

Gebäudebegrünungen – Eine Übersicht und Potenzialanalyse von Begrünungssystemen

Überarbeitete Version vom 6. Mai 2021

Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (B.Sc.)

verfasst von

Clea Kummert

Matrikelnummer: 51586

am

Institut für Baustoffe, Bauphysik und Bauchemie
Technische Universität Hamburg

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt-Döhl

2. Prüfer: Dipl.-Ing. Thomas Kölzer

Datum des Einreichens der Arbeit: 01.03.2021

Lizenz: Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Das Werk steht unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.de>). Ausgenommen von der oben genannten Lizenz sind Teile, Abbildungen und sonstiges Drittmaterial, wenn anders gekennzeichnet.

DOI: <https://doi.org/10.15480/882.3707>

ORCID: Clea Kummert
<https://orcid.org/0000-0002-4057-8910>

Bachelorarbeit für Frau Clea Kummert

Thema:

Begrünungen von Gebäuden – Allgemeine Potenziale und Alternativen zu herkömmlichen Baustoffen und Konstruktionen
Greening of buildings – general potentials and alternatives to conventional building materials and construction types

Einführung:

Im Hinblick auf Umweltschutz und Nachhaltigkeit werden verschiedene ökologische Faktoren auch im Bauwesen immer stärker in den Fokus gerückt. Dies betrifft neben neuen Materialentwicklungen insbesondere auch die Kombination verschiedener Baustoffe im Rahmen von Gebäudebekleidungen. So helfen bspw. begrünte Flächen v. a. in Städten starke Niederschläge besser zu bewältigen, den Lärmschutz zu verbessern, Sauerstoff zu produzieren oder den immer häufiger auftretenden Hitzeentwicklungen entgegenzuwirken. Neben begrünten Dächern werden zunehmend auch Fassadenflächen mit Pflanzen, Sträuchern oder Gräsern bekleidet. Durch entsprechende Maßnahmen kann auf der einen Seite nicht nur das Mikroklima verbessert werden, auch wirken ökologisch ausgerichteten Konzepte als natürliche Dämmungen oder helfen zudem die Biodiversität zu erhöhen. Überhitze Innenstädte werden durch Verschattungen oder Feinstaubfilterungen lebenswerter und bieten darüber hinaus zusätzlich Möglichkeiten für ökosystemrelevante Bienenwiesen oder für verschiedene Arten von Gärten, z. B. in Form von *Urban Gardening*.

Aufgaben:

1. Zu Beginn der Bachelorarbeit ist mit Bezug zum Gebäudebestand in Deutschland der aktuelle Stand zu nutzbaren Flächen für Begrünungen zu erfassen. Im Rahmen der Recherche ist zudem festzuhalten, welche Auswirkungen begrünte Flächen auf die Umwelt und damit auch auf Menschen haben. Die Vorteile, die mit *grünen Innenstädten* einhergehen sind diesbezüglich gesondert zu betrachten. Dies betrifft bspw. Rekultivierungen oder Ausgleichsmaßnahmen. Mögliche Nachteile von ökologisch ausgerichteten Begrünungskonzepten sind ebenfalls festzuhalten und zu diskutieren.
2. Aufbauend auf der Recherche zu potenziellen Nutzflächen ist zudem zu erfassen, welche baukonstruktiven Möglichkeiten zur Begrünung von Gebäuden existieren bzw. welche Varianten bereits umgesetzt werden. Dabei sind neben horizontalen und schrägen Dachflächen insbesondere auch vertikale Fassadenflächen zu untersuchen. Beim Aufgreifen und Festhalten wesentlicher Erkenntnisse sollten stets die in Teil 1 der Auf-

gabenstellung erfassten ökologischen Aspekte im Zentrum stehen, aber v. a. auch aktuelle bzw. innovative Konzepte, bei denen der Fokus insbesondere auf Materialien bzw. den damit zusammenhängenden Konstruktionsaufbauten liegt. Mit den gewonnenen Einsichten sind Vergleiche mit bereits zur Anwendung kommenden Begrünungskonzepten vorzunehmen. Im Rahmen der Analyse ist neben dem Aufführen vielversprechender Konzepte auch festzuhalten, in welchen Bereichen Begrünungsvarianten – v. a. im Hinblick auf die baukonstruktive Ausführung – an ihre Grenzen stoßen, z. B. bei bestimmten Expositionen, bei Projekten im Bestandsbau oder bei anspruchsvollen Tragstrukturen.

3. Im Anschluss an die Recherche und über die theoretisch gewonnenen Erkenntnisse hinaus, sind Unternehmen zu kontaktieren, die sich bereits in der Praxis mit Gebäudebegrünungen beschäftigen. Im Zuge dieser Korrespondenzen ist insbesondere herauszustellen, welche Objekte bereits realisiert und welche Erfahrungen bei den Projektabwicklungen gemacht wurden. Bestenfalls sind diesbezüglich Beispiele auszuführen, die alle zuvor dargestellten theoretischen Erkenntnisse thematisieren bzw. kritisch hinterfragen.
4. Aufbauend auf den zuvor ermittelnden Inhalten sind ausgewählte Varianten von Begrünungen zu konstruieren. Anhand praxisnaher Beispiele – die stets alle wesentlichen Erkenntnisgewinne berücksichtigen sollen – sind Aufbauten grundlegender Konstruktionen – v. a. für Dächer und Fassaden – zu entwerfen. Die betrachteten Varianten sind im Zuge dessen als dreidimensionale Details zu modellieren.
5. Die Bachelorarbeit schließt mit einem Fazit zu den gewonnenen Erkenntnissen. Es ist eindeutig aufzuführen, welche aktuellen Potenziale bei Begrünungen von Gebäuden vorhanden sind. Mithilfe eines Ausblicks ist auf Grundlage der ermittelten Informationen ebenfalls darzustellen, wie sich mögliche Konzepte weiterentwickeln bzw. welche Bereiche forschungsrelevante Ansätze aufweisen.

Ausgabe: 26.10.2020
Abgabe: spätestens 01.03.2021

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt-Döhl
Betreuer und Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Thomas Kölzer

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig sowie ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Hamburg, 01.03.2021

Ort, Datum

Clea Kummert

Nutzungsvereinbarung

Hiermit räume ich der TUHH und den Mitgliedern der TUHH unentgeltlich das nichtausschließliche Recht ein, die Inhalte meiner Abschlussarbeit ganz oder in Teilen für Zwecke der Forschung und Lehre zu veröffentlichen, zu vervielfältigen, zu verbreiten, zu bearbeiten und öffentlich weiterzugeben. Eine darüber hinausgehende Nutzung ist nicht gestattet.

