberfläche vorgesehen sind.“¹²⁹

Interpretiert man diesen Absatz, so sind darunter Terrassen und Dachebenen zu verstehen, aber auch Tiefgaragen sowie Fassaden als Teile der baulichen Anlagen. Der Verweis auf Absatz 1 des Paragraphen führt zum Punkt 25. Dort wird beschrieben, dass aus städtebaulichen Gründen „für einzelne Flächen oder für ein Bebauungsplangebiet oder Teile davon sowie für Teile baulicher Anlagen mit Ausnahme der für landwirtschaftliche Nutzungen oder Wald festgesetzten Flächen a) das Anpflanzen von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen(...)“¹³⁰ festgesetzt werden kann.

Innerhalb von Landschaftsplänen werden Dach- und Fassadenbegrünungen zunehmend hinsichtlich ihrer Ausgleichsfunktion festgesetzt; dies bleibt ohne Bedeutung, wenn keine rechtsverbindliche Übernahme in den Bebauungsplan hergestellt wird. Da die verbindliche Bauleitplanung in die Länderkompetenz fällt, unterliegen derartige Festlegungen den jeweiligen Landesbauordnungen.¹³¹ Die Bauordnung des Landes Nordrhein-Westfalen (BauO NRW) enthält beispielsweise folgende Formulierung:

„(...) Ist eine Begrünung oder Bepflanzung der Grundstücke nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich, so sind die baulichen Anlagen zu begrünen, soweit ihre Bauweise und Gestaltung es zulassen und die Maßnahme für die Bauherrin oder den Bauherrn wirtschaftlich zumutbar ist(...)“¹³²

Auf der Grundlage der Landesbauordnungen wurden in einigen Bundesländern Begrünungssatzungen erlassen, die ebenfalls Fassaden- und Dachbegrünungen implizieren.¹³³ Beispielfhaft sei hier auf die Gestaltungs- und Begrünungssatzung der Landeshauptstadt München verwiesen.

¹²⁹ § 9 (3) BauGB

¹³⁰ § 9 (1) Nr. 25 BauGB

¹³¹ vgl. Lauenstein (o.J.) (a) S. 2

¹³² § 9 (1) Satz 3 BauO NRW

¹³³ vgl. Lauenstein (o.J.) (a) S. 2

„1. Kiespressdächer und vergleichbar geeignete Dächer sollen ab einer Gesamtfläche von 100 m² flächig und dauerhaft begrünt werden(...).

2. Unter besonderer Berücksichtigung der Architektur sollen geeignete, insbesondere großflächige Außenwände baulicher Anlagen, mit hochwüchsigen, ausdauernden Kletterpflanzen begrünt werden. Als geeignet gelten insbesondere Industrie- und Gewerbegebäude.“¹³⁴

Prinzipiell ist die Begrünung von Neubauten und nicht unter Denkmalschutz stehenden Gebäuden durch keine gesetzliche Grundalge verboten, sofern damit keine geltenden Bestimmungen des Nachbarrechts, wie Regelungen zu Grenzabständen, verletzt werden. Die Montage von Kletterhilfen an einer Fassade ist in der Regel keine genehmigungspflichtige Maßnahme, doch muss deren Stand und Tragsicherheit gewährleistet sein. Außerdem sollte das Fassadenbild dadurch nicht verunstaltet werden. Demgegenüber sind Fassadenbegrünungen an Baudenkmalern, im Bereich von Ensembleschutz und Gestaltungssatzungen genehmigungspflichtig. In Bereichen, in denen öffentliche Straßen des Landes für die Bepflanzung in Anspruch genommen werden, ist eine Sondernutzungsordnung bei der zuständige Behörde einzuholen.¹³⁵

4.4 Arten und Potentiale der Fassadenbegrünungen

Die Begrünung von vertikalen Flächen (Fassaden) umfasst im Wesentlichen zwei unterschiedliche Bauarten mit jeweiligen Systemvarianten. Die Fassadenbegrünung unterteilt sich in die bodengebundenen Begrünungstechniken und die wandgebundenen Begrünungstechniken sowie unterschiedliche Mischformen aus beiden Bauweisen. Bei der bodengebundene Fassadenbegrünung erfolgt die Versorgung der Pflanzen mit Wasser und Nährstoffen aus dem anstehenden Erdreich oder dem künstlich geschaffenen Bodenvolumen. Dabei kann es sich sowohl um gewachsenen Boden als auch um künstlich hergestellten Boden, wie beispielsweise über Tiefgaragen oder Tunneln, handeln. Für die Entwicklung der Pflanzen sind bei dieser Bauweise eine pflanzengerechte Bodenqualität bezüglich der Zusammensetzung des Erdreiches sowie eine natürliche Versorgung mit Bodenwasser durch die Speicherfähigkeit des Bodens von Regenwasser von Bedeutung. Andernfalls wird eine manuelle oder automatische Bewässerung notwendig.¹³⁶

¹³⁴ § 4 Gestaltungs- und BegrünungsS 924 der Landeshauptstadt München

¹³⁵ vgl. Lauenstein (o.J.) (b) S. 2

¹³⁶ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 34

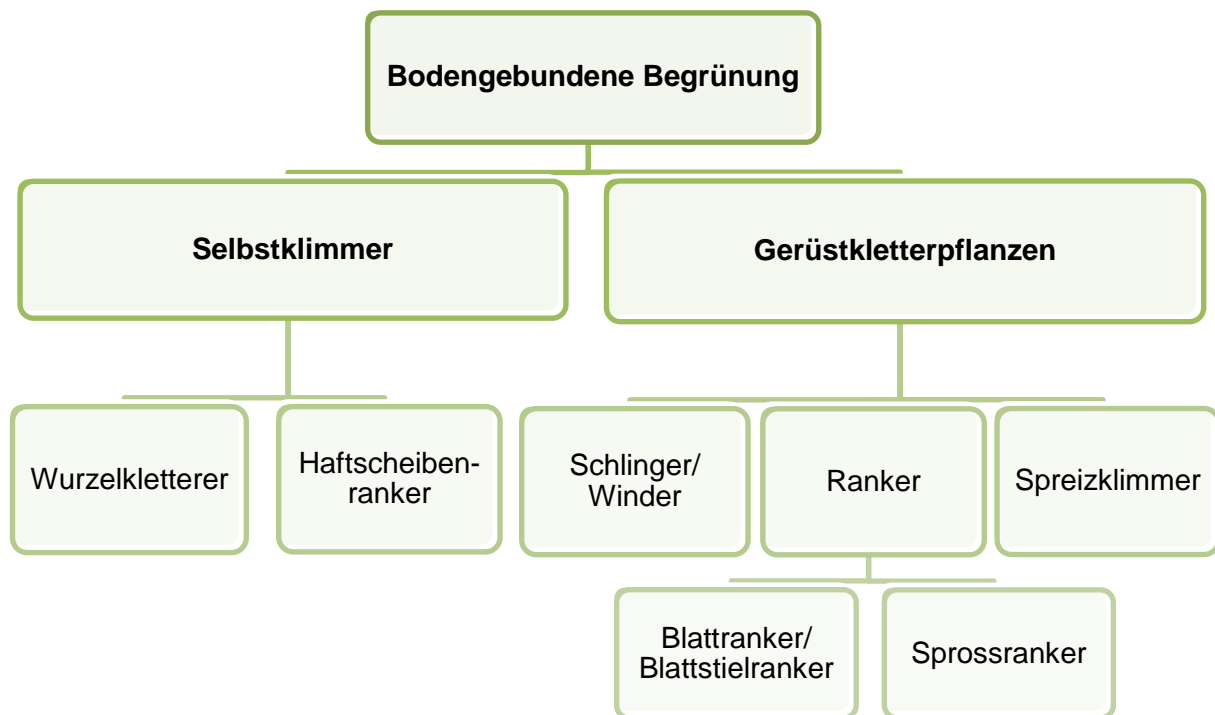


Abbildung 18: Systematik Bodengebundene Begrünung, in Anlehnung an: Pfoser et al. (2013)

Neben diesem eher traditionellen System steigt die Bedeutung der autarken Systeme, im Sinne von Boden- und Bodenwasseranschluss Unabhängigkeit. Die Pflanzen werden bei diesen wandgebundenen Begrünungen in einem Regalsystem übereinander gestapelt oder in senkrecht vor der Fassade montierten, integrierten Vegetationsflächen als modulare oder flächige Systeme angelegt. Gegenüber der bodengebundenen Fassadenbegrünung mit ihren eher freien und natürlichen Wuchsformen, kann die wandgebundene Fassadenbegrünung unabhängig vom jeweiligen Substratträgersystem als gestalterisches Element benutzt werden, was eine vorherige Planung und Vorstellung des Fertigzustandes voraussetzt. Bei diesen wandgebundenen Systemen wird die Pflanze zum Gestaltungselement und erfährt in regelmäßigen Abständen Wartungen und Versorgungsmaßnahmen, um die gewünschte Gestaltung aufrechterhalten zu können. Die Versorgung der Pflanze erfolgt über das Nährstoffangebot der Flächensysteme (Substratböden, nährstoffhaltige Bewässerung). Aus den alten Balkonblumenkästen, den oftmals negativ verfolgten Kletterpflanzen und den bemoosten Steinflächen, entwickelte sich in den letzten Jahren eine Vielzahl von erfolgreichen und bautechnisch unterschiedlichen Systemen sowie Variantenvielfalt zur Herstellung, Versorgung und Pflege der Vertikalbegrünungen.¹³⁷

„Die Ergebnisse reichen von der exakt gesteuerten, flächenebenen und monochromen Steinplatten-Bemoosung bis hin zu voluminösen, lebhaft gegliederten Staudengärten („living wall“) selbst in Lagen, die für die klassische erdgebundene Fassadenbegrünung nicht mehr erreichbar wären.“¹³⁸

¹³⁷ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 34ff.

¹³⁸ ebd. S. 35

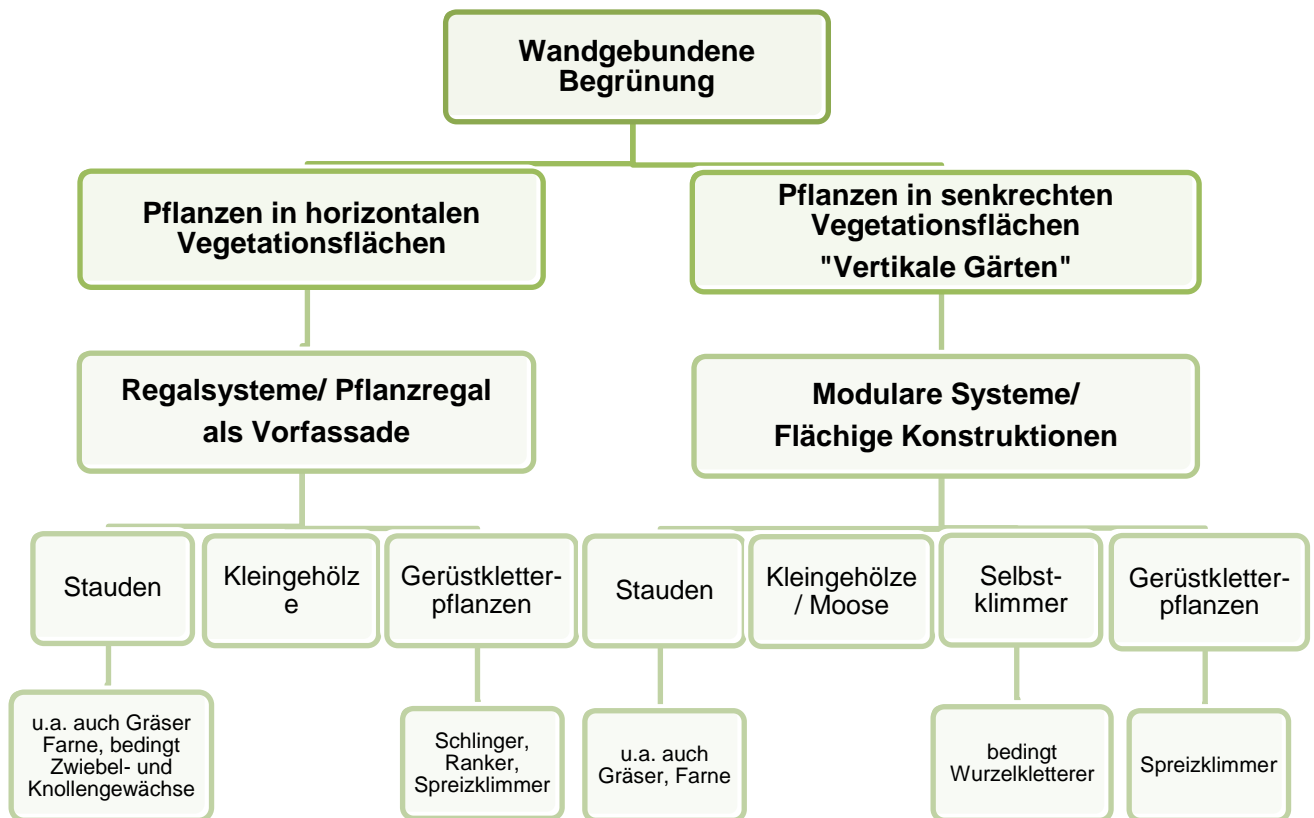


Abbildung 19: Systematik Wandgebundene Begrünung, in Anlehnung an: Pfoser et al. (2013)

Fassadengebundene (wandgebundene) Begrünungen können wegen einer Vielzahl von Anlässen eine bevorzugte Begrünungsmöglichkeit gegenüber der bodengebundenen Begrünung darstellen. Aufgrund von dichter Bebauung oder unterirdischer Bebauung (Tiefgaragen) kann eine ausreichende bodengebunden Versorgung der Pflanzen nicht stattfinden oder der bodengebundene Standort ist mechanisch oder chemisch so stark belastet, dass er als Pflanzenstandort ausscheidet. Dies kann durch Verunreinigungen wie Streusalz, Benzin oder auch durch ruhenden Verkehr oder Passanten hervorgerufen werden. Des Weiteren sollen oftmals nur bestimmte Bereiche einer Fassade begrünt werden, wie beispielsweise die oberen Stockwerke, da sich im Erdgeschoss Gewerbe mit Schaufenstern befinden. Bei all diesen Beispielen bieten die wandgebundenen Systeme bessere Anwendungsmöglichkeiten gegenüber den bodengebundenen Systemen.¹³⁹

Die wandgebundenen Begrünungen benötigen eine künstliche, gesteuerte Bewässerungstechnik, die vorzugsweise als Regenwassernutzungsanlage konzipiert ist und die Pflanzen mit ausreichend Wasser versorgt. Eine Ausnahme stellen Monokulturen mit laubabwerfenden Pflanzen dar, die im Sommer durch Niederschläge versorgt werden können und so keine zusätzliche künstliche Bewässerung benötigen. Die Gestaltungsmöglichkeiten bei der wandgebundenen Fassadenbegrünung sind aufgrund der Vielzahl von einsetzbaren Pflanzen sehr groß. In der Regel arbeiten Firmen bei einer solchen Begrünung mit einer Auswahl von 10 bis 15 bewährten Pflanzenarten pro Begrünung. Bei der Auswahl der Pflanzen für ein

¹³⁹ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 35 f.

solches System müssen aufgrund der geringeren Bodenschicht (Substratschicht) flachwurzeln Pflanzen ausgewählt werden. Außerdem sollten sie winterhart sein und nach den jeweiligen Ansprüchen an Wuchshöhe, Blattphase oder Blütenfarbe ausgewählt werden.¹⁴⁰

Neben diesen Einzelvarianten der Fassadenbegrünung sind auch Mischformen aus beiden Varianten möglich. Dabei muss sichergestellt sein, dass die jeweiligen Versorgungsansprüche beider Systeme gewährleistet sind. Einen Grund für die Anwendung solcher Mischformen kann darin bestehen, dass bodengebundene Pflanzen nur eine bestimmte Höhe erreichen und die höherliegenden Fassadenteile dann mit einem wandgebundenen System begrünt werden können.¹⁴¹

4.4.1 Bodengebundene Systeme der Fassadenbegrünung

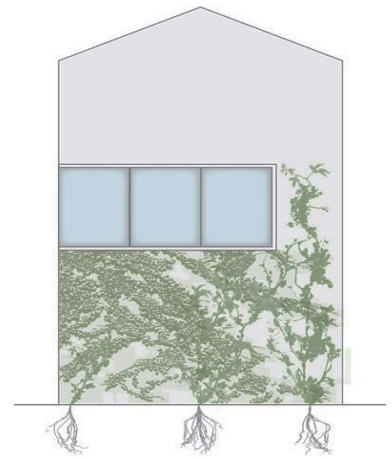
In Abbildung 18 wird deutlich, dass sich die bodengebundene Begrünung in zwei wesentliche Systemvarianten unterscheiden lässt, auf die an dieser Stelle genauer eingegangen werden soll. Bei den jeweiligen Varianten handelt es sich um den bodengebundenen Direktbewuchs durch Selbstklimmer wie beispielsweise Efeu und den bodengebundenen leitbaren Bewuchs mit Hilfe von Rankhilfen, wie Seil-, Gitter-, Spalier- oder Netzsystemen und Gerüstkletterpflanzen.

¹⁴⁰ Pfoser et. al. (2013) S. 35 f.

¹⁴¹ vgl. ebd.

4.4.1.1 Direktbewuchs mit Selbstklimmern

Die direkte bodengebundene Fassadenbegrünung erfolgt mit Hilfe der Pflanzengruppe der Selbstklimmer, zu denen Wurzelkletterer und Haftscheibenranker gezählt werden. Diese Pflanzen haften sich direkt an geeignete Wandoberflächen an, ohne zusätzliche Maßnahmen ergreifen zu müssen und trotzen üblichen Wettererscheinungen, wie Sturm- und Niederschlagsbelastungen sowie der eigenen Masse. Dabei können sie Bewuchshöhen von ca. 25m erreichen. Bei der ursprünglichen Form dieser Begrünung wird die Ausbreitung der Pflanzen lediglich durch die Lage und Lichtbedingungen beeinflusst, je nach Pflanzenart und Wandformat kann es so innerhalb von 5 bis 20 Jahren zur einer Vollabdeckung der Fassade durch die Pflanzen kommen. Bei Pflanzen mit einer flächendeckenden Ausbreitung kann durch regelmäßiges trimmen die gewünscht Form erhalten bleiben und die notwendige Belichtung der Innenräume sichergestellt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass die Vielzahl der hier geeigneten Pflanzen dem größten Sonnenlichteinfall entgegenstrebt und hierdurch die Ausbreitungsrichtung der Pflanzen bestimmt wird. Eine geeignete Standortwahl ist damit maßgeblich mitbestimmend für das Wuchsbild und die Flächenabdeckung. Zur Vermeidung einer gesamtheitlichen Begrünung und dem Schutz von sensiblen Bauteilen, wie Fenstern und Türen, sind Ausbreitungsbegrenzungen zu installieren, um den Ein- bzw. Überwuchs zu verhindern.¹⁴² Darüber hinaus lässt die Anzahl von ca. einem Dutzend für diese Begrünung geeigneten Pflanzen zwar eine gestalterische Freiheit zu, gegenüber anderen Begrünungssystemen ist diese allerdings eher als gering anzusehen. Der Wuchsuntergrund (Fassade), der das Pflanzengewicht tragen muss, sollte riss- und wartungsfrei sein. Da die Haftorgane der Pflanzen sich mechanisch an der Fassade festhalten oder den Untergrund leicht lösen, um sich anzuhaf-ten, sind rissige oder poröse Wanduntergründe nicht geeignet. Die Pflanzen können in die Risse einwachsen und bewirken dort weitere Zerstörungen. Daher sind für dieses Begrünungssystem besonders dünnwandige Verkleidungen mit Hinterlüftungen und alle Fassadenarten mit Fugen oder Spalten nicht geeignet.¹⁴³



| |
|---|
| <p>Begrünungssystem Bodengebundene Selbstklimmer</p> |
| <p>Systemaufbau Direktbegrünung ohne Rankhilfe durch Selbstklimmer</p> |
| <p>Gestaltung Flächenwirkung je nach Pflanzenwahl (5-20Jahre) Pflanzenauswahl nach Art, Belaubung (sommergrün/immergrün), Farbgebung</p> |
| <p>Pflanzeneignung Wurzelkletterer, Haftscheibenranker</p> |
| <p>Versorgung Wasser-, Nährstoffversorgung über Erdreich, standortbezogen nach Bedarf der Pflanze und Exposition</p> |
| <p>Systemtypische Potentiale Geringer Investitionsaufwand, Witterungs-, Strahlungsschutz, Lebensraum für Insekten und Vögel</p> |
| <p>Kosten Investition ca. 0,40€/m² Pflege/Wartung ca. 15€/m² pro Jahr</p> |

Abbildung 20: Übersicht Eigen-schaften Bodengebundener Direktbewuchs. in Anlehnung an: Pfoser et. al. (2013)

¹⁴² vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 42 f.