Hamburg, 01.03.2021

Ort, Datum

Clea Kummert

Zusammenfassung

Im Zuge eines immer stärker werdenden Wachstums von Städten müssen den daraus resultierenden Hitze-, Wasser- und Luftbelastungen mit innovativen Konzepten, wie dem Begrünen von ungenutzten Bauwerksoberflächen, sinnvoll entgegengewirkt werden. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es Gebäudebegrünungssysteme hinsichtlich ihrer Leistungen und Anwendbarkeit zu untersuchen und den Bestand nutzbarer Flächen in Deutschland zu analysieren. Dazu wurden die, aus einer umfangreichen Literaturrecherche gewonnenen, Erkenntnisse auf Grundlage von Unternehmenskorrespondenzen in einem praxisbezogenen Kontext betrachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass nahezu jedes Bauteil – unter Berücksichtigung einiger wesentlicher Anforderungen – begrünbar ist. Darüber hinaus deutet der nutzbare Flächenbestand an Bestands- und Neubauten in Deutschland ein großes Potenzial zukünftiger Begrünungen an. Die Nachfrage verschiedener Begrünungssysteme variiert jedoch stark, was u. a. auf unterschiedliche Kosten-Nutzen-Verhältnisse zurück geführt werden kann. Zukünftig müssen Themen wie der Brandschutz von Gebäudebegrünungen, die Nutzung von Synergieeffekten und die Verknüpfung von Pflanzen und Digitalisierung adressiert werden, um die Nutzung von Begrünungssystemen einfacher und attraktiver zu gestalten.

Schlagwörter: Gebäudebegrünung, Dachbegrünung, Fassadenbegrünung, Hitzeinseleffekt

Abstract

In the course of the ever-increasing growth of cities, the resulting heat, water and air pollution must be counteracted with innovative concepts, such as the greening of unused building surfaces. The aim of the present work is to examine building greening systems with regard to their performance and applicability as well as to analyze the extent of usable surfaces in Germany. For this purpose, the knowledge gained from literature research was considered in a practical context based on company correspondence. The results show that, by taking into account a few essential requirements, almost every roof and wall can be greened. In addition, the usable surface area of existing and new buildings in Germany indicates great potential for future greening. However, the demand for different greening systems varies greatly, which can be attributed to different cost-benefit ratios, among other things. In the future, topics such as fire protection for greening systems, the usage of synergy effects and the linking of plants and digitization must be addressed in order to make the application of building greening easier and more attractive.

Key words: building greening, green roofs, facade greening, urban heat island effect

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungsverzeichnis	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Problemstellung	1
1.2 Angewandte Methoden	2
1.3 Aufbau und Inhalt der Bachelorarbeit	2
2 Allgemeine Auswirkungen begrünter Gebäudeflächen auf die Umwelt	5
2.1 Das Stadtklima deutscher Städte - Status quo	5
2.2 Wesentliche Vorteile begrünter Gebäudeflächen	6
2.3 Nachteile begrünter Gebäudeflächen	11
3 Übersicht zu Dachbegrünungssystemen	13
3.1 Extensive Dachbegrünungssysteme	13
3.1.1 Extensivbegrünungen als Direktbegrünungen	14
3.1.2 Extensivbegrünungen in Textilbauweise	15
3.1.3 Extensivbegrünungen in Textil-Substrat-Bauweise	16
3.1.4 Extensivbegrünungen als modulare Dachbegrünungen	17
3.1.5 Extensivbegrünungen mit Substratschüttungen	19
3.2 Intensive Dachbegrünungssysteme	21
3.2.1 Intensivbegrünungen mit Substratschüttungen	22
3.2.2 Intensivbegrünungen mit Pflanzgefäßen	24
3.3 Innovative Dachbegrünungskonzepte und Sonderformen	25
3.3.1 Retentionsdächer	25
3.3.2 Hydroponische Dachbegrünungen	27
3.4 Anwendungsbereiche von Dachbegrünungssystemen	29
3.5 Maßgebende Voraussetzungen für Dachbegrünungssysteme	31
3.6 Kompatibilität von Dachbegrünungssystemen und grundlegenden Dachaufbauten	34
4 Übersicht zu Fassadenbegrünungssystemen	37
4.1 Bodengebundene Fassadenbegrünungssysteme	37
4.1.1 Bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Selbstklimmern	37

4.1.2 Bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Gerüstkletterpflanzen	39
4.2 Wandgebundene Fassadenbegrünungssysteme	41
4.2.1 Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit Regalsystemen / lineare Bauweise	42
4.2.2 Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit modularen Systemen	43
4.2.3 Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit Geovliesen / flächige Bauweise	46
4.3 Innovative Fassadenbegrünungskonzepte und Sonderformen	48
4.3.1 Mischsysteme aus boden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungen	48
4.3.2 Moosfassaden von Artificial Ecosystems	49
4.3.3 Hydroponische Fassadenbegrünungen	49
4.4 Anwendungsbereiche von Fassadenbegrünungssystemen	51
4.5 Maßgebende Voraussetzungen für Fassadenbegrünungssysteme	52
4.6 Kompatibilität von Fassadenbegrünungssystemen und grundlegenden Wandaufbauten	54
5 Praxisnahe Umsetzung von Begrünungskonzepten in Deutschland	59
5.1 Status quo in Deutschland – Betrachtung angewandter Begrünungskonzepte	59
5.2 Grundlegende planerische und auszuführende Maßnahmen zu Begrünungskonzepten	61
5.3 Grenzen und Herausforderungen bei der Planung und Umsetzung von Gebäudebegrünungen	63
5.4 Förderungsmöglichkeiten von Begrünungskonzepten	65
6 Potenziale von Dach- und Fassadenbegrünungen in Deutschland	69
6.1 Flächenpotenziale von Gebäudebegrünungen	69
6.1.1 Nutzbare Flächen für Gebäudebegrünungen	69
6.1.2 Analyse des Bestands zukünftig nutzbarer Flächen für Gebäudebegrünungen	70
6.2 Potenzial von Begrünungen in Hinblick auf unterschiedliche Gebäudenutzungen	75
6.3 Kosten-Nutzen-Potenzial von Gebäudebegrünungen	76
7 Fazit und Ausblick	79
7.1 Fazit	79
7.2 Ausblick	81
Literaturverzeichnis	83
Anhang	XIX