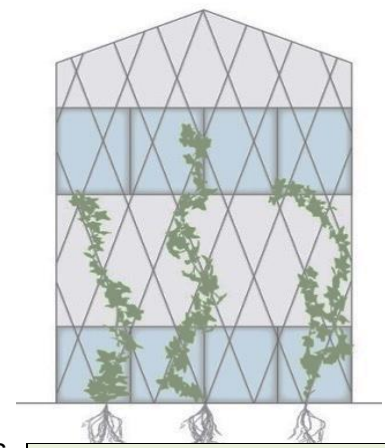
¹⁴³ vgl. ebd.

4.4.1.2 Leitbarer Bewuchs mit Gerüstklettern

Das leitbare Begrünungssystem unterscheidet sich gegenüber dem System mit Selbstklimmern durch eine Distanz der Pflanzen zur Fassade. Jedoch benötigt es als ebenfalls bodengebundenes System die gleichen Bedingungen an Boden- und Bodenwasseranschluss, wie die Direktbegrünung durch Selbstklimmer. Anders als beim Direktbewuchs umfasst das Anwendungsspektrum dieses Begrünungssystems jegliche Arten von Fassadenbauweisen, einschließlich Glasfronten oder Balkonen.¹⁴⁴

Dabei benötigen die Kletterpflanzen eine Wuchshilfe, um größere Höhen und bessere Sonnenbestrahlung zu erreichen. Die Pflanze selbst bildet keinerlei statische Strukturen aus, sondern nutzt natürliche Gegebenheiten, wie Gehölze oder Bäume als Rankhilfen. Bei diesen Systemen werden die Gesamtlasten, also sowohl das Gewicht des Pflanzenmaterials, Witterungserscheinungen wie Schnee und das Gewicht der Tragkonstruktion, in ein eigenes Fundament geführt oder über Konsolen in den Wandaufbau geleitet. Die heutigen Tragkonstruktionen können dabei die Gesamtfläche der Fassade abbilden, überschreiten oder unterschreiten. Dabei können die Kletterpflanzen je nach Art etwa eine Höhe von bis zu 25m erreichen.

Die Nutzung solcher Systeme als vorgehängte Begrünung und damit die Vermeidung des direkten Kontaktes mit der Hauswand kann unterschiedliche Gründe haben. Gründe für die Anwendung einer Begrünung mit Hilfe von Kletterpflanzen können sein, wenn die Fassade für eine Direktbegrünung durch Selbstklimmer nicht geeignet ist oder die Fassade selbst eine regelmäßige Wartung oder Reinigungsaufwand benötigt und damit einen Abstand zwischen Wand und Pflanzen. Aber auch gestalterische Gründe können bei der Entscheidung zur Begrünung mit Hilfe von Kletterhilfen ein wesentliches Entscheidungskriterium darstellen. Für die gestalterischen Möglichkeiten stehen etwa 60 verschiedene Pflanzenarten zur Verfügung und somit eine deutlich höhere Auswahl gegenüber den Selbstklimmern.¹⁴⁵



| |
|---|
| <p>Begrünungssystem Bodengebundene Gerüstklettopflanzen</p> |
| <p>Systemaufbau Kletterhilfe/Spalier als separate Ebene (Stäbe, Seile, Gitter, Netze) Lastabtragung: Wand, ggf. Boden</p> |
| <p>Gestaltung Flächenwirkung je nach Pflanzenwahl (3-12Jahre) Pflanzenauswahl nach Art, Bepflanzung (sommergrün/immergrün), Farbgebung</p> |
| <p>Pflanzeneignung Ranker, Schlinger/ Winder, Spreizklimmer, spalierbare Gehölze</p> |
| <p>Versorgung Wasser-, Nährstoffversorgung über Erdreich, Standortbezogen nach Bedarf der Pflanze und Exposition</p> |
| <p>Systemtypische Potentiale Witterungs-, Strahlungsschutz, leitbare Verschattungsleistung</p> |
| <p>Kosten Investition ca. 36- 95€/m² Pflege/Wartung ca. 10-20€/m² pro Jahr</p> |

Abbildung 21: Übersicht Eigenschaften Bodengebundener leitbarer Bewuchs. in Anlehnung an: Pfoser et. al. (2013)

¹⁴⁴ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 44 f.

¹⁴⁵ vgl. ebd.

Als Rankhilfe für die Pflanzen kommt dabei eine Vielzahl von unterschiedlichen Konstruktionen in Frage. Neben dem traditionellen Holzgittergerüst finden je nach Bedürfnis der Pflanze und der gestalterischen Kriterien auch vertikale bzw. horizontale Kletterhilfen aus Stangen-, Seil- oder Netzsystemen ihre Anwendung in der Praxis. Generell sind bei der Konstruktion solcher Systeme sowohl die unterschiedlichen Kräfte, wie einwirkende Windkraft oder Masse der Pflanzen zu beachten, als auch die Korrosionsfreiheit der einzusetzenden Materialien und die Brandlast der Pflanzen. „Die Konstruktion muss daher von einem Tragwerksplaner berechnet werden, sie unterliegt einer bauaufsichtlichen Genehmigung.“¹⁴⁶

4.4.2 Wandgebundene Systeme der Fassadenbegrünung

Wie in Abbildung 19 bereits aufgezeigt wurde, lassen sich die wandgebundenen Begrünungssysteme einmal durch die jeweilige Wuchsausrichtung der Pflanzen, hier die horizontalen und vertikalen Vegetationsflächen, unterscheiden. Je nach Anwendung dieser Ausrichtungen lassen sich verschiedene Unterbauweisen definieren, die hier näher vorgestellt werden sollen. Dabei handelt es sich insbesondere um das wandgebundene Regalsystem mit seiner horizontalen Wuchsebene. Als Beispiele für die vertikale Wuchsebene werden das wandgebundene modulare System und das wandgebundene flächige System vorgestellt. Die Pflanzenvielfalt erstreckt sich hierbei nicht nur auf die üblichen Kletterpflanzen, sondern beinhaltet durch die vielfältigen Ausgestaltungsmöglichkeiten weitere Pflanzenarten, wie Gräser oder Zwiebel- und Knollengewächse.

4.4.2.1 Regalsysteme

Die Regalsysteme zeichnen sich durch die Nutzung von Pflanzgefäßen aus, meist Langrinnen oder Töpfe mit einem Substratboden und einer Drainebene. Die Pflanzgefäße können dabei auf die verschiedenen Regalebenen übereinander angeordnet werden. Bei diesem System steht den Pflanzen selbst nur das Substratvolumen der Pflanzbehälter zur Verfügung. Aufgrund dieser Einschränkung und der in der Regel exponierten Lage als eher einzeln stehende Pflanze, sollten die genutzten Pflanzenarten besonders winterhart sein. In den Böden der Unterkonstruktionen der Pflanzgefäße können Leitungen für die Wasserversorgung für die jeweilige darunter befindliche Ebene geführt werden. Die letztliche Konstruktion der Pflanzgefäße sollte auf die architektonischen und gestalterischen Wünsche angepasst sein, wobei die Pflanzgefäße eine hohe Stabilität und UV- sowie Wetterbeständigkeit aufweisen sollten.¹⁴⁷

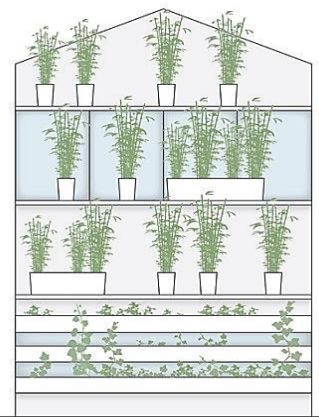
¹⁴⁶ Pfoser et. al. (2013) S. 45

¹⁴⁷ vgl. ebd. S. 46

Die Gebäudewand selbst muss ebenfalls den hohen Belastungen durch das Regalsystem standhalten, weshalb es sinnvoll ist, solche Systeme im Voraus in die Entwurfsplanung einzubeziehen. Außerdem müssen hierbei eventuelle Gebäudeumläufe oder Kragkonsolen als Unterbauten für die Pflanzbehälter mitberücksichtigt werden. Eine selbsttragende Vorkonstruktion mit eigenem Fundament kann eine Alternative zur Aufnahme der Pflanzgefäße darstellen.

Die Regalsysteme sind vielseitig einsetzbar, beispielsweise als zusätzliche Privatsphäre zum Sichtschutz bei Dachterrassen, Balkonen oder Loggien. Sie können ebenfalls als vorgehängte Fassade, sowohl vor normalen Wandflächen als auch vor Verglasungen dienen. Gegenüber anderen Fassadenbegrünungen hat dieses System vor allem den Vorteil, dass eine sofortige Wirkung durch bereits kultivierte Pflanzen erzielt werden kann. Außerdem kann die Konstruktion leicht an die gebäudespezifischen Gegebenheiten angepasst werden, indem man Pflanzgefäße verrückt oder entfernt. Abgestorbene Pflanzen oder kaputte Gefäße können hierbei schneller ausgetauscht werden, ohne die Gesamtkonstruktion zu zerstören.

Die Regalsysteme stellen mit ihrer Vielseitigkeit eine Weiterentwicklung des klassischen Blumenkastens dar. Anders als bei anderen Systemen ist die Pflanze selbst nicht das einzige gestalterische Mittel, sondern die Pflanzgefäße können ebenfalls mit ihren Formen und Farben zur Fassadengestaltung beitragen. Durch die Nutzung von Pflanzbehältern ist die Möglichkeit der Pflanzenwahl bei diesem System sehr groß. Lediglich die Winterhärte und die Größe der Pflanzgefäße und damit der für das Wurzelwerk zur Verfügung stehende Raum, beschränken die Pflanzenauswahl. Die Bewuchsrichtung (hängend, steigend), die individuelle farbliche Gestaltung sowie die Bewuchsdichte lassen sich bei diesem System durch die große Pflanzenauswahl hervorragend steuern.¹⁴⁸



| |
|---|
| Begrünungssystem Wandgebunden, Pflanzgefäße |
| Systemaufbau Kragkonsolen oder Vorkonstruktion für Pflanzbehälter |
| Gestaltung Sofortige Flächenwirkung bei Vorkultivierung, Pflanzenauswahl nach Art, Belaubung, Farbgebung |
| Pflanzeneignung Stauden, Kleingehölze, bedingt Kletterpflanzen |
| Versorgung Substrat, Wasser-, Nährstoffbedarf nach Pflanzenart, Drainage. Pflege- und Wartungszugänglichkeit |
| Systemtypische Potentiale Variable Bepflanzung, Witterungs-, Strahlungsschutz, Verschattungsleistung, ggf. „Vertical Farming“ |
| Kosten Investition ca. 230-1000 €/m ² Pflege/ Wartung ca. 10 €/m ² pro Jahr |

Abbildung 22: Übersicht Eigenschaften Wandgebundene Regalsysteme, in Anlehnung an: Pfoser et. al. (2013)

¹⁴⁸ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 46 f.

4.4.2.2 Modulare Systeme

Die modularen Begrünungssysteme bestehen aus einzelnen, rechteckigen oder quadratischen Substratkästen mit einer baulichen Tiefe von 10 - 25 cm. Zusammen bilden die Kästen ein flächiges Raster. Die Substratkästen werden bei diesem System auf eine passende Unterkonstruktion angebracht und durch Versorgungssystem miteinander verbunden. Die Größe der einzelnen Substratkästen kann dabei je nach Bauart zwischen 0,5 m² und 1 m² betragen.

Die senkrecht gehaltenen Substratmassen können aus unterschiedlichen Materialien, wie Gemischen aus Lava und Bims, aus Steinwolle oder Schichten von Torfmoos bestehen. Das Substrat sollte aus mineralischen und feuchtspeichernden Materialien bestehen. Zum Abfangen des überschüssigen Wassers und damit einer Verhinderung von Ausspülungen, müssen Fangbleche zur Ableitung installiert werden. Dieses System bietet den Vorteil, dass es ebenfalls als bereits voll kultiviertes System installiert wird und somit sofort die gewünschten Effekte erzielen kann. Außerdem kann es durch die modulare Bauweise stark an örtliche Gegebenheiten oder individuelle Ausgestaltungswünsche angepasst werden. Beim Absterben von Pflanzen oder Anpassungswünschen ermöglicht die modulare Bauweise einen schnellen Austausch.¹⁴⁹

Bezüglich des Aufbaus dieser Module, der Substratechniken und der Wasser- und Nährstoffversorgung gibt es auf dem Markt unterschiedliche Techniken. Diese Vielzahl an technisch unterschiedlichen Ausgestaltungsmöglichkeiten der modularen Begrünung lässt eine auf die Bedürfnisse der jeweiligen Pflanze angepasste Bauweise zu. Die Dicke der jeweiligen eingesetzten Substratschicht und der damit zur Verfügung gestellte Wurzelraum nehmen Einfluss auf die Pflanzenwahl. Bei nicht ausreichender natürlicher Bewässerung ist ein automatisches Bewässerungssystem notwendig, beispielsweise mit Tropfschläuchen, die durch die hintere Belüftungsschicht geführt werden oder durch Feinsprühdüsen entlang der Fugen der Modulplatten.¹⁵⁰

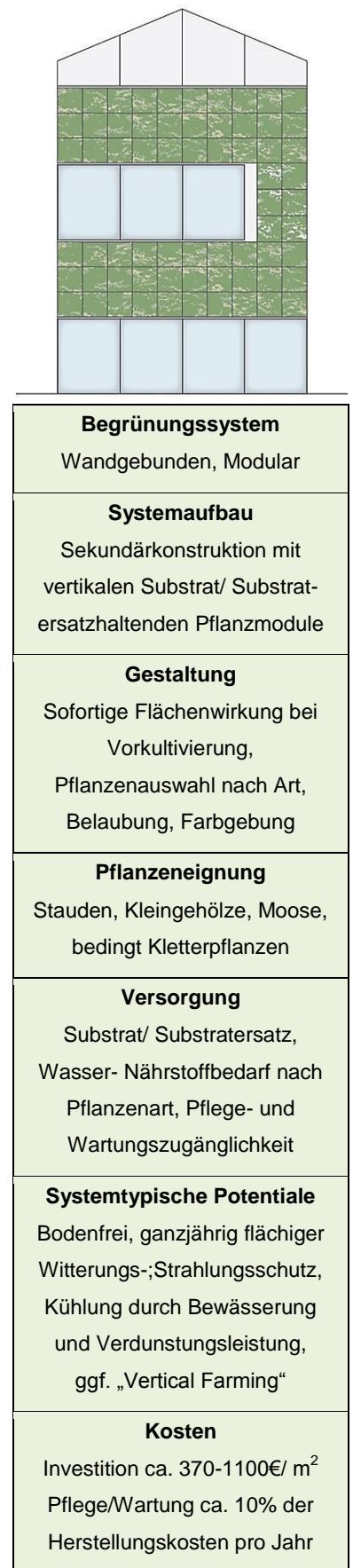


Abbildung 23: Übersicht Eigenschaften wandgebundene modulare Systeme, in Anlehnung an: Pfoser et. al. (2013)

¹⁴⁹ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 48

¹⁵⁰ vgl. ebd. S.48f.

Der prinzipielle Aufbau eines solchen Moduls kann Abbildung 24 entnommen werden. Im Regelfall wird eine Hilfskonstruktion an der Gebäudewand angebracht. Je nach genauer Ausgestaltung des Systems kann die Hilfskonstruktion direkt an der Wand anliegen oder es wird eine Belüftungsschicht freigehalten. Optional kann ein wasserabweisendes Material als zusätzlicher Schutz für die Gebäudewand an der Rückseite des Moduls angebracht werden. Das Bewässerungssystem findet sich meist hinter den Substratkörben und versorgt diese mit dem notwendigen Wasser. Unterhalb der Konstruktion befindet sich eine Ablaufrinne, die das überschüssige Wasser auffängt und abführt.¹⁵¹

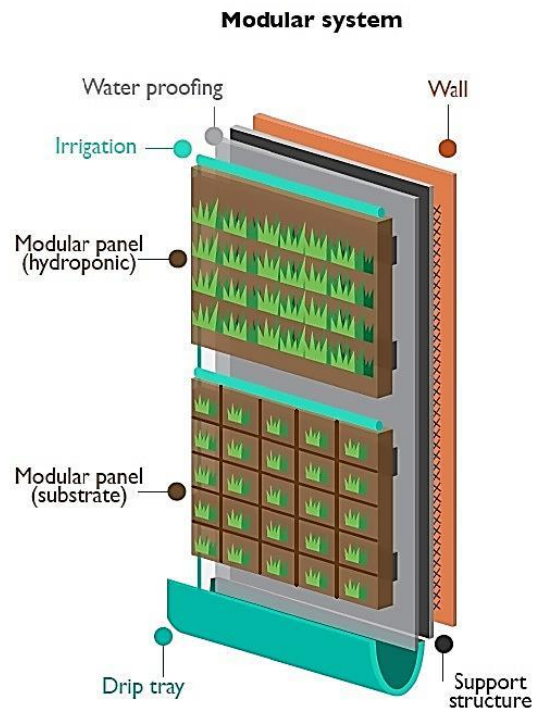


Abbildung 24: Modular system, in Anlehnung an: State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries (2014)

In den neusten Systemen wird die Substratschicht durch eine zusätzliche Schicht aus beispielsweise poröser Keramik geschützt, durch welche die Pflanzen jedoch selbst wachsen können. Abbildung 25 zeigt ein solches Beispiel der Firma Creabeton Matériaux AG aus der Schweiz. Bei diesen Modulen können sich die Pflanzenkeimlinge aufgrund des zusätzlichen Schutzes besser entwickeln.¹⁵²



Abbildung 25: Skyflor®Sytsem. www.deavita.com (o.J.)