Abbildungsverzeichnis

3.1	Extensivbegrünungen als Direktbegrünungen	14
3.2	Extensivbegrünungen in Textilbauweise	15
3.3	Extensivbegrünungen in Textil-Substrat-Bauweise	16
3.4	Extensivbegrünungen als modulare Dachbegrünung	18
3.5	Extensivbegrünungen mit Substratschüttungen	19
3.6	Intensivbegrünungen mit Substratschüttungen	22
3.7	Intensivbegrünungen mit Pflanzgefäßen	24
3.8	Retentionsdach	25
3.9	Hydroponische Dachbegrünung	27
4.1	Bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Selbstklimmern	38
4.2	Bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Gerüstkletterpflanzen	39
4.3	Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit Regalsystemen / lineare Bauweise	42
4.4	Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit modularen Systemen	44
4.5	Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit Geovliesen / flächige Bauweise	46
4.6	Hydroponische Fassadenbegrünung	50

Tabellenverzeichnis

3.1	Kompatibilität von Dachbegrünungssystemen und grundlegenden Dachaufbauten (eigene Darstellung)	36
4.1	Kompatibilität von Fassadenbegrünungssystemen und grundlegenden Wandaufbauten (eigene Darstellung nach Mahabadi; Althaus 2018: 30ff)	57

Abkürzungsverzeichnis

ALK	Automatische Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
BUE	Hamburger Behörde für Umwelt und Energie
BuGG	Bundesverband GebäudeGrün e.V.
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
GIS	Geographisches Informationssystem
GK	Gebäudeklasse
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LoD	Level of Detail
PV	Photovoltaik
UHI	Urban Heat Island
UN	United Nations
WD	Wärmedämmung
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WLG	Wärmeleitgruppe
3D	Dreidimensional

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Ob in Bereichen der Gesellschaft, Politik oder Wirtschaft, die Begriffe Klimawandel und Umweltschutz prägen heute nahezu alle Bereiche des menschlichen Lebens. Auch in der Stadtplanung und im Bauwesen wird ein Wandel zum nachhaltigen und ökologischen Bauen immer präsenter. Ein Umdenken zeichnet sich dabei nicht nur durch Entwicklungen neuer Baustoffe, sondern auch durch einen ressourcenschonenden Einsatz von Materialien aus. Im Zuge dessen nimmt der bewusste Umgang mit der begrenzten Ressource Fläche ebenfalls eine immer wichtigere Rolle ein. Im Rahmen des 11. Nachhaltigkeitsziels der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie soll die Zunahme an Siedlungs- und Verkehrsflächen bis 2030 auf 30 ha pro Tag reduziert und der Freiraumflächenverlust verringert werden (vgl. Die Bundesregierung 2016: 247).

Architekten, Planer und Ingenieure stehen somit vor der Herausforderung qualitativ hochwertigen Wohnraum mit möglichst geringer Flächennutzung zu schaffen. Besonders in Ballungsräumen müssen dabei zusätzlich die innerstädtischen Wasser-, Luft- und Hitzebelastungen in die komplexen Zusammenhänge mit einbezogen werden.

Ungenutzte Flächen des Gebäudebestands bergen das Potenzial den hier aufgeführten Problemlagen entgegenzuwirken und gleichzeitig einen Kontrast zur ausgeprägten Versiegelung in Städten zu schaffen. Mit der Nutzung in Form von Gebäudebegrünungen entstehen zusätzliche Grünflächen, die den Wohnraum attraktiver gestalten und darüber hinaus zu Verbesserungen des Stadtklimas beitragen können.

Die grundlegenden positiven Auswirkungen von Gebäudebegrünungen sind zwar häufig bekannt und wurden bereits vielfach untersucht, doch fehlende Informationen zu Ausführungs- und Anwendungsmöglichkeiten führen des Öfteren zu Fehleinschätzungen von Begrünungssystemen. Auch sind umfangreichere Betrachtungen zu Potenzialen in der aktuellen Forschungsliteratur weitgehend vernachlässigt.

In der vorliegenden Arbeit werden – anknüpfend an die bestehenden Probleme und Herausforderungen – verschiedene Dach- und Fassadenbegrünungssysteme unter Berücksichtigung wesentlicher Potenziale vorgestellt und untersucht. Mit Hilfe neu gewonnener Erkenntnisse soll ein fundierter Überblick über verschiedene Systeme und deren Anwendbarkeit geschaffen werden.

1.2 Angewandte Methoden

Der vorliegenden Arbeit liegt eine ausführliche Literaturrecherche zugrunde. Die wesentlichen Informationen werden im ersten Teil der Ausarbeitung dargelegt. Daran anschließend folgt eine Verknüpfung der gewonnenen Erkenntnisse mit der praxisnahen Betrachtung der Thematik. Hierbei unterstützen Korrespondenzen mit planenden und ausführenden Unternehmen – deren Expertise im Bereich der Bauwerksbegrünung liegt – die zuvor dargestellten Inhalte in einem praxisbezogenen Kontext zu erfassen. Auf Grundlage einer theoretischen und praktischen Analyse wird im Anschluss an die Ausführung aller maßgebenden Erkenntnisse eine Potenzialbetrachtung zu Gebäudebegrünungen durchgeführt.

1.3 Aufbau und Inhalt der Bachelorarbeit

In Kapitel 2 werden neben wesentlichen Auswirkungen v. a. auch Vor- und Nachteile von Gebäudebegrünungen auf ihre Umgebung betrachtet. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf der Bedeutung von Begrünungssystemen im stadtklimatischen Kontext. Aufbauend darauf werden in den folgenden zwei Kapiteln verschiedene baukonstruktive Möglichkeiten von Dach- und Fassadenbegrünungen hinsichtlich der zuvor erläuterten Leistungspotenziale untersucht. Neben klimatischen und lufthygienischen Aspekten stehen dabei insbesondere bauphysikalische Faktoren im Zentrum der Betrachtung.

Im Zuge der Vorstellung verschiedener Begrünungssysteme wird außerdem auf die Anwendungsmöglichkeiten der Konzepte sowie die für die Umsetzung notwendigen Voraussetzungen eingegangen. Eine anschließende Kompatibilitätsbetrachtung der zu betrachtenden Systeme mit gängigen Dach- und Fassadenaufbauten beleuchtet das umfangreiche Anwendungspotenzial von Gebäudebegrünungen.

Im Fokus des fünften Kapitels steht eine praxisnahe Betrachtung der Thematik zu Gebäudebegrünungssystemen. Auf Grundlage der Informationen, die im Kontakt mit Unternehmen gewonnen wurden, erfolgt an dieser Stelle eine Überprüfung, inwieweit die theoretisch dargestellten Begrünungskonzepte in Deutschland Anwendung finden. Dazu wird zunächst der Status quo angewandter Systeme betrachtet. Im Anschluss daran werden hinsichtlich der Anwendung von Begrünungssystemen grundlegende planerische und ausführende Maßnahmen sowie Grenzen und Herausforderungen thematisiert. Eine Betrachtung der Förderungsmöglichkeiten von Gebäudebegrünungen stellt den Abschluss des fünften Kapitels dar.

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen aus Theorie und Praxis werden in Kapitel 6 allgemeine Potenziale von Gebäudebegrünungen in Deutschland ermittelt. Dazu wird, ergänzend zu den in Kapiteln 2 bis 4 ermittelten Leistungs- und Anwendungspotenzialen, insbesondere auf den aktuellen Stand nutzbarer Flächen und auf das Kosten-Nutzen-Potenzial von Dach- und Fassadenbegrünungen eingegangen.

Die Arbeit schließt mit einem Fazit, auf das ein Ausblick auf mögliche zukünftige Forschungsansätze folgt.

2 Allgemeine Auswirkungen begrünter Gebäudeflächen auf die Umwelt

2.1 Das Stadtklima deutscher Städte - Status quo

In Deutschland leben etwa 77 % der Bevölkerung in Städten, weltweit sind es 55 % (Stand 2018, vgl. UN 2019: o. S.). Prognosen zufolge ist mit einer fortschreitenden Urbanisierung¹ zu rechnen, sodass der Anteil der in Städten lebenden Bevölkerung im Jahr 2050 in Deutschland auf 84,3 % und weltweit auf 68 % geschätzt wird (vgl. ebd.). Diese Entwicklung bringt nicht nur eine demographische Veränderung mit sich, sie hat darüber hinaus auch umweltrelevante Folgen.

Im Zuge des städtischen Wachstums, steigt auch der Grad an versiegelten Flächen, wie bspw. asphaltierte Verkehrswege und mit Beton oder Mauerwerk bebaute Grundflächen. Dies reduziert nicht nur den Anteil an Grünflächen, sondern führt auch zu einer Verstärkung des sogenannten *Urban Heat Island effect*² (UHI). Die Aufheizung von Städten resultiert maßgebend aus der Eigenschaft versiegelter Flächen, Strahlungswärme der Sonne tagsüber zu absorbieren und zu speichern und abends wieder an die Umgebung abzugeben (vgl. Grant 2006: 36).

Die aus diesen Phänomenen folgenden erhöhten Temperaturen in städtischen Regionen erfordern stärkere Klimatisierungen von Gebäuden. Diese führen wiederum zu einem größeren Verbrauch an Energie und damit einhergehend höheren Kosten. Ferner nimmt infolge der steigenden Temperaturen in Städten die Luftfeuchtigkeit zu, da erwärmte Luft mehr Wasser aufnehmen kann (vgl. Mann et al. 2020: 11). Dies kann einen Einfluss auf das Wetter haben.

Eine weitere Herausforderung, die sich aus der Urbanisierung ergibt, ist der Umgang mit Starkregenereignissen. Der Großteil des anfallenden Regenwassers fließt von Fassaden und Dächern ab, bevor er verdunsten kann. Da jedoch aufgrund der ausgeprägten Flächenversiegelung ein innerstädtischer Mangel an Versickerungsmöglichkeiten in den Boden besteht,

¹Urbanisierung beschreibt die Ausbreitung städtischer Lebensformen, die sich zum einen auf das städtische Wachstum (*physische Urbanisation*) und zum anderen auf die infrastrukturelle Erschließung ländlicher Gebiete (*soziale Urbanisierung*) beziehen kann (vgl. Infineon Technologies AG 2019: o. S.). Im Rahmen der Bachelorarbeit ist die *physische Urbanisierung* gemeint.

²Der *Urban Heat Island effect* beschreibt das Phänomen höherer Temperaturen urbaner Regionen im Vergleich zu nahegelegenen ländlichen Gebieten (vgl. Rutledge et al. 2011: o. S.).

kommt es nach starken Niederschlägen häufig zu Spitzenabflüssen (vgl. Pfoser et al. 2013: 14). Diese können zu einer Überlastung des Kanalsystems und dadurch zu Überflutungen und Schädigungen der Infrastruktur führen (vgl. Grant 2006: 33).

Weiterhin reflektieren innerstädtische Fassaden Schall und überlagern Verkehrsgeräusche, wodurch eine erhöhte Lärmbelastung vernommen wird (vgl. Pfoser et al. 2013: 14). Auch die hohe Schadstoffbelastung der Luft in Städten ist zu betrachten. Sie resultiert u. a. aus Verkehrsabgasen und Produktionsemissionen und ist im Vergleich zu ländlichen Regionen deutlich höher. Die Schadstoffe in der Luft gelangen in Form von Gasen oder Stäuben in die Atemwege und können gesundheitliche Beeinträchtigungen mit sich ziehen (vgl. ebd.: 14).

Den aufgezeigten stadtklimatischen Problemlagen sollte zukünftig mit sinnvollen Lösungen begegnet werden, um Städte auch langfristig lebenswert zu gestalten. Begrünte Gebäudeflächen könnten aufgrund ihrer Leistungen einen Lösungsansatz darstellen und werden nachfolgend im Hinblick auf verschiedene Aspekte genauer betrachtet.

2.2 Vorteile begrünter Gebäudeflächen

Im Folgenden werden die allgemeinen Vorteile, die mit Gebäudebegrünungen einhergehen, genauer beleuchtet und deren Auswirkungen auf das Stadtklima dargestellt. Hierbei stehen insbesondere der Biodiversitätsausbau und -erhalt, die energetische Gebäudeoptimierung, der Wasserrückhalt, die Schadstoffminimierung, der Lärm- und Schallschutz, der Gebäudeschutz, die ästhetische und psychologische Wirkung sowie die Wertsteigerung von Immobilien und die Sauerstoffproduktion bzw. Kohlenstoffdioxidbindung im Fokus. Gebäudebegrünungen werden im Rahmen der Analysen gesamtheitlich betrachtet und nur bei Unterschieden oder Besonderheiten nach Dach- und Fassadenbegrünungen differenziert.