4.4.2.3 Flächige Systeme

Die flächigen Systeme der Gebäudebegrünung bieten Lösungen bei teil- oder ganzflächigen Vollbegrünungen von Gebäuden oder Gebäudeteilen, bei denen keine Versorgung der Pflanzen über einen Bodenanschluss mit Nährstoffen und Wasser möglich ist. Anders als bei den modularen Systemen, besteht die Begrünung aus einer gesamtheitlichen Fläche und kann daher auch nicht partiell ausgetauscht werden. Prinzipiell kann diese Begrünungsform bei allen Massivwänden angewandt werden. Ähnlich dem modularen Begrünungssystem sind auch verschiedene Bauweisen umsetzbar.¹⁵³

¹⁵¹ vgl. State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries (2014) S. 85 f.

¹⁵² vgl. Creabeton Matériaux AG (o.J.)

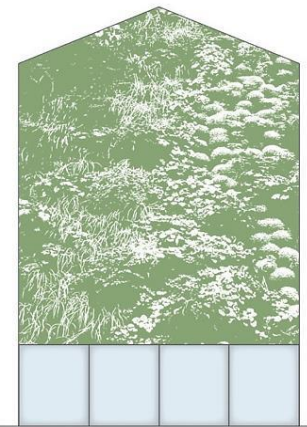
¹⁵³ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 50

Bei einer direkten Montage auf eine Trägerfläche (Wand/ Vorsatzschale) findet keine Hinterlüftung statt. Die Versorgungsleitungen und das pflanzentragende Geotextil werden hierbei ohne eine Hilfskonstruktion direkt installiert.¹⁵⁴

In anderen Bauweisen wird durch eine Hilfskonstruktion eine Hinterlüftung des Systems sichergestellt. Die Trägerplatte mit dem pflanzentragenden Geotextil wird dabei durch die Unterkonstruktion gehalten und einwirkende Kräfte werden über die Hilfskonstruktion in die tragende Außenfassade oder in das eigene Fundament abgeleitet. Ähnlich der modularen Bauweise, kann durch Aussparungen oder Einschnitte die Begrünung an die individuellen architektonischen Gegebenheiten (Fenster, Balkone) angepasst werden.

Bei diesem System werden die Pflanzen mit den Wurzeln in Einschlitzungen des Geotextils befestigt. Bei größeren Pflanzen können zusätzliche Vliestaschen mit Substrat angereichert und in die Geotextile eingearbeitet werden, um die Versorgung der Pflanzen sicherzustellen, die über die übliche Substratschicht der Geotextile hinausgeht. Die Anlagen zur Bewässerung werden hierbei in der Hilfskonstruktion untergebracht. Über die Anordnung der Einschlitzungen in dem jeweiligen Textil-Substrat-System wird bereits auf die letztliche Ausgestaltung der Begrünung Einfluss genommen. Daher erfolgen die Einschlitzungen nach einem vorgefertigten Entwurf, der die jeweiligen Pflanzenansprüche (Platzanspruch/ Geselligkeit) berücksichtigt.

Bei der Auswahl der Pflanzen muss der eher gering zur Verfügung stehende Wurzelraum berücksichtigt werden. Dennoch ist eine breite Auswahl an verschiedenen Arten von Gräsern, Farnen, Moosen oder anderen Pflanzenraten möglich. Eine Vorkultivierung dieses Systems ist aufgrund der zusammenhängenden Konstruktionsweise nur geringfügig möglich. Die volle Wirksamkeit der Begrünung kann je nach eingesetzten Pflanzen mehrere Monate betragen. Die Vorteile dieses Systems lassen sich mit der modularen Bauweisen vergleichen. Durch die bodenunabhängige Versorgung, können diese Systeme auch an stark verdichteten und versiegelten Räumen eine Anwendung finden.¹⁵⁵



| |
|---|
| <p>Begrünungssystem Wandgebunden, flächig</p> |
| <p>Systemaufbau Sekundärkonstruktion mit vertikalen Substrat/ Substratersatzflächen an wartungsfreien Primärkonstruktionen</p> |
| <p>Gestaltung kurzfristige Flächenwirkung bei Vorkultivierung, Pflanzenauswahl nach Art, Belaubung, Farbgebung</p> |
| <p>Pflanzeneignung Stauden, Kleingehölze, Moose, bedingt Kletterpflanzen</p> |
| <p>Versorgung Substrat/ Substratersatz, Nährstoffhaltige Bewässerung, Pflege- und Wartungszugänglichkeit</p> |
| <p>Systemtypische Potentiale ganzjährig flächiger Witterungs-, Strahlungsschutz, Kühlung durch Bewässerung und Verdunstungsleistung, bodenfrei</p> |
| <p>Kosten Investition ca. 400-1200€/m² Pflege/Wartung ca. 40€/m² pro Jahr</p> |

Abbildung 26: Übersicht Eigenschaften Wandgebundene flächige Systeme, in Anlehnung an: Pfoser et. al. (2013)

¹⁵⁴ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 50

¹⁵⁵ vgl. ebd. S. 50f.

4.4.3 Mischformen

Aufgrund der oftmals schwierigen örtlichen Gegebenheiten, einem besonderen Gestaltungsziel oder einer gewünschten Funktionsweise, kann es notwendig werden eine Kombination aus boden- und wandgebundenen Begrünungssystemen einzusetzen. Für eine Anwendung eignen sich hier besonders bodengebundene Systeme mit einer hohen Begrenzung, die durch wandgebundene Systeme in den höheren Ebenen erweitert werden. Mit Hilfe der wandgebundenen Systeme können bereits vorhandene Begrünungen durch Kletterpflanzen ergänzt werden und eine größere Bedeckung der Fassade wird erreicht. Gleichzeitig kann durch die Ergänzung von vorkultivierten Pflanzen bei wandgebundenen Systemen sofort eine zusätzliche Wirkung erzielt werden.

Dabei können durch die unterschiedlichen Systemen Kontraste erarbeitet werden, die als gestalterische Mittel dienen können. Aber auch ein kontrastloser Übergang zwischen den Techniken ist möglich. Ein weiteres Motiv zur Anwendung eines Mischsystems kann der Kostenfaktor darstellen. Da die bodengebundenen Systeme gegenüber den wandgebundenen Begrünungstechniken eher kostengünstig sind, stellen Mischformen eine Alternative zur Kosteneinsparung dar.¹⁵⁶ Gleichzeitig eröffnet sich durch die breitere Pflanzenauswahlmöglichkeit aller zur Verfügung stehender Systeme, eine sehr große individuelle Gestaltungsmöglichkeit.

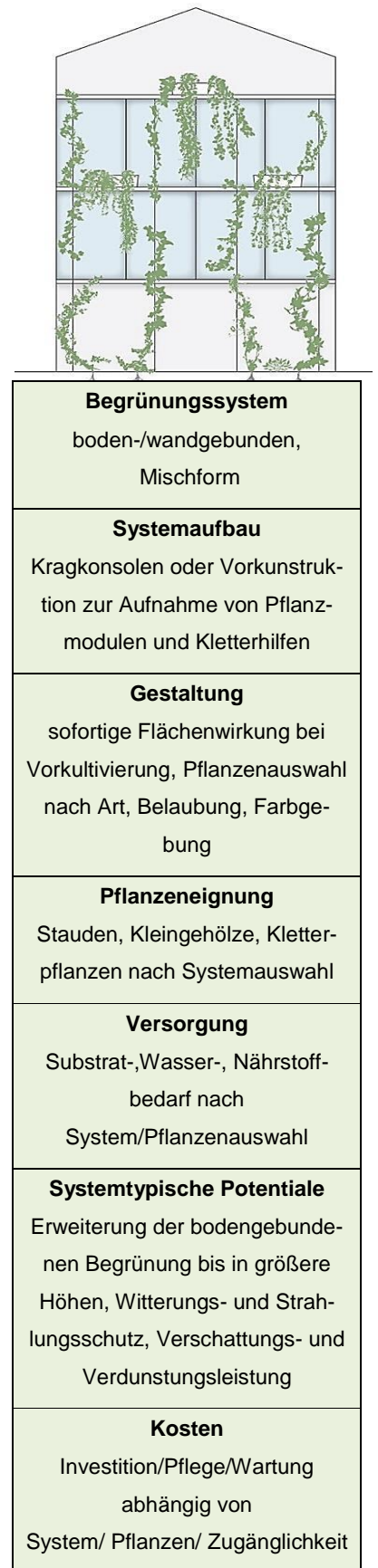


Abbildung 27: Übersicht Eigenschaften Mischformen, in Anlehnung an: Pfoser et. al. (2013)

¹⁵⁶ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 52 f.

4.5 Arten und Potentiale der Dachbegrünungen

Die Begrünung unserer Dächer ist keine Erfindung der Neuzeit, sondern hat bereits länger Tradition. Auf Bildnissen der hängenden Gärten von Babylon als eines der antiken Weltwunder sind blühende und begrünte Terrassen und Dächer zu sehen. Aber auch aus den skandinavischen Ländern sind Grasdächer bekannt, die aufgrund ihrer Wärmedämmwirkung in diesen kalten Klimaregionen eingesetzt wurden.¹⁵⁷

Prinzipiell lassen sich auch die Dachbegrünungen in zwei wesentliche Arten unterscheiden: die Extensivbegrünung und die Intensivbegrünung. Darüber hinaus gibt es auch hier Sonderformen der Begrünung, die auf eine sofortige Vollbegrünung ausgelegt sind oder besondere Regenrückhalteigenschaften aufweisen. Die Extensive Dachbegrünung lässt sich auf schrägen und flachen Dachflächen anwenden. Diese Begrünungsform ist in verschiedenen Varianten umsetzbar, von der Direktbegrünung von Stein- oder Ziegelflächen bis hin zu unterschiedlich einsetzbaren Trägersystemen mit Substratböden, Schüttungen oder Textilsystemen sind verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten gegeben. Diese Systeme lassen eine Pflanzenauswahl von Moosen, Sedumteppich, Stauden und Kleingehölzen zu und zeichnen sich durch einen geringen Kosten- und Wartungsaufwand auf.¹⁵⁸

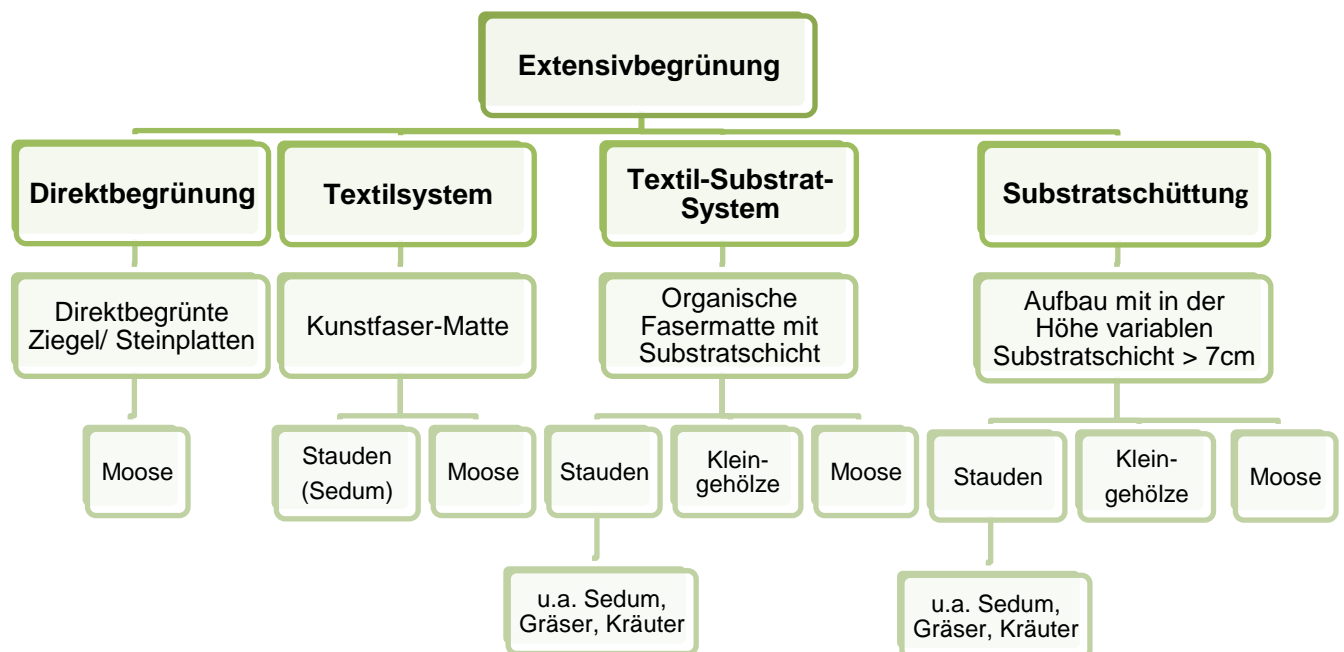


Abbildung 28: Systematik Extensivbegrünung, in Anlehnung: an Pfoser et. al. (2013)

¹⁵⁷ vgl. Landskron (o.J.)

¹⁵⁸ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 56

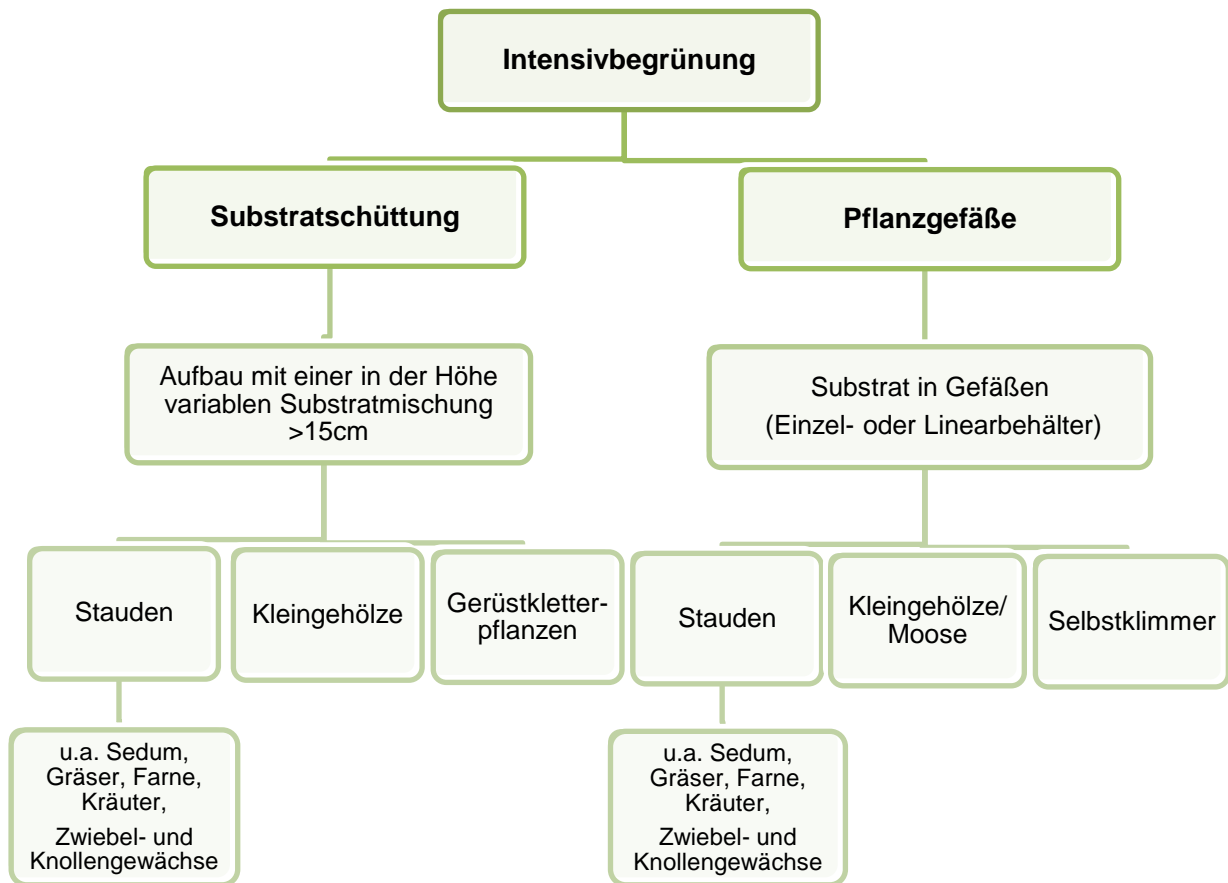


Abbildung 29: Systematik Intensivbegrünung, in Anlehnung an: Pfoser et. al. (2013)

Bei der intensiven Dachbegrünung hingegen handelt es sich um die Begrünung von genutzten Dachgärten oder Grünanlagen über unterirdischen Bauten, wie Tiefgaragen. Bei dieser Art der Begrünung besteht durch die öffentliche Zugänglichkeit der Grünanlage eine höhere mechanische oder auch klimatische Belastung. Außerdem werden hier oftmals höhere Ansprüche an die Ausgestaltung der Grünanlage gestellt, beispielsweise durch weniger Einschränkungen bei der Pflanzenwahl. Bei diesem System soll nach Möglichkeit eine Nachbildung des natürlichen Bodens geschaffen werden. Mit dem Einsatz von speicherfähigen Substraten kann eine Schütthöhe von ca. 15cm ausreichen, um den natürlichen Boden nachzubilden. An Standorten, an denen flächige Schüttungen nicht möglich sind oder aufgrund der Pflanzenwahl ein höheres Wurzelvolumen benötigt wird, kann mit Pflanzgefäßen Abhilfe geschaffen werden.¹⁵⁹

Der Aufbau eines Gründaches ist bei den meisten Systemen relativ gleich und kann in unterschiedliche Layer unterteilt werden. Die unterste Schicht eines Gründaches bildet dabei immer das eigentliche Dach des Gebäudes, das aus verschiedenen Materialien wie beispielsweise Metall oder Beton bestehen kann. Auf das Dach wird im ersten Schritt eine wasserdichte Schicht aufgetragen, die das Gebäude vor möglichen Schäden zusätzlich schützen soll.

¹⁵⁹ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 56 f.