Biodiversitätsausbau und -erhalt

Da Vegetationsflächen wichtige Lebensräume für verschiedene Tier- und Pflanzenarten bieten, ist der mit Bepflanzungen einhergehende Biodiversitätsausbau bzw. -erhalt ein wichtiger Aspekt von Gebäudebegrünungen. Besonders im Zuge zunehmender Urbanisierung werden Grünflächen verdrängt und reduziert, sodass es zu einer Minimierung der Artenvielfalt in Städten kommt. Zu den dadurch gefährdeten Tieren gehören u. a. Insekten, die aufgrund ihrer Funktionen im Ökosystem des Menschen unverzichtbar sind (vgl. Mann et al. 2020: 11). Experten zufolge können divers gestaltete Gebäudebegrünungen

Ausgleichsflächen für jene Kleintiere darstellen (vgl. BMU 2020: o. S.). Die Artenvielfalt auf einzelnen begrünten Gebäudeflächen wird dabei durch deren Zugänglichkeit bestimmt, denn Dachflächen können bspw. nur von Kleintieren, wie Insekten oder Vögeln, erreicht werden.

Energetische Gebäudeoptimierung

Neben Pflanzen und Tieren profitieren auch Menschen in der unmittelbaren Umgebung von Gebäudebegrünungen, da diese – abhängig von der Begrünungsvariante und der Vegetationswahl – zu einer verbesserten Gebäudeklimatisierung beitragen. Im Sommer wirkt die Vegetation kühlend und im Winter kann darüber hinaus ein zusätzlicher dämmender Effekt nachgewiesen werden. Dies kann bei großflächiger Begrünung zu erheblichen Einsparungen von Klimatisierungs- und Heizkosten führen.

Der kühlende Effekt von Grünflächen im Sommer resultiert zum einen aus Verschattungen der Oberfläche durch das Blattwerk der Vegetation und zum anderen aus den vermehrt stattfindenden Evapotranspirationsprozessen.³ Der Vorgang der Transpiration benötigt Energie, die der Luft in Form von Wärme entnommen wird. Dies bewirkt eine Kühlung der Umgebung (vgl. Pfoser et al. 2013: 170).

Der zielgerichtete Einsatz von Dach- und Fassadenbegrünungen im städtischen Raum bewirkt neben der Absorption von Energie in Form von Wärme außerdem eine Reduzierung der üblicherweise resultierenden Wärmerückstrahlung von Oberflächen (vgl. Köhler 2012: 110). Während bspw. auf unbegrünten Flachdächern mit Bitumenbahnen oder Bekiesungen Maximaltemperaturen von bis zu 80 °C erreicht werden können, erhitzt sich die Umgebung extensiv begrünter Flachdächer meist nur auf maximal 35 °C (vgl. BUE 2015: 29). Werden Gebäudebegrünungen demnach großflächig in stark verdichtete, städtische Gebiete integriert, kann dies zu einer signifikanten Temperatursenkung des städtischen Raums im Sommer führen und so den zuvor erläuterten Hitzeinseln entgegenwirken (vgl. Mann et al. 2020: 12).

Wie bereits erwähnt, verfügen Grünflächen weiterhin über eine dämmende Wirkung, die sowohl aus Eigenschaften der Vegetation als auch aus den Konstruktionsaufbauten resultiert und im Winter von Vorteil ist. Durch einen Schutz der Gebäudeoberfläche vor Windeinwirkungen wird somit das Auskühlen der Gebäudehaut verringert. Die Intensität dieses dämmenden Effekts variiert je nach Pflanzenart und System und ist von vielen Faktoren wie Blattstellung, Vegetationsdichte oder Durchfeuchtung abhängig. Die größte

³*Evapotranspiration beschreibt die Gesamtsumme der Wasserabgabe an die Atmosphäre und setzt sich aus der direkten Verdunstung von Oberflächen (Evaporation) und der Abgabe durch Pflanzen und Tiere (Transpiration) zusammen.*

dämmende Wirkung erzielen allerdings Substratschichten, in denen sich isolierende Luftpolster ausbilden sowie beruhigte Luftschichten bei vorgehängten Systemaufbauten (vgl. Pfoser et al. 2013: 104). Durch die zusätzliche Abschirmung der Gebäudehaut verringern sich die Wärmeverluste nach außen. Dabei werden bei Begrünungen von Bestandsgebäuden vergleichsweise höhere dämmende Effekte erzielt, als bei Begrünungen von Neubauten, die bereits eine gute Wärmedämmung aufweisen (vgl. Umberto Berardi et al. 2014: 425).

Die zuvor erwähnten kühlenden Effekte von Gebäudebegrünungen kommen jedoch auch im Winter zu Tragen. Aufgrund dessen ist es erforderlich eine Bilanzierung der dämmenden und kühlenden Effekte durchzuführen, um die Intensität der winterlichen Dämmung durch das jeweilige Begrünungssystem zu bestimmen. Das Ausmaß des dämmenden Effekts hängt darüber hinaus auch vom Gesamtaufbau der Wand oder des Dachs ab (vgl. Köhler; Nistor 2018: 180).

Wasserrückhalt

Einen weiteren Vorteil von Gebäudebegrünungen stellt das Wasserrückhaltevermögen begrünter Flächen dar. Die aufgrund der zusätzlichen Vegetation stattfindenden Evapotranspirationsprozesse bewirken, neben der Kühlung der Umgebungstemperatur, eine hohe Verdunstung von Regenwasser (vgl. Grant 2006: 33). Hinzu kommt, dass besonders Begrünungen auf Dächern aufgrund ihrer Substrat- und Drainageschichten große Mengen an Regenwasser zurückhalten und zeitverzögert an die Entwässerung abgeben können. Dies ermöglicht die Abschwächung und sogar Verhinderung von Spitzenabflüssen, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben. Das Wasserrückhaltevermögen von Begrünungssystemen ist daher in urbanen Regionen von großer Bedeutung. Denn während vollständig versiegelte Flächen einen Abflussbeiwert ψ^4 von 1,0 aufweisen, also 100 % des Regenwassers abfließt und nicht versickert, können für begrünte Dachflächen i. d. R. Werte von mindestens 0,8 bis zu 0,01 angesetzt werden (vgl. Optigrün 2021: o. S.).

In Anbetracht des Mangels an Versickerungsmöglichkeiten in verdichteten Städten, sorgt das Retentionsvermögen – insbesondere bei Starkregenereignissen – für eine enorme Entlastung von Stadtentwässerungssystemen (vgl. Mann et al. 2020: 60). Das Regenrückhaltevermögen begrünter Gebäudeoberflächen gewinnt also unter dem Gesichtspunkt ansteigender Urbanisierung immer mehr an Bedeutung.

⁴Der Abflussbeiwert ψ ist ein Maß für das Verhältnis vom direkt abfließenden Anteil eines Niederschlagsereignisses zum Gesamtniederschlag. Dieser ist von der Beschaffenheit des Einzugsgebiets (u. a. Substrat, Vegetation, Neigung) und der Intensität und Dauer des Niederschlagsereignisses abhängig (vgl. Bauformel 2021a: o. S.). Dabei ist ein geringer Abflussbeiwert für eine Stadt- und Grundstücksentwässerung vorteilhaft.