Über der wasserdichten Schicht wird eine Schutzschicht installiert, die verhindern soll, dass die Wurzeln der Pflanzen die Dichtigkeit der unterliegenden Schicht beschädigen. Als zusätzlicher Schutz können außerdem noch Schutzmatten installiert werden, die ebenfalls die unteren Schichten vor mögliche Schäden schützen sollen. Über diese Schutzschichten wird das Drainagesystem installiert, welches das überschüssige Wasser ableiten soll. Um Verunreinigungen des Systems und damit auch mögliche Folgeschäden zu verhindern, wird eine Filterschicht über der Drainage installiert. Diese soll verhindern, dass Substrat oder Pflanzenteile in die Drainage gelangen. Über diese Filterschicht wird letztlich das Substrat als Pflanzenträger aufgeschüttet. In das Substrat selbst wird die gewünschte Vegetation gepflanzt.¹⁶⁰

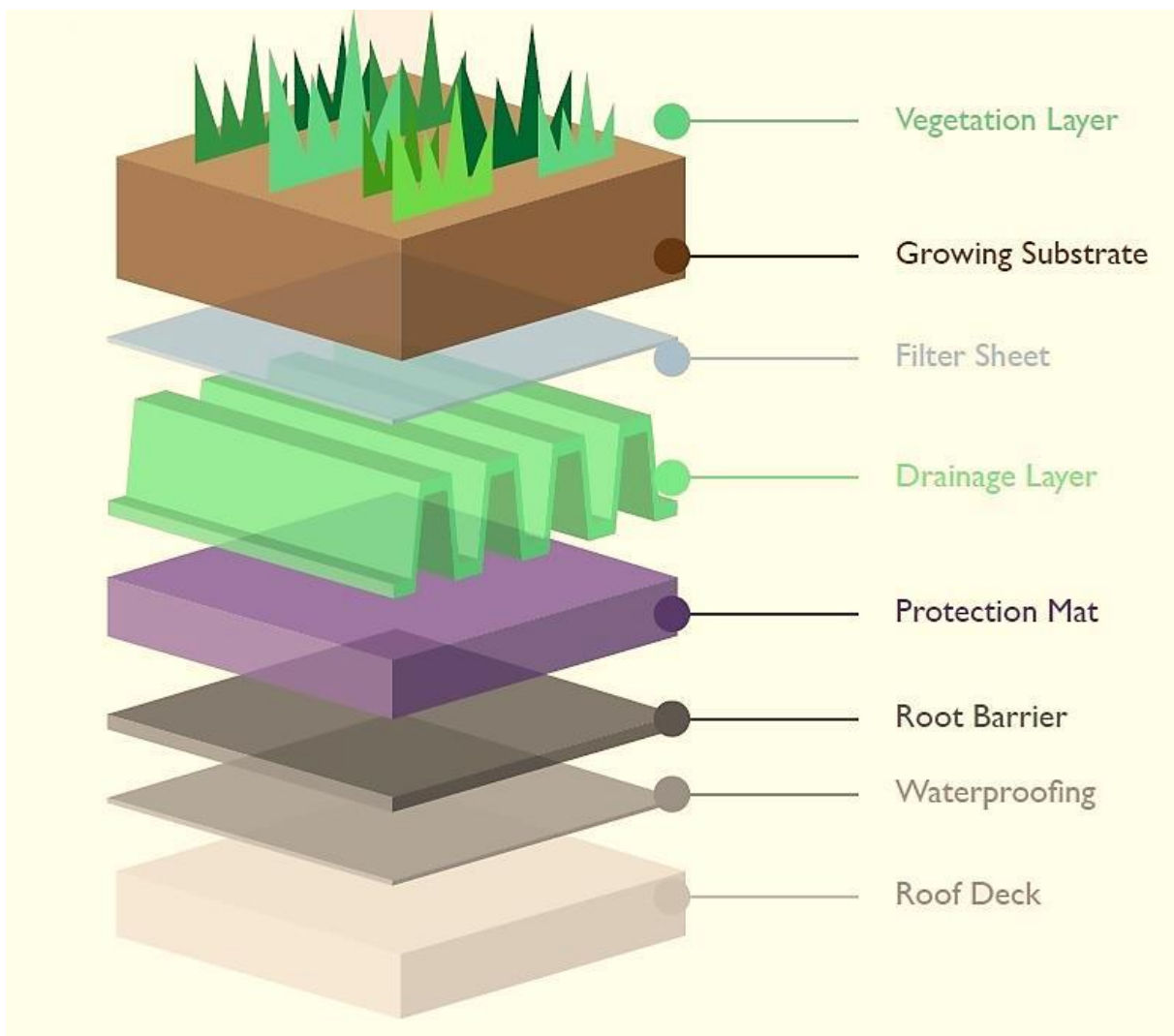


Abbildung 30: Layers of green roof. State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries (2014)

¹⁶⁰ vgl. State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries (2014) S. 67 ff
Seite | 59

4.5.1 Systeme der Extensiven Dachbegrünung

Wie bei den Fassadenbegrünungen gibt es auch bei den unterschiedlichen Arten der Dachbegrünung Varianzen in ihrer jeweiligen Bauweise. Abbildung 28 zeigt die vier wesentlichen Systeme der Extensiven Dachbegrünung: die Direktbegrünung, die Begrünung durch Textilsysteme oder Textil-Substrat-Systeme und die Begrünung mit Hilfe von Substrataufschüttungen. Diese vier Systeme sollen nachfolgend kurz vorgestellt werden.

4.5.1.1 Direktbegrünung

Bei der Direktbegrünung wird eine wasserabweisende Flächenabdichtung des Daches vorausgesetzt. Auf das eigentliche Dach wird eine Unterkonstruktion mit einem flächenbündigen System aus rauen oder porösen Platten angelegt. Durch die raue und poröse Oberfläche der Platten, kann Regenwasser besser zurückgehalten werden, wodurch eine höhere Oberflächenfeuchte für die Moosbildung erzielt werden kann. Damit die Moosbildung auch nur an der gewünschten Oberfläche stattfindet, sind die Platten mit einer integrierten Wassersperre und Dammschicht ausgestattet. An geneigten Dachkonstruktionen besteht die Möglichkeit des Einsatzes von überlappenden Ziegeln mit denselben Eigenschaften der Plattensysteme. Eine Vorkultivierung der Platten ist möglich, womit eine sofortige Begrünung erzielt werden kann. Die ca. 100 verschiedenen Moosarten und über 100 Flechtenarten lassen ein breites Spektrum an Ausgestaltungsmöglichkeiten offen. Diese Art der Begrünung erfordert keinen besonderen Wartungsaufwand.¹⁶¹

4.5.1.2 Textilsysteme

Die Textilsysteme bestehen aus einem wasserspeichernden Vlies und einem Wirrgewebe, das als Pflanzenhalter dient. Diese Mattensysteme werden direkt auf der Dachabdichtung installiert und besitzen ein Gewicht von ca. 20kg/m². Für eine dauerhafte Grünwirkung kann es notwendig sein ein künstliches Bewässerungssystem anzulegen. Der Einsatz von Textilmatten bietet die Möglichkeit der Vorkultivierung und damit eine sofortige Begrünung durch Moosteppiche. Bei unkultivierten Rohmatten mit lediglich eingebrachten Sprossen benötigt ein flächiger wirksamer Anwuchs der Vegetation ca. drei bis vier Jahre. Gestalterische Möglichkeiten ergeben sich bei diesem System aus der Wahl und Anordnung der verschiedenen Moosarten innerhalb des Mattensystems. Der Investitions- oder Wartungsaufwand ist bei richtiger Installation eher gering, jedoch kann ein gegebenenfalls notwendiges künstliches Wässerungssystem zusätzliche Kosten verursachen.¹⁶²

¹⁶¹ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 62 f.

¹⁶² vgl. ebd. S. 64

4.5.1.3 Textil-Substrat Systeme

Das System der Textil-Substrat-Matten ist stark mit dem einfacheren Textilsystem verwandt und unterscheidet sich daher kaum im Aufbau. Anders als bei dem zuvor beschriebenen reinen Textilsystem befindet sich bei diesem Systemaufbau eine zusätzliche Substratschicht auf einem Speichervlies unter der Pflanzenträgermatte. Durch die Substratschicht besteht eine zusätzliche Wasserspeichermöglichkeit und die Pflanzen haben weiteren Wurzelraum zur Verfügung. Dadurch wird eine größere Pflanzenauswahl bei der Gestaltung der Begrünung ermöglicht. Durch die Substratschicht werden die Versorgungsbedingungen der Pflanzen verbessert, wodurch eine bessere Entwicklung und dichter Bewuchs stattfinden kann. Dabei wird auch dieses Mattensystem direkt auf der Dachkonstruktion fixiert. Eine Vorkultivierung des Systems ist ebenfalls möglich, je nach Pflanzenwahl können die Matten zwischen 30 und 90 kg/m² wiegen. Aufgrund der zusätzlichen Substratschicht liegen die Investitionskosten höher als beim reinen Textilsystem, der allgemeine Wartungsaufwand ist allerdings auch hier als gering anzusehen.¹⁶³

4.5.1.4 Substratschüttungen

Bei den Substratschüttungen wird oberhalb einer Drainage- und Abdichtungsschicht das Substrat, bestehend aus wasserspeichernden, lufthaltenden und organischen Materialien, in einer bestimmten Dicke, aufgeschüttet. Es kann von einer Drainageschicht abgesehen werden, wenn das Substrat sehr gute wasserspeichernde Eigenschaften besitzt und somit eine Abführung des überflüssigen Wassers nicht notwendig ist. Durch die Sicherstellung der Pflanzenversorgung mit Hilfe des Substrats, sind die Möglichkeiten bei der Ausgestaltung der Begrünung entsprechend höher anzusehen als bei den bisher vorgestellten Systemen. Das gesamte Begrünungssystem kann je nach Höhe der Substratschüttung ein Gesamtgewicht von 50 -190 kg/m² erreichen. Durch das hohe Gewicht kann eine zusätzliche Befestigung der unterliegenden Abdichtungsschicht überflüssig sein. Aufgrund des hohen Gewichts und der damit verbundenen Gefahr des Abrutschens des Substrats, eignen sich die Substratschüttungen nur bedingt für Dachneigungen. Der Pflege- und Wartungsaufwand dieser Systeme ist eher gering, es kann lediglich durch Witterungseinflüsse zu Verschiebungen in der Substratschicht kommen, die ausgeglichen werden müssen. Durch das Substrat selbst wird allerdings die Wasserspeicherkapazität erhöht, was eine zusätzliche Bewässerung überflüssig machen kann.¹⁶⁴

¹⁶³ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 65

¹⁶⁴ vgl. ebd. S. 66

4.5.2 Systeme der Intensiven Dachbegrünung

Abbildung 29 zeigt die zwei Systemvariationen der intensiven Dachbegrünung, welche oftmals auch in Kombination miteinander auftreten. Die intensive Dachbegrünung unterscheidet sich gegenüber der extensiven vor allem durch die Höhe der Substratschicht, die damit erhöhte Pflanzenauswahlmöglichkeit und das erhöhte Gewicht. Neben den Substratschüttungen ist allerdings auch der Einsatz von Pflanzgefäßen möglich. Nachfolgend sollen die beiden Systemvariationen der intensiven Dachbegrünung näher betrachtet werden.

4.5.2.1 Substratschüttungen

Bei der intensiven Dachbegrünung handelt es sich um Substratschüttungen von >15 cm, die auf eine Unterkonstruktion, wie in Abbildung 30 dargestellt, aufgetragen werden können. Der Höhe der Schüttung ist dabei nur durch die Statik des Gebäudes eine Grenze gesetzt. Allerdings sollte bei einer solchen Konstruktion darauf geachtet werden, dass eine leichte Neigung gegeben ist, um das überschüssige Wasser ableiten zu können. Die hohen Substratschichten lassen es zu, dass der Pflanzenauswahl bei der Gestaltung keine Grenzen gesetzt sind, selbst kleinere Bäume mit geringen Wurzeltiefen sind möglich. Aufgrund des vergleichsweise sehr hohen Gewichts, muss die zu begrünende Anlage eine hohe statische Tragkraft aufweisen. Intensivbegrünungen mit hohen Schüttungen sind deshalb oftmals nur bei massiven Betonbauwerken, wie unterirdischen Tiefgaragen anzutreffen. Der Investitionsaufwand einer solchen Begrünung ist stark von der Höhe der Schüttung abhängig und lässt sich daher nur schwer festlegen. Da es sich bei Intensivbegrünungen um gartenähnliche Anlagen handelt, kann der Wartungsaufwand mit herkömmlichen Gartenanlagen verglichen werden. Daher sollte für die Pflege und mögliche zusätzliche Bewässerung mit 3 - 5€/m² pro Jahr gerechnet werden. Gegenüber den extensiven Begrünungssystemen besteht der Vorteil dieser Variante vor allem in den großen gestalterischen Möglichkeiten. Diese Begrünungen können als Freizeit- und Erholungsflächen oder auch zum Anbau von Nutzpflanzen genutzt werden. Durch die erhöhte Vegetationsvielfalt können sie auch Lebensräume für verschiedene Insekten und Vogelarten sein.¹⁶⁵

4.5.2.2 Pflanzgefäße

Bei der Intensivbegrünung können auch Pflanzgefäße zum Einsatz kommen. Der große Vorteil bei der Nutzung von Pflanzgefäßen liegt in der höheren Flexibilität. Die Pflanzenwahl sowie die Standorte können individuell angepasst und jederzeit einfach verändert werden. Die Vorkultivierung der Pflanzgefäße ist möglich, wobei die Pflanzenwahl Einfluss auf die

¹⁶⁵ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 67

Dimensionierung des Pflanzgefäßes hat. Bei dem Einsatz von Pflanzbehältern ist es wichtig Staunässe zu vermeiden. Ein Drainagesystem wird daher empfohlen. Bei der Nutzung der Pflanzgefäße ist es wichtig auf die Belastungen des Untergrundes zu achten. Bei empfindlichen Materialien müssen druckverteilende Platten verlegt werden, um Beschädigungen zu vermeiden. Die Wartung der Pflanzgefäße samt Inhalt kann über den reinen Erhaltungszweck hinaus sicherheitsrelevant sein. Im öffentlichen Raum können die Gefäße verrückt dadurch und zu einem Sicherheitsrisiko werden.¹⁶⁶

4.6 Pflanzliche und bautechnische Schäden

Denkt man an Gebäudebegrünung, so verbindet man meistens als erstes ein historisches, mit Efeu bewachsenes Gebäude mit dieser Vorstellung. Allerdings kommen einem oftmals auch kaputte, rissige Fassaden mit Resten von Kletterpflanzen in den Sinn. In der Regel können Schäden durch Begrünung durch die richtige Planung, Ausführung und Pflanzenwahl vermieden werden. Selbstklimmer können vor allem durch ihre Haftorgane Schäden an der Wandoberfläche verursachen. Dabei werden Anstriche an der Gebäudeoberfläche durch die Pflanze chemisch abgelöst, damit die Haftorgane direkt an den mineralischen Wandoberflächen haften können. Selbst bei einer Entfernung der Begrünung bleiben die Haftorgane meist zurück und können nur mühselig beseitigt werden. Zudem können durch die chemischen Stoffe der Pflanzen Verfärbungen auftreten. Eine oftmals unterschätzte Kraftentwicklung der Pflanzen und ein zu geringer Rückschnitt kann zum Lösen, Verformen oder Zerstören von Bauteilen führen. Lichtfliehende Pflanzen können in Fugen oder Rissen einwachsen und durch ihr Wachstum zu größeren Schäden in der Fassade führen. Daraus können wiederum Folgeschäden durch eindringende Feuchtigkeit und Frost entstehen. Bei zu feuchter Haltung der Pflanzen kann es zu Schimmel- oder Pilzbildungen kommen. Dadurch können sowohl die Pflanzen selbst als auch die Wandoberflächen geschädigt werden. Bei der Nutzung von Wuchshilfen kann es bei einer Überbeanspruchung aufgrund zu hoher Lasten zu Abbrüchen kommen. Aber auch die Pflanzen selbst können, durch falsche Standortwahl oder Verunreinigungen in Boden und Wasser, Schäden erleiden. Bei Dachbegrünungen kommt es häufig zu Undichtigkeiten. Da die Schäden jedoch durch die Begrünung und die Dachunterschicht oftmals lange verdeckt bleiben, kann es hier zu besonders großen Beeinträchtigungen kommen. Die Ursachen für solche Undichtigkeiten können Fehler bei der Konstruktion des Systems, durch beispielsweise fehlerhafte Ver fugungen, sein. Durch mangelnde Wartung kann es auch zu Schäden bei den Begrünungen kommen. Das Substrat könnte verwaschen werden oder die Pflanzen durch mangelnde Bewässerung absterben.¹⁶⁷

¹⁶⁶ vgl. Pfoser et. al. (2013) S. 70

¹⁶⁷ vgl. ebd. S. 75

4.7 Zusammenfassende Betrachtung der Gebäudebegrünung

Die Gebäudebegrünung hat sich im Laufe der Zeit weiterentwickelt und besteht heute nicht mehr nur aus den historischen Begrünungen durch Selbstklimmer. Bereits in früheren Zeiten wurden die positiven Effekte von Begrünungen, wie beispielsweise die Dämmwirkung oder Verdunstungskälte genutzt. Durch moderne Techniken ist es heute möglich, fast jede Art von Gebäude zu begrünen. Konkrete rechtliche Regelungen, die eine Gebäudebegrünung verbindlich verlangen, gibt es nur sehr selten, meist handelt es sich eher um Kann-Bestimmungen. Prinzipiell ist eine Gebäudebegrünung allerdings nicht verboten, es sei denn, es handelt sich um denkmalgeschützte Gebäude. Mit der Begrünung eines Gebäudes kann nicht nur die Gebäudehülle selbst optimiert werden, sondern die Begrünung trägt zur Aufwertung des direkten Umfeldes bei. Die Verdunstungskälte der Begrünung trägt zur Kühlung der Umgebung im Sommer bei, während in den kälteren Jahreszeiten die Dämmwirkung der Pflanzen zur Wärmeerhaltung der Gebäudehülle beiträgt. Gleichzeitig bilden Begrünung einen Lebensraum für Vögel und Insekten oder können als Erholungs- und Freizeitfläche genutzt werden. Damit können Begrünungen nicht nur Kosten einsparen, sondern verbessern gleichzeitig das Lebensumfeld der Anwohner. Die Vielseitigkeit der zur Verfügung stehenden Techniken der Fassaden- und Dachbegrünung ermöglichen je nach örtlichen Gegebenheiten individuelle Lösungsmöglichkeiten für die Installation einer Begrünung. Das große Spektrum an unterschiedlichen Begrünungssystemen und deren Aufbau verdeutlicht jedoch auch, dass nicht mehr nur rein die Pflanzen aus Lärmschutzsicht interessant sind, sondern die Lärm-minderungseigenschaften der gesamten Konstruktion berücksichtigt werden müssen. Moderne Begrünungssysteme bestehen aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Schichten mit jeweils unterschiedlichen Materialien. Durch die Vielzahl von unterschiedlichen Materialien und Schichtdicken können die Lärm-minderungseigenschaften der Systeme stark variieren.

Trotz der vielen positiven Eigenschaften sind Gebäudebegrünungen im städtischen Raum eher selten anzutreffen. Die oftmals vielseitigen Besitzverhältnisse, die Anschaffungskosten sowie die Frage der Zuständigkeit für Pflege und Wartung scheinen Hindernisse für die Gebäudebegrünung darzustellen. Darüber hinaus stellen mögliche Schäden an der Gebäudehülle durch ungeeignete Begrünungssysteme oder bautechnische Mängel weitere Hemmnisse für die Installation einer Begrünung dar.

5. Untersuchung der Lärminderungswirkung von Fassadenbegrünungen im innerstädtischen Raum

Nachdem die verschiedenen Arten und Potentiale der Gebäudebegrünung sowie die lärm-mindernden Eigenschaften von Begrünung aufgezeigt wurden, soll an dieser Stelle eine Parameterstudie zum Thema Lärminderungswirkung von Fassadenbegrünungen mit Hilfe einer Simulationssoftware durchgeführt werden. Hierzu galt es zunächst eine geeignete Software zu finden und ein Untersuchungsgebiet festzulegen. Im nächsten Schritt wurden die zu untersuchenden Parameter festgelegt, bevor das Untersuchungsgebiet innerhalb der Software abgebildet wurde. Letztlich wurden Simulationen mit den jeweiligen Einstellungen der Parameter vorgenommen und verglichen. Die Ergebnisse der Simulationen sollen dabei Aufschluss über das Potential von Fassadenbegrünungen hinsichtlich ihrer Lärmminde-rungswirkung geben.

5.1 Auswahl der Simulationssoftware

Um die Simulation von Gebäudebegrünungen durchführen zu können, war es zunächst not-wendig eine geeignete Software zu finden, die eine Lösung bereitstellt. Hierzu wurden die Lärmsimulationsprogramme SoundPLAN, CadnaA (Computer Aided Noise Abatement) und IMMI näher betrachtet. Nachdem eine erste Betrachtung der Programme stattgefunden hat-te, wurde schnell deutlich, dass alle drei sehr ähnliche Funktionsweisen besitzen und keine direkte Möglichkeit bieten, um Gebäudebegrünungen zu berücksichtigen. Daraufhin wurden Anfragen an die Hersteller der jeweiligen Softwares gestellt, inwiefern eine Lösung zur Berücksichtigung von Gebäudebegrünungen innerhalb des Programmes bekannt sei.

Die Antworten der Hersteller fielen dabei sehr ähnlich aus. Innerhalb der Programme selbst gäbe es keine Funktionen, um eine Gebäudebegrünung direkt zu berücksichtigen. Da die Programme mit anerkannten Rechenvorschriften für die Immissionsberechnung arbeiten, muss eher die Frage gestellt werden, ob es eine gültige Vorschrift gibt, die eine Begrünung bei der Berechnung berücksichtigt. In der DIN ISO 9613-2: „Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeine Berechnungsverfahren“ konnte eine Be-rücksichtigung der Schalldämpfung durch Vegetationen gefunden werden. Hier wird die Schalldämpfung von Bäumen und Blättern in Abhängigkeit zu der Entfernung zwischen Lärmquelle und Empfänger berücksichtigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Voll-begrünung vorherrscht und kein Sichtkontakt zwischen Quelle und Empfänger möglich ist. In diesem Fall kann die Vegetationsdämpfung bei einem Abstand von 20m - 200m je nach Fre-quenzbereich zwischen 0,02dB/m und 0,12 dB/m betragen.¹⁶⁸

¹⁶⁸ vgl. DIN ISO 9613-2 (1996) S. 15

Da es sich bei Gebäudebegrünungen allerdings nicht um Begrünungen im Sinne der DIN-Norm handelt und die Begrünung keine Breiten von mehreren Metern aufweisen, scheint diese Berechnungsvorschrift unbrauchbar. Gleichzeitig kommen bei der Gebäudebegrünung zusätzliche Materialien zum Einsatz, die Einfluss auf die Schallausbreitung nehmen können. Da es keine Rechenvorschrift für die Berücksichtigung von Gebäudebegrünungen innerhalb der Programme gibt, musste nach einer anderen Möglichkeit gesucht werden, um Gebäudebegrünungen bei der Simulation zu berücksichtigen.

Die untersuchten Programme bieten die Möglichkeit je nach angewendeter Rechenvorschrift den Absorptionsgrad der Gebäudefassade zu verändern. Damit besteht die Möglichkeit den Fassaden selbst reflektierende bzw. absorbierende Eigenschaften zuzuweisen. Auf Grundlage von vorangegangenen Untersuchungen und Labormessungen, wurden unterschiedliche Absorptionsgrade für Begrünungssysteme ermittelt, die bei der Simulation den Gebäudefassaden zugeordnet werden können. Eine Möglichkeit für die Berücksichtigung von Dachbegrünungen wurde auch nach Rücksprache mit den Herstellern nicht gefunden. Da Dachbegrünungen selbst aber eher geringen Einfluss auf den Lärmpegel innerhalb des Straßenraums haben, können solche Begrünungen an dieser Stelle auch vernachlässigt werden.

Da die Möglichkeiten aller untersuchten Anwendungsprogramme sehr ähnlich sind, wurde die Wahl der benutzten Simulationssoftware letztlich durch die Zugänglichkeit zur Software entschieden. In dieser Arbeit wird daher das Programm CadnaA genutzt, welches als Vollversion bereits am Lehrstuhl zum Gebrauch vorhanden ist.

5.2 Vorstellung des Untersuchungsgebietes

Bei der Simulation der Auswirkungen von Gebäudebegrünungen auf die Schallausbreitung im innerstädtischen Raum sollte nach Möglichkeit ein realitätsnahes Szenario berücksichtigt werden. Dadurch soll sichergestellt werden, dass es sich bei der Simulation um natürlich gewachsene Räume handelt, die eine typische, realitätsnahe Dimensionierung und Gestaltung aufweisen. Aufgrund dessen wurde ein innerstädtisches Beispiel in der Hansestadt Hamburg gewählt, welches im Programm nachgebildet wurde. Dabei handelt es sich um einen Bereich des Stadtteils St. Georg mit direkter Nähe zum Hamburger Hauptbahnhof und dem Zentralen Omnibusbahnhof. Dieses Gebiet wurde gewählt, da es im Rahmen des Projektes „KLIQ- Klimafolgenanpassung innerstädtischer hochverdichteter Quartiere in Hamburg“ bereits auf das Gründachpotential hin untersucht wurde und somit ein Anknüpfungspunkt gegeben ist.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich im Süden entlang der Adenauerallee bis zur Ecke Pulverteich. Im Westen wird das Gebiet durch die Kirchenallee, im Norden durch die Elmenreichstraße (nicht mehr mit berücksichtigt) sowie im Osten durch die Ecke Steindamm/ Stralsunder Straße begrenzt. In Abbildung 31 ist das Untersuchungsgebiet noch einmal durch eine rote Umrahmung dargestellt.

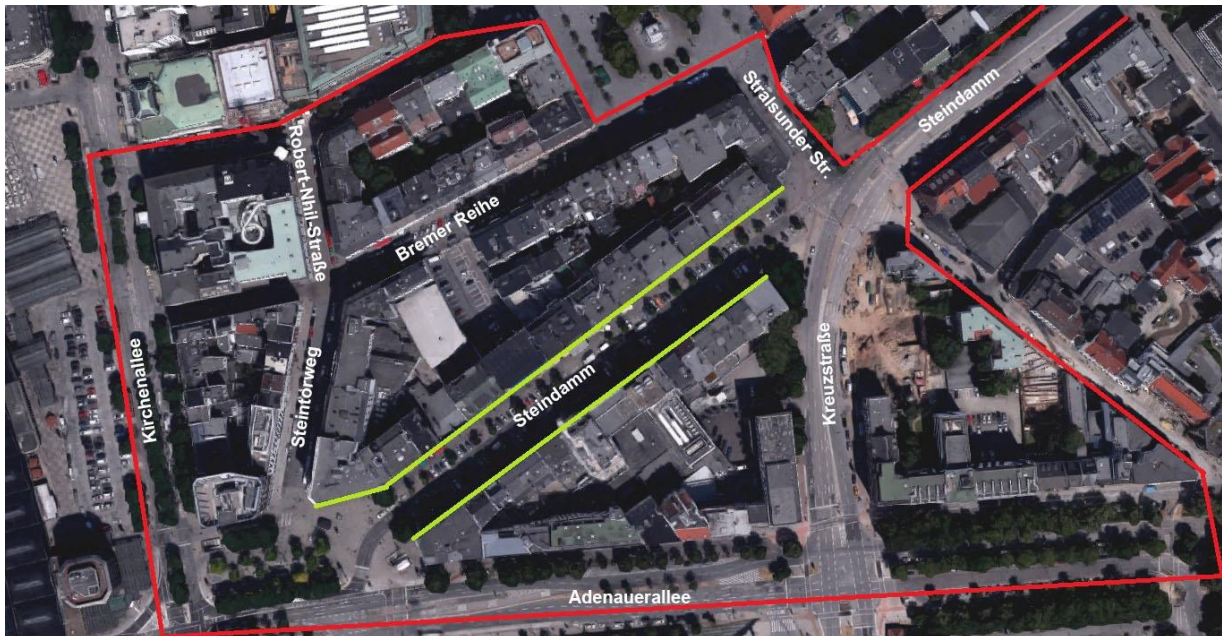


Abbildung 31: Untersuchungsgebiet, in Anlehnung an: Google(2017): Google Maps

Die eigentliche Parameterstudie erfolgt nur am Steindamm im grün dargestellten Bereich. Dennoch wurde das Untersuchungsgebiet größer gewählt, um auch die Beeinflussungen der anderen Straßen als Lärmquellen in unmittelbarer Nähe berücksichtigen zu können. Bei Begehungen wurde deutlich, dass es sich beim Steindamm entlang des grün dargestellten Bereiches, dem Steintorweg, der Bremer Reihe sowie der Robert-Nhil-Straße um eher weniger stark befahrene Straßen handelt. Hingegen sind die Kirchenallee, die Adenauerallee und die Kreuzstraße mit der Verlängerung des Steindammes sehr stark befahren. Dies wird ebenfalls durch die unterschiedliche Dimensionierung der Straßen als vier- bzw. teilweise sechsspurige Straßen deutlich.

Das Gebiet selbst kennzeichnet sich durch eine Mischnutzung aus Gewerbe und Wohnen sowie Büroflächen. Während die Gewerbeflächen sich meist über das Erdgeschoss des jeweiligen Gebäudes erstrecken, findet in den oberen Stockwerken hauptsächlich eine Wohnnutzung statt. Entlang des grün dargestellten Bereiches finden sich vor allem Vergnügungseinrichtungen, Hotels und Einzelhändler. Innerhalb des Gebietes ist eine dichte Blockrandbebauung aus verschiedenen Gebäudetypen wie Alt-, Büro- und Gewerbebauten anzutreffen.

Große Höhenunterschiede bei der Bebauung sind wie in Abbildung 32 zu erkennen ist nicht vorhanden. Die Abbildung zeigt das Untersuchungsgebiet, wie es in CadnaA für die Simulation modelliert wurde.



Abbildung 32: 3D-Modell des Untersuchungsgebietes. Eigene Darstellung

5.3 Konfiguration und Parameterauswahl

An dieser Stelle soll genauer auf die Konfigurationen eingegangen werden, die für die Simulation getroffen wurden. Gleichzeitig werden die zentralen Untersuchungsparameter vorgestellt, die durch die Simulation analysiert werden sollen.

Konfiguration

Da die Berechnung der Schallausbreitung nach verschiedenen Vorschriften erfolgen kann, galt es zunächst eine geeignete Vorschrift zu wählen, nach der die Berechnung stattfinden soll. Der Verkehrslärm stellt in städtischen Räumen die größte Lärmquelle dar und soll daher auch in der Simulation als Quelle dienen. Andere Lärmquellen wie Gewerbe- oder Industrielärm werden bei der Simulation nicht berücksichtigt. Für die Anwendung auf das Untersuchungsgebiet wurde daher die RLS-90 (Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen) als Berechnungsmethode gewählt. Die Simulation findet streng nach der RLS-90 statt, Mehrfachreflexionen werden daher nicht berücksichtigt. Die Straßen wurden im Rahmen dieser Untersuchung entsprechend ihrer Größe Regelquerschnitten zugewiesen, wobei keine Vermessung der Straße stattfand und die Auswahl der Regelquerschnitte damit augenscheinlich getroffen wurde. Für die Simulation nach RLS-90 müssen der Straße Emissionswerte

zugewiesen werden. Dies kann entweder über die DTV-Werte (Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke) geschehen, aus denen dann die Emissionswerte ermittelt werden oder über direkte Eingabe der Emissionspegel für den Tag, den Abend und die Nacht. Da im Rahmen dieser Arbeit keine DTV-Werte für die berücksichtigten Straßen vorlagen, erfolgte eine Direkteingabe der Emissionspegel. Die Pegel wurden dabei aus der interaktiven Lärmkarte der Hansestadt Hamburg abgelesen. Diese wird auf der Grundlage der VBUS (Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen) ermittelt und als L_{den} (Tag-Abend-Nacht-Lärmindex) und L_{night} (Nachtlärmindex) dargestellt.¹⁶⁹ Da die einzelnen Werte, aus denen L_{den} ermittelt wurde nicht vorliegen, wurde der Wert für L_{den} aus der Lärmkarte als Tagwert angenommen und L_{night} als Nachtwert. Der Abendwert wurde bei allen Straßen im Rahmen der Simulation nicht einbezogen und daher auf Null gesetzt. Dadurch kommt es zwar zu Abweichungen gegenüber den realen Emissionswerten, jedoch ist dies für die Simulation selbst und deren Ergebnisse nicht von Bedeutung. Bei der Konfiguration der Häuser wurden reale GIS-Daten für die Grundrisse der Gebäude genutzt. Die Höhendimensionierung fand augenscheinlich statt. Die Dachformen der Gebäude wurden vereinfacht dargestellt. Innerhalb des Programmes besteht wie bereits erwähnt die Möglichkeit den Fassaden Absorptions- bzw. Reflexionseigenschaften zuzuweisen. Als Ausgangssituation wurde allen Gebäuden ein Absorptionsgrad von 0 zugewiesen und damit eine hundertprozentige Reflexion. Damit sollen andere Einflussfaktoren der Hausfassaden vermieden werden, um die Simulationsergebnisse ohne Zweifel der Begrünung zuordnen zu können. Aus diesem Grund werden auch andere Einflussfaktoren, wie beispielsweise zusätzliches Straßenbegleitgrün oder andere schallbeeinflussende Hindernisse nicht berücksichtigt.

Parameter

Eine Lärminderung kommt vor allem durch die Absorptionseigenschaften eines Körpers zustanden. Bei der Untersuchung der Auswirkung von Fassadenbegrünungen stellt damit der Absorptionsgrad einen wesentlichen Parameter dar. Auf der Grundlage von verschiedenen, bereits durchgeführten Untersuchungen, wurden Absorptionsgrade für Begrünungen ermittelt, die bei der Simulation den zu begrünenden Fassaden zugewiesen werden können.¹⁷⁰ Da die Ergebnisse allerdings sehr stark voneinander abweichen, aufgrund der verschiedenen untersuchten Begrünungen oder des unterschiedlichen Versuchsaufbaus, wird auch deutlich, dass Begrünungen nicht zwangsläufig immer die gleichen absorbierenden Eigenschaften aufweisen. Des Weiteren zeigen diese Untersuchungen, dass der Absorptionsgrad stark frequenzabhängig ist.¹⁷¹ Für diese Simulation wurden daher drei gemittelte

¹⁶⁹ vgl. Freie und Hansestadt Hamburg BUE (o.J.)

¹⁷⁰ vgl. Wong; Tan (2010); Azkorra et. al. (2015); Joen et al. (2013); Yang, H.S. (2013); Smyrnova et. al.(2010)

Absorptionsgrade gewählt, die eine Fassadenbegrünung darstellen sollen und innerhalb der Ergebnisse der Untersuchungen liegen. In der Simulation wird mit den Absorptionsgraden 0.5, 0.69, 0.9 gearbeitet. Neben den Auswirkungen des Absorptionsgrades soll bei der Simulation untersucht werden, welche Auswirkungen der Anteil der begrünten Fläche hat. Hierzu wird in der zu untersuchenden Straße zunächst von einer Vollbegrünung ausgegangen. Elemente wie Fenster und Türen, die normalerweise nicht begrünt werden, werden im ersten Schritt nicht berücksichtigt. Bei der anschließenden Betrachtung werden vor den komplett begrünten Fassaden Schirme mit einem Absorptionsgrad von Null gelegt, um die Fläche der Begrünung einzuschränken und damit Fenster und Türen berücksichtigen zu können. In einem nächsten Schritt sollen nur noch vereinzelte Gebäude innerhalb der betrachteten Straße vollständig begrünt werden.

5.4 Darstellung der Simulationsergebnisse

An dieser Stelle werden die Ergebnisse der Simulation vorgestellt. Zunächst soll dafür die Ausgangssituation des Gebietes erläutert werden, bevor die Ergebnisse der Parameterstudie dargestellt werden. Hierbei wird zwischen den Ergebnissen der Parameterstudie des Absorptionsgrades und den Ergebnissen der Parameterstudie der begrünten Fläche unterschieden. Da sich die Ergebnisse der Tagwerte nicht von den Simulationsergebnissen der Nachtwerte unterscheiden, soll im weiteren Verlauf auf die Darstellung der Nachtwerte verzichtet werden. Lediglich bei der Betrachtung der Ausgangslage werden die Nachtwerte kurz dargestellt.

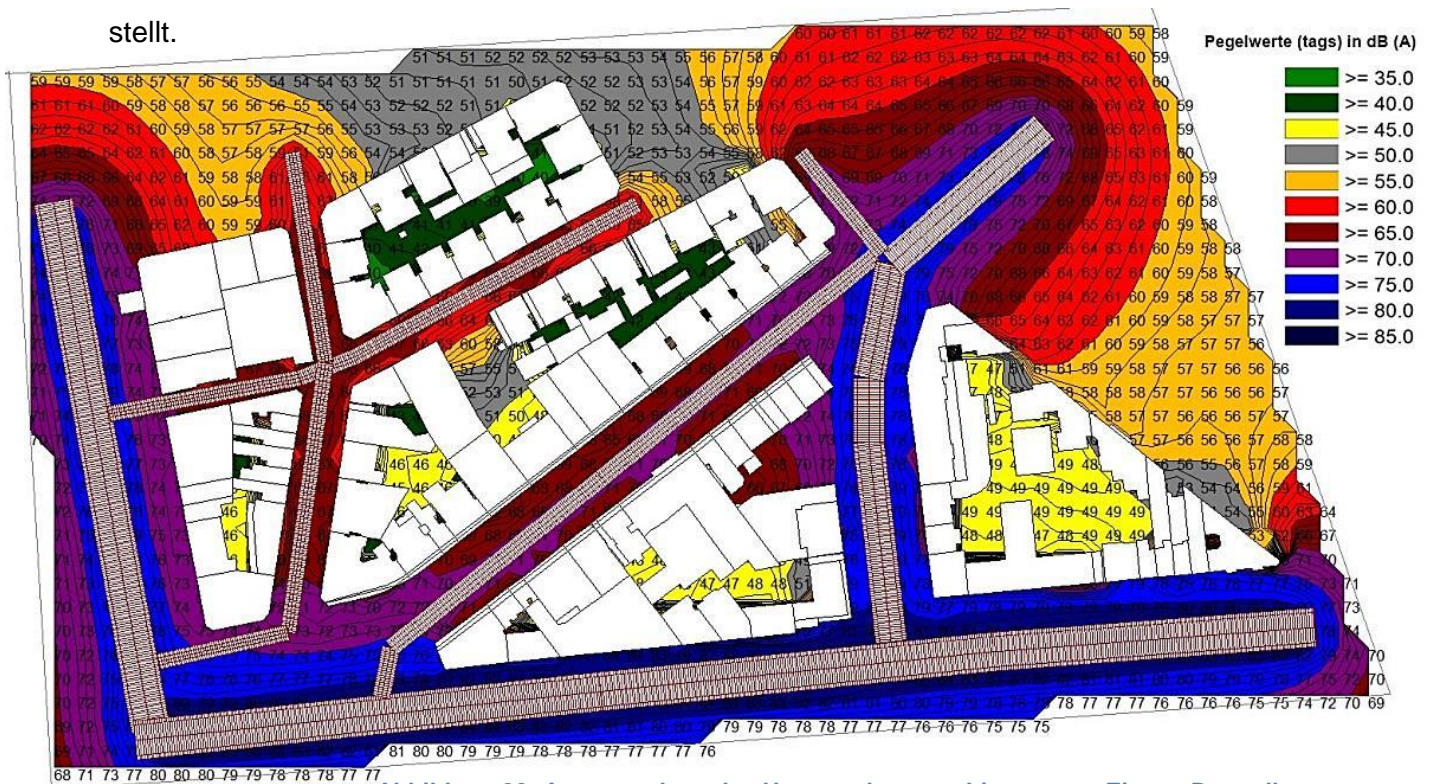


Abbildung 33: Ausgangslage des Untersuchungsgebietes tags. Eigene Darstellung

¹⁷¹ vgl. Wong; Tan (2010); Azkorra et. al. (2015); Joen et al. (2013); Yang, H.S. (2013); Smyrnova et. al. (2010)

Abbildungen 33 und 34 zeigen die auftretenden Lärmpegel des Untersuchungsgebietes am Tag und in der Nacht. Bei diesen Darstellungen handelt es sich um die Ausgangslage des Untersuchungsgebietes. Für die Berechnung wurde die zuvor beschriebene Konfiguration mit Absorptionsgrad 0 aller Fassaden verwendet. Bei der Betrachtung des Gebietes wird deutlich, dass es innerhalb des gesamten Untersuchungsraumes zu hohen Lärmbelastungen kommen kann. Die Pegelwerte liegen dabei teilweise über den Richt-, Orientierungs- oder Grenzwerten der Vorschriften im Bereich des Lärmschutzes (siehe hierzu Abb. 7).