Das auf den Begrünungen zurückgehaltene Regenwasser kann darüber hinaus weiteren Verwertungen⁵ dienen und so den Wasserverbrauch reduzieren (vgl. Pfoser et al. 2013: 130).

Schadstoffminimierung

Hinsichtlich der Vorteile von Gebäudebegrünungen ist auch ihr Beitrag zur Lufthygiene bedeutend. Pflanzen können signifikante Mengen von Feinstaub durch Ab- und Adsorption binden (vgl. Pfoser 2016: 93). Dabei nehmen sie gasförmige Schadstoffpartikel, wie Schwermetalle oder krankheitserregende Keime, auf und filtern diese. Durch die Verstoffwechslung von Schadstoffen bewirken begrünte Gebäudeflächen eine Verminderung der Feinstaubbelastung und damit eine Verbesserung der Luftqualität (vgl. Mann et al. 2020: 11). Vor allem im innerstädtischen Raum, in dem die Feinstaubbelastung aufgrund von Verkehrsemissionen vergleichsweise hoch ist, ist diese Eigenschaft von Pflanzen bedeutend für die Gesundheit des Menschen.

Lärm- und Schallschutz

Neben den zuvor genannten Aspekten bedarf auch der Lärm- und Schallschutz einer Betrachtung. Die Schallminderung durch Pflanzen basiert primär auf drei Faktoren. Zum einen verhindern begrünte Gebäudeflächen eine direkte Reflexion des Schalls von Oberflächen. Darüber hinaus werden die Luftschallschwingungen im Blattwerk reflektiert und in mechanische Bewegungen der Blätter umgewandelt (vgl. Pfoser 2016: 95). Zuletzt bewirken auch die schallabsorbierenden Eigenschaften der Pflanzen eine Reduzierung des auftretenden Lärmpegels (vgl. ebd.: 46). Der Absorptiongrad ist dabei vegetationspezifisch und wird u. a. von der Bewuchsdichte, der Blattgröße und -dicke sowie der Blattstellung bestimmt. Der größte schallabsorbierende Effekt entsteht allerdings nicht durch die Vegetation, sondern durch Substratschichten (vgl. Pfoser et al. 2013: 155).

Verschiedene Forschungen zu Pegelminderungen durch begrünte Gebäudeoberflächen haben ergeben, dass eine Schallminderung durch Begrünungen von mehreren Dezibel erreicht werden kann (vgl. Linke 2017: 81). Damit sind die schallabsorbierenden und schallreflektierenden Eigenschaften von Pflanzen aufgrund des hohen innerstädtischen Verkehrsaufkommens in urbanen Regionen von großer Bedeutung. Es ist jedoch anzumerken, dass Forschungen zufolge lediglich bei flächendeckenden Begrünungen, bspw. begrünte Fassaden einer gesamten Straße, eine bedeutende Pegelminderung, die über die unmittelbare Umgebung hinaus geht, auftritt (vgl. ebd.: 80). Bei Einzelbegrünungen hat der positive

⁵*In Form von Grauwasser, welches gering verschmutztes Abwasser darstellt und anschließendem Schwarzwasser, das fäkalhaltiges Wasser beschreibt.*

Effekt lediglich Auswirkung auf das direkte Umfeld, wie z. B. auf das Geschoss unterhalb eines begrünten Dachs (vgl. Linke 2017: 32).

Gebäudeschutz

Weiterhin schützen Begrünungen Gebäudeoberflächen auch vor thermischen und mechanischen Einwirkungen und verlängern so die Haltbarkeit von Bauteilen. Stets notwendige Renovierungsintervalle können, je nach Bauart, sogar verdoppelt werden (vgl. BUE 2015: 20). Begrünte Bauteile sind außerdem vor Extremwetterereignissen wie Schlagregen, Sturm und Hagel besser geschützt (vgl. Mann et al. 2020: 12).

Ästhetik und psychologische Wirkung

Neben den bereits aufgeführten Vorteilen können Gebäudebegrünungen auch positiv zur Ästhetik eines Gebäudes und zur psychologischen Wirkung auf den Menschen beitragen. Sinnvoll eingesetzte Fassadenbegrünungen haben bspw. das Potenzial monotone Betonfassaden optisch aufzuwerten. Die psychologische Wirkung von Gebäudebegrünungen beruht dabei auf den mit Grünflächen assoziierten Erholungswert, weshalb diese auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen einwirken (vgl. ebd.: 12).

Besonders in stark bebauten Städten mit wenigen begrünten Bereichen wirken Fassaden- und Dachbegrünungen besonders positiv auf die Psyche der Menschen. Dachbegrünungen können dabei außerdem zusätzliche Freiflächen darstellen, was zu einer Verbesserung des Wohn- und Arbeitsumfeldes in Städten führen kann (vgl. Lösken 2018: 26).

Wertsteigerung von Immobilien

Die zuvor erläuterten energetischen Effekte der Gebäudedämmung und -kühlung sowie die Eigenschaften des Regenwasserrückhalts von Begrünungen können zur Wertsteigerung begrünter Immobilien beitragen (vgl. Mann et al. 2020: 12). Grund hierfür sind die möglichen Kosteneinsparungen von Heiz-, Klimatisations- und Abwassergebühren. Zudem wirkt sich auch die subjektive Wahrnehmung begrünter Gebäudeflächen wertsteigernd aus.

Sauerstoffproduktion bzw. Kohlenstoffdioxidbindung

Die Kohlenstoffdioxidbindung (CO_2) bzw. die Sauerstoffproduktion (O_2) durch Pflanzen kann zwar als positiver Aspekt von Gebäudebegrünungen erwähnt, darf aber keineswegs als klarer Vorteil bzw. Nutzen deklariert werden. In einer Gesamtbetrachtung ist es fraglich, ob die Vegetation eines Begrünungssystems ausreichend CO_2 umwandeln kann, um die, bei der Herstellung des Systems, freigesetzte CO_2 -Menge überhaupt wieder einzusparen. Für eine genauere Betrachtung sind detaillierte Bilanzierungen erforderlich, die nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind.

2.3 Nachteile begrünter Gebäudeflächen

Für eine gesamtheitliche Betrachtung der Auswirkungen von Gebäudebegrünungen werden neben den zuvor aufgeführten positiven Aspekten im Folgenden auch relevante Nachteile untersucht werden. Hierzu wird auf die Aspekte des vermehrten Aufkommens von Ungeziefer, der möglichen Bauteilbeschädigungen, der Zugänglichkeit begrünter Flächen sowie der Geltung architektonischer Elemente beleuchtet.