Innerhalb des hauptsächlich betrachteten Bereiches des Steindammes kommt es in Teilen zu Pegelwerten über 70 dB (A) am Tag und über 60 dB (A) in der Nacht. Die großen und stark befahrenen Straßen Kirchenallee, Adenauerallee, Kreuzstraße und nördlicher Steindamm verursachen Pegelwerte von teilweise über 80 dB (A) am Tag. Diese starken Emittenten wirken auf das gesamte Untersuchungsgebiet. Innerhalb des zu betrachtenden Bereiches des Steindammes sind an den jeweiligen Straßenenden Pegelwert von über 70 dB(A) tags und über 60 dB (A) nachts festzustellen. Die Lärmbelastung nimmt dabei in Richtung Mitte des Steindammes ab, unterschreitet tags jedoch nie 65 dB (A) und nachts 55 dB (A). Die höheren Pegel an den Straßenenden sind vor allem durch die Nähe zur Kreuzstraße bzw. Adenauerallee zurückzuführen.



Abbildung 34: Ausgangslage des Untersuchungsgebietes nachts. Eigene Darstellung

Der Parameter Absorptionsgrad

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Simulation in Abhängigkeit des jeweils eingesetzten Absorptionsgrades dargestellt. Eine Flächeneinschränkung der Begrünung findet an dieser Stelle nicht statt, sodass jeweils von vollbegrünter Fassaden ausgegangen wird.



Abbildung 35: Pegelwerte bei Absorptionsgrad 0.5. Eigene Darstellung

Die Abbildung 35 zeigt die auftretenden Lärmpegel bei einem simulierten Absorptionsgrad von 0.5. Hierbei wird deutlich, dass die Pegel immer noch über 65 dB (A) innerhalb des Untersuchungsraumes Steindamm betragen. Auch an den jeweiligen Straßenenden werden noch Pegel von über 70 dB (A) erreicht. Auf den ersten Blick scheint es keine größeren Pegelminderungen zu geben.

Bei einem genaueren Vergleich wird allerdings deutlich, dass durchaus Veränderungen innerhalb des Gebietes auftreten. Gegenüber der Ausgangslage sind die Bereiche mit einer Lärmbelastung von über 70 dB (A) deutlich kleiner geworden. In der Mitte der untersuchten Straße sind gar keine Pegelwerte jenseits der 70 dB (A) mehr anzutreffen. Abbildung 36 verdeutlicht, welche Pegelunterschiede gegenüber der Ausgangslage bei diesem Absorptionsgrad auftreten. Die Pegelminderungen werden dabei generell immer als positive dB (A)-Werte dargestellt.



Abbildung 36: Pegeländerung gegenüber Ausgangslage bei Absorptionsgrad 0.5. Eigene Darstellung

Bei der Betrachtung der Darstellung wird deutlich, dass innerhalb des Gebietes eine flächendeckende Lärmreduzierung erreicht werden kann. Bei einem Absorptionsgrad von 0.5 sind in einigen Bereichen Reduzierungen von mehr als einen dB (A) möglich. Im mittleren Bereich der Straße sind die Minderungen größer als an den Straßenenden. Allerdings zeigt sich auch, dass sich die Minderungen teils inselartig innerhalb der Straße verteilen. Aufgrund der unterschiedlichen Gebäudestrukturen und Gebäudehöhen, scheint es hier zu Schwankungen innerhalb der Pegelminderungen zu kommen. Die maximale Pegelminderung, die bei diesem Absorptionsgrad erreicht werden kann, liegt zwischen 1,2 dB (A) und 1,4 dB (A).

Bei der Simulation mit einem Absorptionsgrad von 0.69 zeichnet sich ein ähnliches Bild ab. An den Straßenenden sind die Lärmpegel weiterhin deutlich höher als in der Straßenmitte des Untersuchungsraums. Allerdings verkleinert sich der Bereich, in dem Pegel von über 70 dB (A) auftreten. Gleichzeitig sind erstmals auch Pegelwert unter 65 dB (A) festzustellen (siehe Abbildung 37).

Die Pegelveränderungen gegenüber der Ausgangslage zeigen sich auch hier deutlich. An den Straßenenden sind wiederum die Effekte deutlich geringer als in der Straßenmitte des Steindamms. Bei einem Absorptionsgrad von 0.69 zeigt die Simulation eine maximale Pegelminderung von ca. 1,8 dB (A).



Abbildung 37: Pegelwerte bei Absorptionsgrad 0.69. Eigene Darstellung

Die Verteilung der Pegelminderungen ist auch in diesem Beispiel sehr inelartig. Zwar sind im gesamten Straßenraum des Steindamms Minderungen festzustellen, diese fallen jedoch sehr unterschiedlich aus. Während in den Randbereichen gerade einmal Minderungen von bis zu 0,4 dB (A) erreicht werden, treten im mittleren Bereich der Straße Minderungen von ca. 1,4 dB (A) und mehr auf. Allerdings ist auch eine Ausnahme innerhalb des mittleren Bereiches festzustellen. Im nördlichen Bereich der Straße befindet sich ein kleiner Bereich mit einer Pegelminderung von lediglich ca. 0,4 dB (A).



Abbildung 38: Pegeländerung gegenüber Ausgangslage bei Absorptionsgrad 0.69. Eigene Darstellung

Bei der Simulation mit einem Absorptionsgrad von 0.9 setzt sich die Entwicklung der Pegelwerte fort. Innerhalb der untersuchten Straße werden kaum noch Pegelwerte von über 70 dB (A) erreicht. Stattdessen sind zunehmend Bereiche mit Pegelwerten unter 65 dB (A) festzustellen (siehe Abb. 39).



Abbildung 39: Pegelwerte bei Absorptionsgrad 0.9. Eigene Darstellung

Die Verteilung der unter-

schiedlichen Pegel bleibt inselartig, entsprechend den vorherigen Ergebnissen. Insgesamt kann in Teilbereichen der Straße eine Reduzierung des Lärmpegels von mehr als 2,4 dB(A) erzielt werden. Es wird flächendeckend in weiten Teilen der Straße mindestens eine Lärm-minderung von 1 dB (A) erzielt. Der Effekt der Begrünung bleibt weiterhin auf den begrünten Straßenzug beschränkt. An den jeweiligen Enden der Straße treten deutlich geringere Pegeländerungen auf, gegenüber anderen Teilbereichen des Straßenzuges.

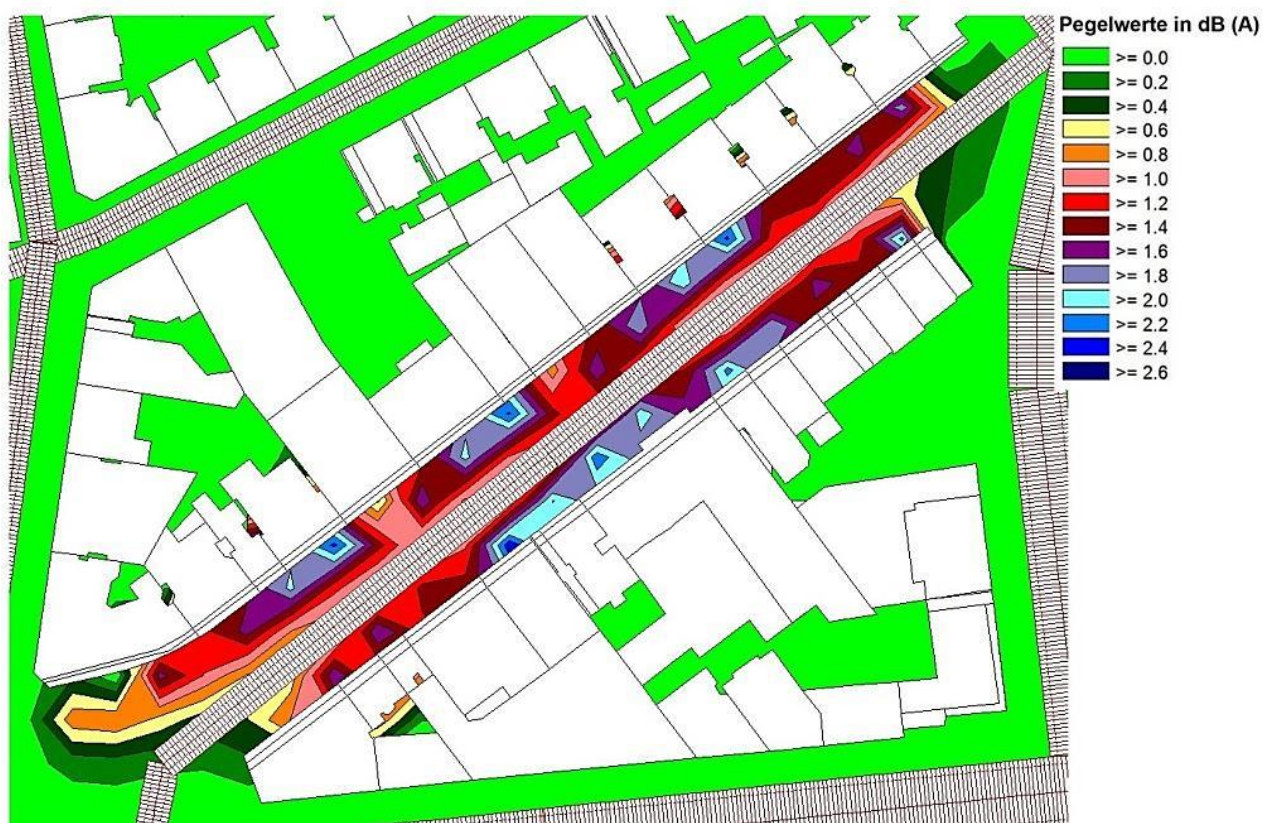


Abbildung 40: Pegeländerung gegenüber Ausgangslage bei Absorptionsgrad 0.9. Eigene Darstellung

Beim Vergleich der Ergebnisse der Absorptionsgrade untereinander, kann festgestellt werden, dass zwischen den Absorptionsgraden 0.5 und 0.9 ein maximaler Pegelunterschied von 1,3 dB (A) erzielt wird (grafische Darstellung im Anhang). Der Absorptionsgrad 0.9 erzielt damit eine deutlich höhere Pegelminderung als niedrigere Absorptionsgrade. Beim Vergleich zwischen 0.69 und 0.9 als Absorptionsgrade, kann ein maximaler Unterschied von 0.7 dB (A) und beim Vergleich zwischen 0.5 und 0.69 dB (A) ein Unterschied von maximal 0.5 dB (A) festgestellt werden.

Parameter begrünte Fläche

Der nächste Parameter, der mit Hilfe der Simulationssoftware untersucht wurde, ist der flächenmäßige Anteil der Begrünung, kurz der Begrünungsgrad. Für die Simulation wurde der Absorptionsgrad 0.9 für die Begrünung als gegeben angenommen und nicht verändert. In der Untersuchung

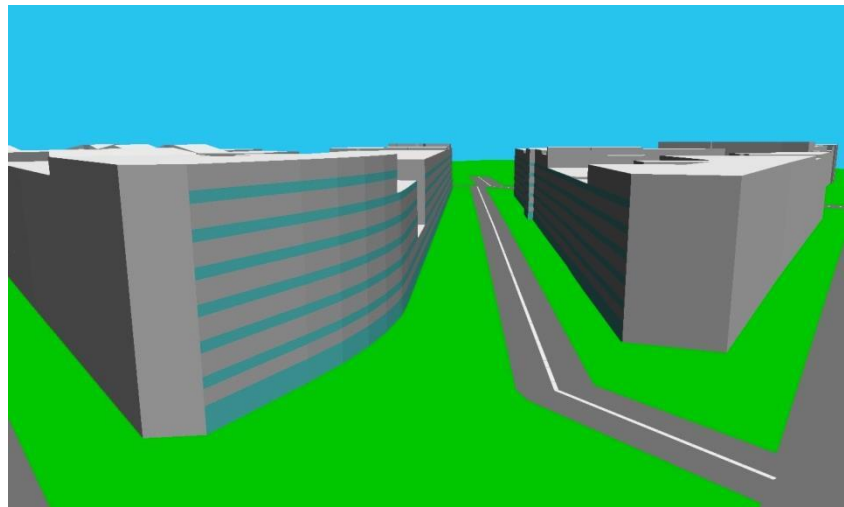


Abbildung 41: 3D-Modell mit Schirmen. Eigene Darstellung

wurden drei Begrünungsgrade verglichen. Zunächst wurde von einer Vollbegrünung ausgegangen. Die Ergebnisse dieser Simulation können den zuvor vorgestellten Ergebnissen des Parameters Absorptionsgrad 0.9 entnommen werden. In der zweiten Simulation wurden Schirme mit einem Absorptionsgrad von 0 vor den Fassaden installiert (s. Abb. 41). In einem dritten Schritt wurden nur zufällig ausgewählte Fassaden als begrünt angenommen (s. Abb. 42). Die Schirme blieben ebenfalls berücksichtigt.



Abbildung 42: Auswahl der begrünten Fassaden. Eigene Darstellung

Die Schirme blieben ebenfalls berücksichtigt.

Abbildung 43 zeigt die auftretenden Pegelwerte bei geringem Begrünungsgrad, simuliert durch Schirme vor den vollbegrünter Fassaden. Innerhalb des untersuchten Straßenraumes treten weiterhin Pegelwerte von über 65 dB (A) auf, geringere Pegelwerte sind nicht festzustellen. Der Bereich mit Werten von über 70 dB (A) erstreckt sich über die Straßendenen weiter in Richtung der Straßenmitte. Dieser Trend setzt sich bei den Simulationsergebnissen mit weiter abnehmendem Begrünungsgrad fort.



Abbildung 43: Pegelwerte bei verringerten Begrünungsgrad durch Schirme. Eigene Darstellung

Abbildung 44 zeigt die Pegelwerte bei einer Simulation mit Schirmen und zufälliger Auswahl der begrünten Fassaden. Auffällig ist nicht nur, dass sich die Werte von über 70 dB (A) weiter ins Gebiet hineinstrecken, vielmehr sind auch in der Straßenmitte höhere Pegelwerte festzustellen. In Teilbereichen liegen diese auch hier bereits über 70 dB (A). Damit wird deutlich, dass sich mit einer nicht vollflächigen Begrünung innerhalb des Straßenzuges keine flächige Lärminderung erzielen lässt.



Abbildung 44: Pegelwerte bei verringerten Begrünungsgrad durch Schirme und Teilauswahl der begrünten Fassaden. Eigene Darstellung

Die Auswirkung von Schirmen als mögliche Darstellung von Fenstern und Türen führt zu erhöhten Pegeln gegenüber einer vollflächigen Begrünung. Dennoch können Pegelminderungen gegenüber der Ausgangslage im gesamten Straßenraum erzielt werden. Die Veränderungen des Begrünungsgrades haben damit deutlich Einfluss auf die Pegelwerte.

Durch eine vergleichende Betrachtung der verschiedenen Simulationskonfigurationen untereinander sollen diese Effekte noch einmal verdeutlicht werden. Abbildung 45 zeigt den Pegelunterschied zwischen einer teilbegrünter Fassade (Einsatz von Schirmen) und einer vollbegrünter Fassade bei gleichem Absorptionsgrad der Begrünung.



Abbildung 45: Pegelunterschiede teilbegrünter Fassaden (Schirme) gegenüber vollbegrünter Fassaden. Eigene Darstellung

Bei Betrachtung der Abbildung 45 wird deutlich, dass der Pegelunterschied bei maximal 0,6 dB (A) liegt. Damit wird bei teilbegrünter Fassaden eine geringere Lärminderung erzielt als gegenüber einer vollbegrünter Fassade. Die Unterschiede verstärken sich ausgehend von den jeweiligen Straßenenden zur Mitte der Straße hin. Bei einem Vergleich von vollbegrünter Fassaden gegenüber einer zufälliger Auswahl von teilbegrünter Fassaden verändert sich dieses Bild jedoch deutlich (siehe Abbildung 46).



Abbildung 46: Pegelunterschiede zufälliger Auswahl teilbegrünter Fassaden (Schirme) gegenüber vollbegrünter Fassaden. Eigene Darstellung

Die Pegelunterschiede fallen deutlich höher aus als bei der vorangegangenen Betrachtung. Bei der Simulation von teilbegrüntem Fassaden gegenüber vollbegrüntem Fassaden lagen die maximalen Pegelunterschiede bei 0,6 dB (A). Bei dem Vergleich zwischen vollbegrüntem Fassaden und einer Auswahl von teilbegrüntem Fassaden sind jedoch Unterschiede von bis zu 2,4 dB (A) festzustellen. Dies entspricht nahezu der maximalen Lärminderung, die bei der Parameterstudie des Absorptionsgrades 0.9 festgestellt werden konnte. Damit wird deutlich, dass bei einer Auswahl von teilbegrüntem Fassaden in Teilbereichen keine oder nur eine sehr geringe lärmindernde Wirkung auftritt. Vergleicht man den Standort der teilbegrüntem Fassaden (Abbildung 42) mit der Abbildung 47, kann man feststellen, dass in unmittelbarer Nähe der Auswahl der teilbegrüntem Fassaden der Unterschied gegenüber vollbegrüntem Fassaden am geringsten ausfällt. Damit zeigt sich, dass die Begrünungen vor allem in unmittelbarer Nähe eine Lärminderung bewirken, einzelne Begrünungen jedoch keine flächendeckende Lärminderung des gesamten Straßenraums erzielen können.



Abbildung 47: Pegelunterschiede teilbegrünte Fassaden (Schirme) gegenüber zufälliger Auswahl teilbegrünter Fassaden (Schirme). Eigene Darstellung

Abbildung 47 stellt den Pegelunterschied zwischen teilbegrüntem Fassaden (mit Schirmen) und der zufälligen Auswahl von teilbegrüntem Fassaden (mit Schirmen) dar. Bei der Betrachtung wird noch einmal deutlich, dass vor allem Pegelunterschiede in den Bereichen auftreten, in denen keine Begrünungen bei der zufälligen Auswahl konfiguriert wurden. An den zufälligen Standorten der Begrünungen hingegen sind keine oder nur sehr geringe Pegelunterschiede gegenüber einer Teilbegrünung aller Fassaden festzustellen.

5.5 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen

Aus den Ergebnissen der Parameterstudie lassen sich einige Rückschlüsse bezüglich der Lärminderung durch Gebäudebegrünungen ziehen. Die Untersuchung der Absorptionsgrade zeigt, dass mit steigender Absorptionsfähigkeit die lärmindernde Wirkung der Begrünung zunimmt. Bei der Simulation mit einem Absorptionsgrad von 0.9 konnte eine maximale Pegelminderung von ca. 2,4 - 2,6 dB (A) festgestellt werden. Da ein Absorptionsgrad von 0.9 dem maximal möglichen Absorptionsgrad von 1.0 sehr nah kommt, können auch beim absoluten Idealfall keine Pegelminderungen von mehr als 3 dB (A) erwartet werden. Bei eher geringen Absorptionsgraden nimmt die Pegelminderung entsprechend ab. Bei einem Absorptionsgrad von 0.5 konnte lediglich eine Pegelminderung von ca. 1 dB (A) festgestellt werden. Das Ziel sollte daher immer sein, eine möglichst hohe Absorptionsfähigkeit bei Begrünungen herzustellen, um eine möglichst hohe Pegelminderung herbeiführen zu können.

Die Untersuchung des Begrünungsgrades zeigte weiterhin, dass Begrünungen flächendeckend ausgestaltet werden müssen, um eine Pegelminderung innerhalb des gewünschten Gesamtraumes zu erreichen. Andernfalls erstreckt sich die lärmindernde Wirkung der Begrünung nur auf das unmittelbare Umfeld. Einzelbegrünungen innerhalb eines Straßenzuges bewirken zwar eine Pegelminderung, diese erstreckt sich aber hauptsächlich nur über die Fläche der Begrünung selbst. Eine ganzheitliche Begrünung des Straßenzuges, um eine Pegelminderung des Gesamtraumes bewirken zu können, erscheint daher zielführender. Zudem kann durch einen höheren Begrünungsgrad eine höhere Lärminderung herbeigeführt werden.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse wurde jedoch auch deutlich, dass die Pegelminderungen egal bei welcher Konfiguration, innerhalb des Untersuchungsgebietes stark schwanken. An den Straßenenden sind die Pegelminderungen meist eher geringer, da sich hier die großen Emittenten Kreuzstraße und Adenauerallee in unmittelbarer Nähe befinden. Aber auch innerhalb des Steindamms kommt es zu Pegelschwankungen, die durch die unterschiedlichen Bauweisen der Gebäude hervorgerufen werden können. Daher ist es wichtig, immer im Vorhinein die örtlichen Gegebenheiten zu untersuchen, um eine Lösung für ein effektives Begrünungssystem zu finden. Unterschiedliche Gebäudeformen, Gebäudehöhen, Abstände oder Dachformen beeinflussen die Schallausbreitung und damit den Effekt der Gebäudebegrünung. Die Ergebnisse dieser Studie können daher nicht als allgemeingültig angesehen werden, sondern stellen Anhaltspunkte dar, welche Pegelminderungen zu erzielen sind. Dennoch zeigt sich welche Besonderheiten berücksichtigt werden müssen, um den größtmöglichen Lärminderungseffekt zu generieren.

6. Fazit

Das Thema „Lärm in der Stadt“ wird auch zukünftig ein zentrales Thema der Stadtentwicklung sein. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, weiterhin nach Möglichkeiten des Lärmschutzes zu suchen. Schon in der Vergangenheit wurden daher Untersuchungen zum akustischen Verhalten von Pflanzen durchgeführt, um deren Potential für den Lärmschutz analysieren zu können. Die Ergebnisse waren meist ernüchternd und so wurde den Pflanzen selbst keine besondere Beachtung aus Sicht des Lärmschutzes zuteil. Dies änderte sich im Laufe der Zeit aufgrund neuester Begrünungstechniken und den damit verbundenen Möglichkeiten. Die vorliegende Arbeit machte es sich deshalb zum Ziel, sich mit dem Thema der Gebäudebegrünung auseinanderzusetzen und Potentiale aufzuzeigen.

Die unterschiedlichen Formen und technischen Anwendungsmöglichkeiten moderner Gebäudebegrünung machen es heute möglich beinahe jede Art von Bauwerk zu begrünen. Mit Hilfe von bodengebundenen oder wandgebundenen Systemen besteht die Möglichkeit, den Fassaden der Bauwerke neue akustische Eigenschaften zu geben. Aber auch intensive oder extensive Dachbegrünungen können die Akustik eines Gebäudes verändern. Die heutigen Begrünungssysteme bestehen nicht mehr nur aus bodengebundenen Pflanzen, deren akustische Eigenschaften durch den Aufbau der Vegetation bestimmt werden. Vertikale Begrünungen sowie Dachbegrünungen bestehen heute aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Schichten, die einen Einfluss auf die akustische Performance der Begrünung haben.

Die in dieser Arbeit betrachteten Untersuchungen zu lärmindernden Eigenschaften von Gebäudebegrünungen zeigen deutlich, dass der lärmindernde Effekt durch solche Schichtsysteme im Vergleich zu herkömmlichen Begrünungen aus Hecken, Selbstklimmer oder Kletterpflanzen zunimmt. Die Untersuchungen stützen sich meist auf Labormessungen, bei denen die akustischen Eigenschaften der Begrünungen untersucht werden. Anschließend werden mit Hilfe von Computersimulationen deren Auswirkungen auf künstliche urbane Räume untersucht. Dabei wurden große Pegelminderungen durch die Begrünung festgestellt.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Parameterstudie macht das Potential von Gebäudebegrünungen für den Lärmschutz deutlich. Bei optimaler Konfiguration können Pegelminderungen von mehreren Dezibel erzielt werden. Anhand der eigenen Parameterstudie sowie bei der Betrachtung anderer Forschungsarbeiten wurde deutlich, dass die akustische Performance eines Begrünungssystems von sehr vielen unterschiedlichen Faktoren, wie beispielsweise dem Schichtaufbau, der Feuchtigkeitsgehalt des Substrats, dem Grad der Begrünung oder der Blattstellung abhängt. Diese ganzen Einflüsse machen es schwer eine allgemeingültige Betrachtung für alle Begrünungssysteme durchzuführen. Die Aussagen zu den lärmindernden Eigenschaften der Begrünungen stützen sich daher auf wenige

Untersuchungen bestimmter Begrünungssysteme. Die Anzahl der bisher durchgeführten Forschungen zu diesem Thema kann im Gegensatz zu der Vielfalt an unterschiedlichen Begrünungen als eher gering angesehen werden.

Da die Untersuchungen oftmals von Idealwerten oder -bedingungen ausgehen, die in der Realität meist nicht auftreten, bleiben die Ergebnisse sehr theoretisch. Hier fehlt es momentan an Messungen unter realen Bedingungen, um die Ergebnisse verifizieren zu können. Bei der Bearbeitung des Themas zeigte sich, dass es in der Realität schwer ist ein geeignetes Objekt für eine Messung zu finden. Eine geplante Vergleichsmessung von Dachbegrünungen konnte im Rahmen dieser Arbeit daher nicht durchgeführt werden. Aufgrund dieser oftmals unterschiedlichen und nicht verifizierten Ergebnisse ist es auch nicht verwunderlich, dass in den betrachteten Softwareanwendungen keine Implementierung von Gebäudebegrünungen vorhanden ist. Bisher fehlt schlichtweg eine Rechenvorschrift, nach der die Gebäudebegrünung innerhalb der Software berücksichtigt werden kann. Zunächst gilt es jedoch die schalltechnischen Gegebenheiten eindeutig zu klären, bevor eine Rechenvorschrift entwickelt werden kann. Hier sind die Hersteller der Begrünungen auch selbst gefragt, indem sie ihre Produkte schalltechnischen Untersuchungen unterziehen und somit zum Gesamtbild der akustischen Eigenschaften unterschiedlicher Begrünungen beitragen. Aus planerischer Sicht wäre eine eindeutige Rechenvorschrift zur Bestimmung des Effektes der Gebäudebegrünung von elementarer Bedeutung. So bleibt die Gebäudebegrünung für die Praxis momentan eher uninteressant.

Dies liegt allerdings nicht alleine an der bestehenden Unsicherheit der Ergebnisse. Die Ergebnisse der durchgeführten Parameterstudie zeigen, dass eine flächendeckende Begrünung notwendig ist, um großflächige Lärminderungen erzielen zu können. In der Praxis ist es jedoch aufgrund von unterschiedlichen Eigentumsverhältnissen oftmals nicht möglich großflächige Begrünungen eines gesamten Straßenzuges vorzunehmen. Auch die Frage nach Zuständigkeiten für Installations- oder Wartungskosten stellen Hindernisse in der Praxis dar. Eine Begrünung des privaten Eigentums ist immer mit zusätzlichen Kosten und Aufwand verbunden und wird damit nicht auf freiwilliger Basis geschehen.

Die rechtlichen Vorschriften verbieten prinzipiell nur selten Begrünungen. Eine rechtsverbindliche Forderung von Begrünungen gibt es allerdings auch nur sehr selten. In der planerischen Praxis fehlt es deshalb bisher an einer verbindlichen Rechtsvorschrift, die eine Umsetzung von Gebäudebegrünungen fordert. Trotz des nachweislich vorhandenen Potentials findet man daher nur sehr wenige Gebäudebegrünungen in den Städten.

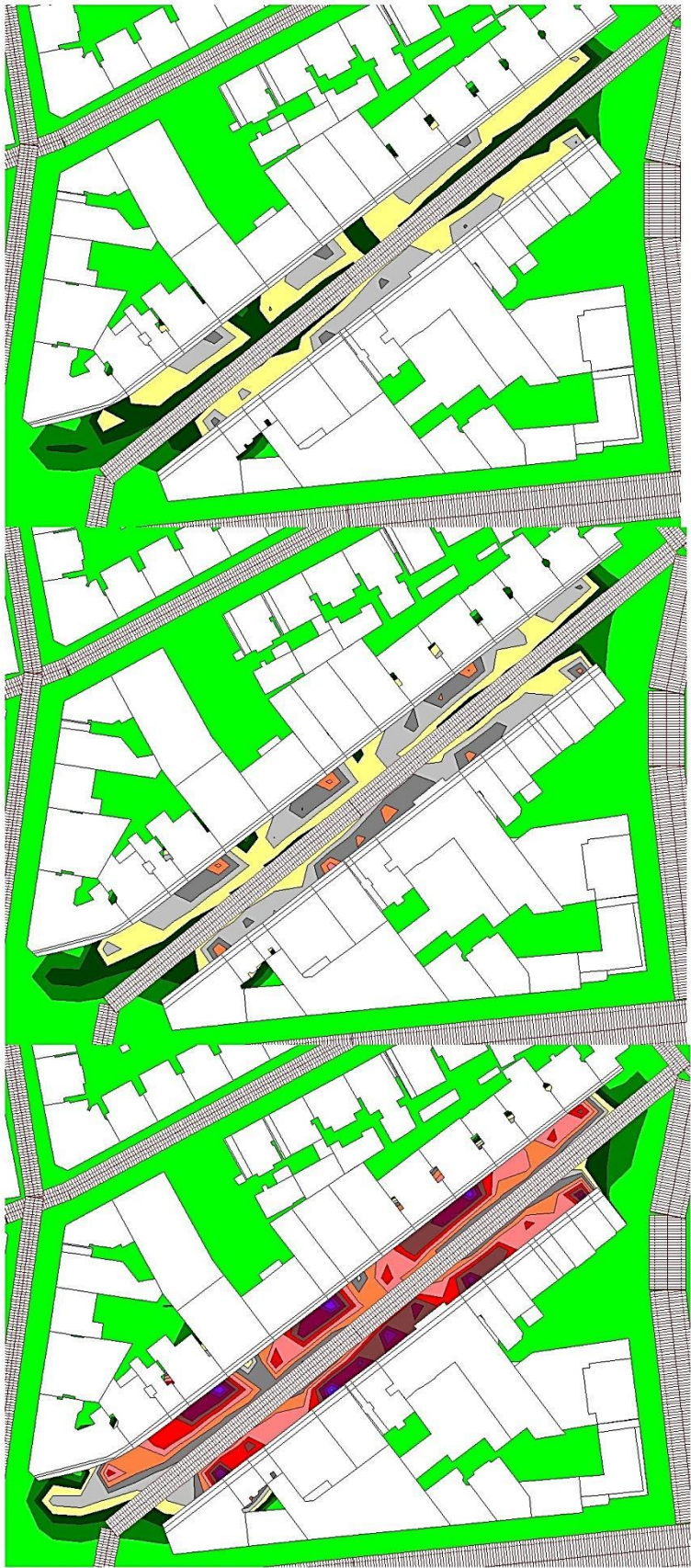
Bei der Implementierung von Bauwerksbegrünungen sollte man allerdings nicht nur die akustischen Eigenschaften in einer Abwägung berücksichtigen. Die Gebäudebegrünung bietet darüber hinaus vielseitige Eigenschaften, die das städtische Klima verbessern können. Gleichzeitig können sie als Lebensraum für Tiere oder als Erholungsraum für den Menschen dienen. Begrünungen können damit die Lebensqualität der Menschen positiv beeinflussen. Auch das jeweilige begrünte Bauwerk kann bei fachgerechter Installation und Wartung von der Begrünung profitieren: die Außenhülle des Gebäudes wird vor Witterungseinflüssen oder UV-Strahlungen geschützt und das Raumklima innerhalb des Gebäudes kann durch die adsorbierenden Eigenschaften der Pflanzen verbessert werden.

Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass die Gebäudebegrünung ohne Zweifel sowohl eine positive akustische Wirkung als auch weitere positive Auswirkungen auf den städtischen Raum entfalten kann. Der akustische Wirkungsgrad kann allerdings nur schwer im Vorhinein beziffert werden, da die Komplexität der Begrünung selbst, aber auch die Einflussfaktoren der städtischen Umwelt zu einer Beeinflussung der Ergebnisse führen können. Für die Anwendung von Begrünungen als innerstädtische Lärmschutzmaßnahme müssen daher weitere Forschungen durchgeführt werden.

Anhang

Pegelwerte in dB (A)

- $\gamma = 0.0$
- $\gamma = 0.1$
- $\gamma = 0.2$
- $\gamma = 0.3$
- $\gamma = 0.4$
- $\gamma = 0.5$
- $\gamma = 0.6$
- $\gamma = 0.7$
- $\gamma = 0.8$
- $\gamma = 0.9$
- $\gamma = 1.0$
- $\gamma = 1.1$
- $\gamma = 1.2$
- $\gamma = 1.3$
- $\gamma = 1.4$
- $\gamma = 1.5$



Unterschied
Absorptionsgrad
0.69 zu 0.5

Unterschied
Absorptionsgrad
0.69 zu 0.9

Unterschied
Absorptionsgrad
0.5 zu 0.9

Literaturverzeichnis

- Aylor, D. (1972): Noise Reduction by Vegetation and Ground. Acoustical Society of America (2005), online unter: <http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/51/1B/10.1121/1.1912830>, abgerufen am 02.08.2016
- Aylor, D.; Lawrence, M. (1976): Perception of noise transmitted through barriers – Abstract. Acoustical Society of America 1976, online unter: <http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/59/2/10.1121/1.380876>, abgerufen am 05.08.2016
- Azkorra, Z.; Pérez, G.; Coma, J.; Cabeza, L.F.; Bures, S.; Álvaro, J.E.; Erkoreka, A.; Urrestarazu, M. (2015) Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. In: Applied Acoustics (89) pp. 46-56,
- Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (BGBl. I S. 2414) zuletzt geändert durch Gesetz vom 20.10.2015 (BGBl. I S. 1722) m.W.v. 24.10.2015
- Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 11. Juni 2013 (BGBl. I S. 1548) geändert worden ist
- Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen - Landesbauordnung - (BauO NRW) in der Fassung der Bekanntmachung Vom 1. März 2000
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (o.J.): EG-Umgebungslärmrichtlinie - Umsetzung in deutsches Recht. online unter: http://www.stmuv.bayern.de/themen/laermschutz/eg_umgebungslaermrichtlinie/umsetzung.htm, abgerufen am 05.10.2016
- Beck, G. (1982): Pflanzen als Mittel der Lärmbekämpfung. Schriftenreihe Landschafts- und Sportplatzbau. Patzer Verlag GmbH&Co. KG Hannover Berlin Sarstedt, 2. Auflage 1982
- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (o.J.): Straßenlärm – unser ständiger Begleiter. online unter: http://www.bund.net/themen_und_projekte/mobilitaet/laerm/strassenlaerm/, abgerufen am 09.04.2016
- Bundesimmissionsschutzgesetz nach der Fassung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 76 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2013): Umweltbewusstsein in Deutschland 2012 – Ergebnisse einer repräsentativen

Bevölkerungsumfrage. online unter:

<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4396.pdf>,
abgerufen am 03.09.2016

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014) : Gewerbelärm. online unter: <http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/laermschutz/themenbereiche-laerm/gewerbelaerm/>, abgerufen am 06.09.2016
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2015): Umweltbewusstsein in Deutschland 2014 – Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. online unter: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/umweltbewusstse_in_in_d_2014_bf.pdf, abgerufen am 03.09.2016
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016)(a): Schienenverkehrslärm. online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm/schienenverkehrslaerm>, abgerufen am 05.09.2016
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016)(b): Fluglärm. online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm/fluglaerm>, abgerufen am 05.09.2016
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016)(c): Lärmkartierung und Lärmaktionsplanung. online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/laermkartierung-laermaktionsplanung>, abgerufen am 05.09.2016
- Conelly, M.; Hodgson, M. (2015): Experimental investigation of the sound absorption characteristics of vegetated roof. In Build and Environment 92 (2015) 335-346, online unter: <http://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/MConnelly-Green-Roof-Absorption.pdf>, abgerufen am 13.08.2016
- Creabeton Matériaux AG(o.J.): Fassadensystem SKYFLOR®. online unter: <http://www.skyflor.ch/produkt/>, abgerufen am 12.12.2016
- Création Baumann AG (o.J.): Grundlagen der Akustik. online unter: http://www.acousticgroup.com/cms/upload/Allgemein/Grundlagen_der_Akustik_de.pdf, abgerufen am 06.08.2016
- Defrance, J.; Jean, P.; Koussa, F.; Khan, A.; Horoshenkov, K.; Benkreira, H.; Van Renterghem, T.; Kang, J.; Smyrnawas, J. (2013): HOSANNA – Holistic and sustainable abatement of noise by optimized combinations of natural and artificial means – Workpage 2 Innovative barriers exploiting natural materials. online unter: <http://www.greener-cities.eu/>, abgerufen am 16.08.2013