Vermehrtes Aufkommen von Ungeziefer

Gebäudebegrünungen bedeuten gleichzeitig eine Ansiedlung von Tieren, für die diese eine Erweiterung ihrer Lebensräume darstellen. So kann die Angst vor Tieren, die als störend empfunden werden, einer Gebäudebegrünung im Wege stehen. Veranschaulichend lassen sich die erst kürzlich entstandenen üppig begrünten Wohntürme in der chinesischen Stadt Chengdu nennen, die aufgrund einer Insektenplage seit Fertigstellung fast vollständig leerstehen (vgl. Der Standard 2020: o. S.). Der starken Ansiedlung von Insekten oder anderen als Ungeziefer bezeichneten Lebewesen kann mit einer sorgfältig geplanten Pflanzenwahl entgegengewirkt werden. Dieser Aspekt ist vor allem bei Fassadenbegrünungen zu beachten.

Mögliche Bauteilbeschädigungen

Ein Bild, das oftmals mit Gebäudebegrünungen verknüpft ist, beruht auf der Annahme, Begrünungen würden die jeweiligen zu begrünenden Bauteile beschädigen. Dies ist nicht unbegründet. So kann bspw. der Einsatz von Kletterpflanzen an Fassaden zu Bauschäden führen. Einige Arten saugen sich mit ihren Haftscheiben am Putz fest und können so die Fassadenoberfläche v. a. bei Entfernung beschädigen (vgl. Pfoser et al. 2013: 74). Andere Kletterpflanzen dringen u. U. mit ihren Wurzeln in Risse der Fassade ein und können so das Mauerwerk im Laufe des Wachstumsprozesses beschädigen (vgl. ebd.). Diesen Schadensbildern kann mit einer sorgfältigen Planung der Begrünungen vorgebeugt werden. Des Weiteren sollte die Eignung der jeweiligen Begrünungsvariante in Kombination mit der vorhandenen Fassade überprüft werden.

Auch durch das Anbringen von Befestigungselementen der Begrünungen entstehen potenzielle Schadensbilder. Dabei können sowohl statische als auch dämmende Schichten der Konstruktion von den Beschädigungen betroffen sein und somit in ihren Eigenschaften beeinträchtigt werden. Auch hier lassen sich die teilweise für die Ausführung von Begrünungen notwendigen, Beschädigungen der Bauteile durch eine detaillierte und sorgfältige Planung minimieren.

Zugänglichkeit begrünter Flächen

Eine Begrünung von Gebäudeflächen erschwert in vielen Fällen den Zugang zu diesen. Sind bspw. Sanierungsarbeiten an Fassaden oder auf Dächern erforderlich, so muss die Begrünung häufig entfernt und dadurch ggf. zerstört werden. Dies bringt im Vergleich zu unbegrünter Flächen einen deutlich erhöhten Arbeits-, Zeit- und Kostenaufwand mit sich. Darüber hinaus sind auftretende Mängel oder Schäden der begrünter Gebäudeoberflächen für den Betrachter nicht sofort sichtbar und können daher unter Umständen zu spät entdeckt und behoben werden. Eine regelmäßige Wartung und Kontrolle der begrünter Flächen ist somit zwingend erforderlich.

Geltung architektonischer Elemente

Als ein weiterer Nachteil, der sich insbesondere auf begrünte Fassadenflächen bezieht, kann die Verdeckung der Architektur genannt werden. Durch Begrünungen von gebäudeoberflächen kommen ggf. gestalterische Elemente nicht zur Geltung. Auch kann ein unkontrolliertes Wachstum von Begrünungen zu unerwünschten Verschattungen führen.

3 Übersicht zu Dachbegrünungssystemen

Im vorliegenden Kapitel werden auf Grundlage der zuvor thematisierten Auswirkungen von begrünten Flächen zunächst grundlegende Dachbegrünungsvarianten erläutert und hinsichtlich ihrer positiven Eigenschaften untersucht. Dazu werden extensive und intensive Dachbegrünungssysteme sowie innovative Dachbegrünungskonzepte und Sonderformen getrennt betrachtet. Im Anschluss an die Erläuterungen zu den verschiedenen Varianten erfolgt eine Betrachtung der Anwendungsbereiche und eine Darlegung der maßgebenden Voraussetzungen für Dachbegrünungssysteme. Schließlich steht die Kompatibilität der vorgestellten Systeme mit grundlegenden Dachaufbauten im Fokus.

3.1 Extensive Dachbegrünungssysteme

Unter extensiven Dachbegrünungen versteht man naturnah angelegte Begrünungen, die sich weitgehend selbst erhalten und eigenständig weiterentwickeln. Abgesehen von einer Anfangspflege¹ ist i. d. R. keine weitere regelmäßige Bewässerung erforderlich, sodass sich eine Unterhaltungspflege² auf zwei bis vier Kontrollgänge pro Jahr beschränkt (vgl. Lösken 2018: 94). Entsprechend begrünte Flächen werden lediglich für Pflege- und Wartungsmaßnahmen betreten.

Extensive Dachbegrünungen zeichnen sich außerdem durch ein relativ geringes Eigengewicht aus, welches ihren niedrigen Aufbauhöhen zu verdanken ist. Des Weiteren ist die Pflanzenwahl bei Extensivbegrünungen stark eingeschränkt. Dies liegt zum einen an den geringen Höhen der nährstoffspeichernden Substratschichten und zum anderen an den Anforderungen an einen minimalen Pflegeaufwand (vgl. Köhler 2012: 55). Als Vegetationsform werden vorzugsweise wasserspeichernde Pflanzen, darunter Sedumarten, Moose und Gräser, verwendet, da diese den extremen Witterungsbedingungen auf Dächern ohne Pflege standhalten können (vgl. Lösken 2018: 22).

Nachfolgend erfolgt die Betrachtung von Extensivbegrünungen als Direktbegrünungen, in Textilbauweise, in Textil-Substrat-Bauweise, als Modulare Begrünungen und schließlich als

¹Als Anfangspflege wird eine Bewässerung bis zur ersten Durchwurzelung der Pflanzen bezeichnet (vgl. BUE 2015: 31).

²Zur Unterhaltungspflege von Begrünungen gehören alle Pflegemaßnahmen, die für den Erhalt von Pflanzen erforderlich sind. Dazu zählen Bewässerung, Rückschnitte oder auch Düngungen. Sie wird kontinuierlich über die Lebensdauer der Dachbegrünung ausgeführt.