- Deutscher Naturschutzring e.V (o.J.): Rechtsakte und Soft Law. online unter: <http://www.eu-koordination.de/bruessel/rechtsakte-und-soft-laws?showall=1>, abgerufen am 14.09.2016
- DIN ISO 9613-2 (1996): Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation
- Eyring, C.F. (1946): Jungle Acoustics.– Abstract. Acoustical Society of America 2005, online unter: <http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/18/2/10.1121/1.1916362>, abgerufen am 02.08.2016
- Fassadengrün e.K. (o.J.): Anfänge der Gebäudebegrünung. online unter: <http://www.fassadengruen.de/bauwerksbegruenung.htm>, abgerufen am 16.10.2016
- Feldmann, J. (2003): Raumakustik und baulicher Schallschutz. Technische Universität Berlin. online unter: http://www.akustik.tu-berlin.de/menue/studium_und_lehre/materialien_downloads/raumbauakustik/, abgerufen am 01.09.2016
- Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Umwelt und Energie (o.J.): Strategische Lärmkartierung. Online unter: <http://www.hamburg.de/laermkarten/>, abgerufen am 03.09.2016
- Grüngleisnetzwerk (2012): Wirkung und Funktion Grüner Gleise. online unter: <http://www.gruengleisnetzwerk.de/images/downloads/wirkung.pdf>, abgerufen am 16.08.2016
- Harris, R.A.; Cohn, L.F. (1985): Use of Vegetation for Abatement of Highway Traffic Noise – Abstract. American Society of Civil Engineers, online unter: [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(1985\)111%3A1\(34\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9488(1985)111%3A1(34)), abgerufen am 03.08.2016
- Hornikx, M.; Smyrnova, Y.; van Renterghem, T.; Cheal, C.; Kang, J. (2012): Technical Report on “ Acoustic simulation tools for urban streets, squares an road-side courtyards integrating vegetation”. HOSANNA Work Package 5 “Greening Buildings” Deliverable 5.3.
- Hornikx, M.; Forssen,J. (2007): Improving the shield of road traffic noise in courtyards: absorption treatments. online unter: http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/downloads/publikationer/ljudlandskap/papers_in_2007/Improving_the_shielding.pdf, abgerufen am 09.08.2016
- HOSANNA – Holistic and Sustainable Abtement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means (o.J.): NOVEL SOLUTIONS FOR QUIETER AND GREENER CITIES. online unter: <http://www.greener-cities.eu/>, abgerufen am 09.08.2016

- Huddart, L. (1990): The Use of Vegetation for Traffic Noise Screening - Abstract. National Academy of Sciences, online unter: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=353616>, abgerufen am 03.08.2016
- Jeon, J.Y.; Jang, H.S.; Kim, Y.H. (2013): Final report on remaining work related to workpackage 5, FP7 HOSANNA Deliverable 5.7.
- Kragh, J. (1979): Pilot study on railway noise attenuation by belts of trees – Abstract. Elsevier Ltd. 1979, online unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022460X79908599>, abgerufen am 03.08.2016
- Kragh, J. (1981): Road traffic noise attenuation by belts of trees – Abstract. Elsevier Ltd. 1981, online unter: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022460X8190506X>, abgerufen am 03.08.2016
- Lagström, J. (2004) Do Extensive Green Roofs Reduce Noise?. University of Malmö, online unter: <http://greenroof.se/wp-gr/wp-content/uploads/2012/09/010-reduce-noice1.pdf>, abgerufen am 12.08.2016
- Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg (2013): Arten der Lärmschutzmaßnahmen. online unter: <http://www.ls.brandenburg.de/sixcms/detail.php/537268>, abgerufen am 14.09.2016
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (2016): Übersicht Grenzwerte. online unter: <http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/5673/>, abgerufen am 02.10.2016
- Landskron, J. (o.J.): Geschichte der Dachbegrünung. online unter: <http://www.landskron-dachbegruenung.de/Dachbegruenung-Geschichte.html>, abgerufen am 16.12.2016
- LÄRMKONTOR GmbH; BPW Hamburg; konsalt GmbH (2004): PULS - Praxisorientierter Umgang mit Lärm in der räumlichen Planung und im Städtebau. Umweltbundesamt Dessau (Hrg.), online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3028.pdf>, abgerufen am 14.09.2016
- Lauenstein, H. (o.J.)(a): Dachbegrünung. Lehr- und Forschungsgeboet Freiraum- und Grünplanung RWTH Aachen, online unter: <http://frp.landeco.rwth-aachen.de/frp/ftp/lehre/Grundstudium/Dachbegruenung.pdf>, abgerufen am 10.10.2016
- Lauenstein, H. (o.J.)(b): Fassadenbegrünung. Lehr- und Forschungsgeboet Freiraum- und Grünplanung RWTH Aachen, online unter: <http://www.la.rwth->

aachen.de/Lauenstein/Lehrmaterialien/Fassadenbegr%C3%BCnung.pdf, abgerufen am 10.10.2016

- Mann, G. (2013): Dach- und Fassadenbegrünungen, Schützen, dämmen kühlen – Grüner Alleskönner?. In: EnEV (Fachmagazin für energieeffiziente Neu- und Bestandsbauten) im Bestand 03/13, S.22-25
- Maute, D. (2006): Technische Akustik und Lärmschutz. Carl Hansen Verlag München Wien
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (o.J.) a: Übersicht zur Beurteilung des Lärms nach Immissionswerten. online unter: <http://www.staedtebaulichelaermfibel.de/?p=8&p2=2.6>, abgerufen am 02.10.2016
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (o.J.) b: Immissionsschutzrecht. online unter: <http://www.staedtebauliche-laermfibel.de/?p=84&p2=2.1.1>, abgerufen am 02.10.2016
- Peutz Consult GmbH (2006): Sport- und Freizeitlärm, Bolzplatzimmissionen. online unter: [http://www.peutz.de/pdf/Sport-%20und%20Freizeitlaerm,%20Bolzplatzimmissionen%20\(2006\).pdf](http://www.peutz.de/pdf/Sport-%20und%20Freizeitlaerm,%20Bolzplatzimmissionen%20(2006).pdf), abgerufen am 13.09.2016
- Pfoser, N. (2016): Fassade und Pflanzen – Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Diss., Technische Universität Darmstadt 2016.
- Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig
- Preiss, J.; Pitha, U.; Scharf, B.; Enzi, V.; Oberarzbacher, S.; Hancvencl, G.; Wenk, D.; Steinbauer, G.; Oberbichler, C.; Lichtblau, A.; Erker, G.; Fricke, J.; Haas, S.; (Öko-Kauf Wien, Arbeitsgrupper 25, Grün- und Freiräume) (2013): Leitfaden Fassadenbegrünung. online unter: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegruenung-leitfaden.pdf>, abgerufen am 10.10.2016
- Rath, J.; Kiessl, K.; Gertis K. (1988): Bauforschungsbericht. Auswirkungen von Fassadenbegrünung auf den Wärme- und Feuchtehaushalt von Außenwänden und Schadensrisiko. Stuttgart
- Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, In: ABI EG Nr. L 189/12 vom 18.07.2002

- Satzung der Landeshauptstadt München über die Gestaltung und Ausstattung der unbebauten Flächen der bebauten Grundstücke und über die Begrünung baulicher Anlagen vom 8. Mai 1996 (Gestaltungs- und BegrünungsS 924
- Schmidt, A. (1992): Bauleitplanung und Immissionsschutz für gewerbliche Anlagen - Rechtsgrundlage und Regelungsmöglichkeiten Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung. IUR Schriften für Umweltrecht Bremen, Bremen/Taunusstein.
- Schmidt, C. (2009): Grundlagen der Akustik. HfKM-Regensburg. online unter: http://www.christianmariaschmidt.de/Lehre_/Scripte/Script_-_Akustische_Grundlagen.pdf, abgerufen am 02.09.2016
- Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2269) geändert worden ist
- Smyrnova, Y.; Kang, J.; Cheal, C.; Tijs, E.; de Bree, H. E. (2010). Laboratory test of sound absorption of vegetation. Paper presented at the Proceedings of EAA Euro-Regio congress on sound and vibration, Ljubljana, Slovenia.
- Späh, M.; Weber, L.; Oesterreicher, L.; Liebl, A. (2011): Schallschutzpflanzen – Optimierung der Abschirmwirkung von Hecken und Gehölzen. Fraunhofer Institut für Bauphysik Stuttgart
- Spektrum Akademischer Verlag(1999): Lexikon der Biologie – Adsorption. Heidelberg, online unter: <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/adsorption/1153>, abgerufen am 21.10.2016
- State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries (2014): GROWING GREEN GUIDE – A GUIDE TO GREEN ROOFS, WALLS AND FACADES. Australia
- Statistisches Bundesamt (Hrsg) (2015): Statistisches Jahrbuch – Deutschland und Internationales – 2015. Statistisches Bundesamt Wiesbaden 2015. online unter: <https://www.dhbw-mannheim.de/fileadmin/dhbw/download-center/lehrbeauftragte/literaturverzeichnis.pdf>, abgerufen am 02.09 2016
- Statistisches Bundesamt (Hrsg) (2016): Verkehr aktuell 08/2016. Fachserie 8 Reihe 1.1, online unter: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Querschnitt/VerkehrAktuellPDF_2080110.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am 03.09.2016
- Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)

- Wong, N. H.; Tan, A. Y .K. (2010): Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. In: Building and Environment (45) pp.411-420, online unter: https://www.researchgate.net/publication/245145507_Acoustics_evaluation_of_vertical_greenery_systems_for_building_walls, abgerufen am 09.08.2016
- Yang, H.S. (2013): Outdoor noise control by natural/sustainable materials in urban areas. The University of Sheffield

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Menschliches Gehör

Quelle: Feldmann, J. (2003): Raumakustik und baulicher Schallschutz. Technische Universität Berlin S. 29. online unter: http://www.akustik.tu-berlin.de/menue/studium_und_lehre/materialien_downloads/raumbauakustik/, abgerufen am 01.09.2016

Abb. 2: Ausschnitt aus der interaktiven Lärmkarte Hamburg

Quelle: in Anlehnung an Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung der Stadt Hamburg (o.J.). online unter: <http://www.geoportal-hamburg.de/laerm/index.html>, abgerufen am 03.09.2016

Abb. 3: Lärmkarte Schienenverkehr Tag

Quelle: in Anlehnung an Eisenbahn-Bundesamt (EBA); Behörde für Umwelt und Energie der Stadt Hamburg (2016). online unter: <http://www.hamburg.de/contentblob/6808346/2bd9ae962e95b3310ccc7b206f82d602/data/d-Iden-schiene-gesamt-2012.pdf>, abgerufen am 05.09.2016

Abb. 4: Lärmkarte Flugverkehr Tag

Quelle: in Anlehnung an Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg (2012) <http://www.hamburg.de/contentblob/3476438/4fac4fdde93721efc0baa6eaebf343a8/data/Iden-flughafen-2012.pdf>, abgerufen am 05.09.2016

Abb. 5: Gewerbelärm tagsüber im Bestand

Quelle: in Anlehnung an Arno Flörke Ingenieurbüro für Akustik und Umwelttechnik (2014): Lärmgutachten Bebauungsplan Nr. 228. S. 35, online unter: https://www.castrop-rauxel.de/Inhalte/Wohnen_Wirtschaft/Bauen_und_Wohnen/Oeffentliche_Auslegung/Laermgutachten_B-Plan_228_1._Aend.pdf, abgerufen am 05.09.2016

Abb. 6: Beispiel Lärmkarte Sportanlage/Skaterpark

Quelle: Zimmermann (2009): Schalluntersuchungen zu Erweiterungen bzw. Neubau von Sportanlagen. Online unter: <http://www.ingenieurzimmermann.de/ingenieurbuero/projekte/laermschutz-untersuchungen/-schalluntersuchungen-zu-erweiterungen-bzw-neubau-von-sportanlagen.html>, abgerufen am 13.09.2016

Abb. 7: Übersicht über Grenz-, Richt- und Orientierungswerte im Bereich des Schutzes vor Lärm

Quelle: LÄRMKONTOR GmbH; BPW Hamburg; konsalt GmbH (2004): PULS - Praxisorientierter Umgang mit Lärm in der räumlichen Planung und im Städtebau. Umweltbundesamt Dessau (Hrg.) S.13, online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3028.pdf>, abgerufen am 02.10.2016

Abb. 8: Fassadenbegrünung – Absorptionsgrade nach Frequenz und Bedeckungsgrad der Begrünung. Quelle: Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude Begrünung und Energie – Potenziale und Wechselwirkungen. Technische Universität Darmstadt, S.157

Abb. 9: comparison between transfer functions, whole impulse response

Quelle: Lagström, J. (2004) Do Extensive Green Roofs Reduce Noise?. University of Malmö, S. 30

Abb. 10: Sound-pressure-level spectra at courtyard with and without vegetation on angled roofs. For a two-lane urban road (5% heavy and 95% light vehicles, travelling at 50 km/h) averaged over receiver position in courtyard. Redicted insertion loss of vegetated roof. 8 dB (A)

Quelle: HOSANNA – Holistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means (o.J.): NOVEL SOLUTIONS FOR QUIETER AND GREENER CITIES. S.31

Abb. 11: Low-height noise barrier

Quelle: HOSANNA – Holistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means (o.J.): NOVEL SOLUTIONS FOR QUIETER AND GREENER CITIES. S. 12

Abb. 12: Rasengleis in Nantes Frankreich

Quelle: Spath, R. (2016): Rasengleis statt Asphaltwüsten – Mehr Grün für die Grazer Straßenbahn. PRO BIM GRAZ

Abb. 13: Maximale Lärminderung durch Begrünungen

Quelle: Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude Begrünung und Energie – Potenziale und Wechselwirkungen. Technische Universität Darmstadt, S.156

Abb. 14: Weinreben am Spalier

Quelle: Fassadengrün e.K. (o.J.): Weinreben am Spalier - historische Darstellung, aus Weinmuseum Neuenburg / Freyburg / Unstrut / Sachsen-Anhalt, online unter: http://www.fassadengruen.de/uploads/pics/historische_begrueung_245.jpg, angerufen am 16.10.2016

Abb. 15: Treillage aus Holz

Quelle: Fassadengrün e.K. (o.J.): Treillagen, online unter: <http://www.fassadengruen.de/treillage.htm>, abgerufen am 16.10.2016

Abb. 16: Talutmauern unterhalb des Klausberg-Belvederes um 1930

Quelle: Der Königliche Weinberg am Klausberg im Park Sanssouci, Foto: F. Seidenstücker, Bildarchiv Preußischer Kulturbesitz, online unter: <http://www.kuechengarten.net/index.php?content=05gaerten&sub=Potsdam>, abgerufen am 16.10.2016

Abb 17: Grünschmuck nach alter Überlieferung, geflochtene Girlanden

Quelle: Fassadengrün e.K. (o.J.): Historismus. online unter: <http://www.fassadengruen.de/historismus.htm>, abgerufen am 16.10.2016

Abb. 18: Systematik Bodengebundene Begrünung

Quelle: in Anlehnung an Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S. 34

Abb. 19: Systematik Wandgebundene Begrünung

Quelle: in Anlehnung an Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S. 35

Abb. 20: Übersicht Eigenschaften Bodengebundener Direktbewuchs

Quelle in Anlehnung Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S.42

Abb. 21: Übersicht Eigenschaften Bodengebundener leitbarer Bewuchs

Quelle in Anlehnung Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S.44

Abb. 22: Übersicht Eigenschaften Wandgebundene Regalsysteme

Quelle in Anlehnung Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S.46

Abb. 23: Übersicht Eigenschaften Wandgebundene modulare Systeme

Quelle in Anlehnung Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S.48

Abb. 24: Modular system

Quelle: in Anlehnung an State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries (2014): GROWING GREEN GUIDE – A GUIDE TO GREEN ROOFS, WALLS AND FACADES. Australia, S.85

Abb. 25: Skyflor®System

Quelle: www.deavita.com (o.J.): Begrünte Fassaden im Trend: Das innovative Skyflor® System. online unter: <https://deavita.com/wohnen/architektur/begrunte-fassaden-system-skyflor.html>, abgerufen am 12.12.2016

Abb. 26: Übersicht Eigenschaften Wandgebundene flächige Systeme

Quelle in Anlehnung Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S.50

Abb. 27: Übersicht Eigenschaften Mischformen

Quelle in Anlehnung Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S.52

Abb. 28: Systematik Extensivbegrünung

Quelle in Anlehnung Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S. 56

Abb. 29: Systematik Intensivbegrünung

Quelle in Anlehnung Pfoser, N.; Jenner, N.; Henrich, J.; Heusinger, J.; Weber, S. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013, Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig, S. 57

Abb. 30: Layers of green roof

Quelle: State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries (2014): GROWING GREEN GUIDE – A GUIDE TO GREEN ROOFS, WALLS AND FACADES. Australia, S. 67

Abb. 31: Untersuchungsgebiet

Quelle in Anlehnung an Google (2017): Google Maps. Online unter: <https://www.google.de/maps> abgerufen am 14.01.2017

Abb. 32: 3D-Modell des Untersuchungsgebietes

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 33: Ausgangslage des Untersuchungsgebietes tags

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 34: Ausgangslage des Untersuchungsgebietes nachts.

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 35: Pegelwerte bei Absorptionsgrad 0.5

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 36: Pegeländerung gegenüber Ausgangslage bei Absorptionsgrad 0.5

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 37: Pegelwerte bei Absorptionsgrad 0.69

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 38: Pegeländerung gegenüber Ausgangslage bei Absorptionsgrad 0.69

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 39: Pegelwerte bei Absorptionsgrad 0.9

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 40: Pegeländerung gegenüber Ausgangslage bei Absorptionsgrad 0.9

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 41: 3D-Modell mit Schirmen

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 42: Auswahl der begrünten Fassaden

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 43: Pegelwerte bei verringerten Begrünungsgrad durch Schirme

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 44: Pegelwerte bei verringerten Begrünungsgrad durch Schirme und Teilauswahl der begrünten Fassaden

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 45: Pegelunterschiede teilbegrünter Fassaden (Schirme) gegenüber vollbegrünter Fassaden

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 46: Pegelunterschiede zufälliger Auswahl teilbegrünter Fassaden (Schirme) gegenüber vollbegrünter Fassaden

Quelle: eigene Darstellung

Abb. 47: Pegelunterschiede teilbegrünte Fassaden (Schirme) gegenüber zufälliger Auswahl teilbegrünter Fassaden (Schirme)

Quelle: eigene Darstellung

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lautstärke und die zugehörige Geräuschempfindung des Menschen gegenüber typischen Geräuscharten

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (o.J.) o.S. online unter: <http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/laerm-schutz/laerm-schutz-im-ueberblick/was-ist-laerm/>, abgerufen am 02.09.2016

Tabelle 2: Einzelpegel des Linearpegels und des A-bewerteten Summenpegels des Standardisierten Verkehrslärmspektrums sowie das Verkehrslärmspektrum minus der gemessenen Einfügungsdämmung für die Hecken im Freien

Quelle: Späh, M.; Weber, L.; Oesterreicher, L.; Liebl, A. (2011): Schallschutzpflanzen – Optimierung der Abschirmwirkung von Hecken und Gehölzen. Fraunhofer Institut für Bauphysik Stuttgart, S. 67

Tabelle 3: Maßnahmen zur Gebäudeoptimierung. Darstellung der Wirkungen sowie Einsparungen durch Fassadenbegrünung

Quelle: in Anlehnung an Pfoser, N. (2016): Fassade und Pflanzen – Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Diss., Technische Universität Darmstadt 2016, S.88

Tabelle 4: Maßnahmen zur Umfeldoptimierung. Darstellung der Wirkungen sowie Einsparungen durch Fassadenbegrünung

Quelle: Pfoser, N. (2016): Fassade und Pflanzen - Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Diss., Technische Universität Darmstadt 2016, S. 98

Erklärung

Name, Vorname: Tony, Linke
Matrikel-Nr.: 6009208
Studiengang: Stadtplanung

Ich versichere, dass ich dieser Master-Thesis (bei einer Gruppenarbeit die entsprechenden Teile der Arbeit) ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Abgabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, den

Unterschrift