Begrünungen mit Substratschüttungen. Dabei werden die Systeme erläutert und hinsichtlich ihrer Leistungspotenziale analysiert. In diesem Zusammenhang stehen insbesondere die Kühl- und Dämmfunktion sowie die lärm- und schadstoffminimierenden Wirkungen im Fokus.

3.1.1 Extensivbegrünungen als Direktbegrünungen

Direkt- oder auch Spontanbegrünungen sind Minimalbegrünungen in Form von Moosen und Flechten, die problemlos auf Dächern mit Neigungen bis 35° und sogar bedingt bei Neigungen bis 85° realisiert werden können (vgl. Pfoser et al. 2013: 62). Dazu werden zunächst auf wasserabweisenden Dachabdichtungen Unterkonstruktionen, wie z. B. Stahlträger, aufgebracht, die anschließend mit Ziegel-, Stein- oder Kunststeinplatten bedeckt werden (Abb. 3.1). Die verwendeten Platten besitzen eine raue bzw. poröse Oberfläche, die eine Ansiedlung der Vegetation erleichtert und die Rückhaltung von Niederschlagswasser ermöglicht. Um einen ungewollten Begrünungsprozess an der Unterseite zu verhindern, sind in die Platten eine Wassersperre und eine Dämmschicht integriert (vgl. ebd.).

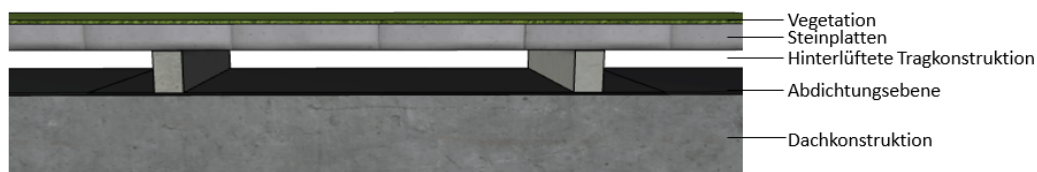


Abbildung 3.1: Schematischer Aufbau von Extensivbegrünungen als Direktbegrünungen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfoser et al. 2013: 62)

Die bei Direktbegrünungen eingesetzte Vegetation ist besonders widerstandsfähig gegen Witterungseinflüsse, sodass weder Bewässerungen, noch aufwendige Wartungen in Form von regelmäßigen Pflegemaßnahmen für ein eigenständiges Wachstum notwendig sind. Auch ist eine Vorkultivierung i. d. R. nicht erforderlich. Daher ist der Investitionsaufwand von Direktbegrünungen primär von den Kosten der Unterkonstruktionen und Platten abhängig.

Auf das hier vorgestellte Begrünungssystem treffen die in Abschnitt 2.2 diskutierten positiven Aspekte von Gebäudebegrünungen aufgrund der Minimalbegrünung zum Teil nur in geringem Maße zu. Der Wasserrückhalt entsprechender Begrünungen trägt mit maximal

20 l/m² zu einer geringen Entlastung von Entwässerungssystemen bei und bewirkt durch Transpirationsprozesse eine Kühlung der Umgebung. Darüber hinaus sorgt sowohl das gespeicherte Niederschlagswasser, als auch die flächige Vegetationsdecke für eine Schallabsorption (vgl. ebd.).

Moose und Flechten beziehen ihre Nährstoffe und Wasser aus der Luft, anstatt aus dem Substrat. Im Zuge der Nährstoffaufnahme binden sie dauerhaft große Mengen an Feinstaub und verstoffwechseln bis zu 75 % der Schadstoffpartikel, darunter Schwermetalle und Giftstoffe (vgl. ebd.: 63). Kombiniert mit einem minimalen Pflegeaufwand wirkt sich das enorme Potenzial der Schadstoffminimierung von Direktbegrünungen besonders vorteilhaft im innerstädtischen Raum aus.

3.1.2 Extensivbegrünungen in Textilbauweise

Neben Direktbegrünungen gelten auch Extensivbegrünungen in Textilbauweise als Minimalbegrünungen. Für eine Ausführung von entsprechenden Dachbegrünungen werden Kunststoffasermatten direkt auf die Dachabdichtung geklebt (Abb. 3.2). Diese Matten bestehen meist aus Vliesen und sind i. d. R. mit Moosen vorkultiviert. Ein außen liegendes Gewebe dient als Pflanzenhalter. Entsprechende Bauweisen sind – wie auch bei Direktbegrünungen – auf Dächern mit Neigungen bis 35° problemlos und bei Neigungen bis 85° bedingt möglich (vgl. ebd.: 64).



Abbildung 3.2: Schematischer Aufbau von Extensivbegrünungen in Textilbauweise (Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfoser et al. 2013: 64)

Die verwendete Vegetation erhält sich weitgehend selbst, wodurch auch bei diesem Begrünungssystem keine Bewässerung oder regelmäßige Pflegemaßnahmen erforderlich sind. Die Kosten von Begrünungen in Textilbauweise betragen ca. 45,00 bis 60,00 €/m². Hinzu kommen jährliche Pflegekosten von etwa 0,50 €/m² (vgl. ebd.).

Das Leistungspotenzial von Extensivbegrünungen in Textil-Bauweise zeichnet sich primär durch eine hohe Feinstaubbindung aus, die aus der Nutzung von Moosen als Vegetation re-

sultiert. Diese kommt besonders luftbelasteten Stadtgebieten zugute. Darüber hinaus sorgt die Verwendung wasserspeichernder Vliese für einen Regenwasserrückhalt von 24 l/m^2 , der sowohl zu einer geringen Entlastung der Entwässerungssysteme beiträgt, als auch eine Schallabsorption bedingt. Zusätzlich dazu bewirkt die vorhandene Transpirationskühle das Absenken der Umgebungstemperatur. Mit einem geringen Eigengewicht von ca. $0,2 \text{ kN/m}^2$ ist die Begrünung in Textilbauweise für Dächer mit einem geringen Traglastvermögen besonders attraktiv (vgl. Pfoser et al. 2013: 64).

3.1.3 Extensivbegrünungen in Textil-Substrat-Bauweise

Dachbegrünungen in Textil-Substrat-Bauweise ähneln in ihrem Aufbau stark dem System in Textilbauweise. Auf bestehende Dachkonstruktionen wird zunächst eine wasserdichte und wurzelfeste Abdichtungsebene verlegt. Oberhalb dieser Schicht werden Speichervliese verklebt, auf die im Anschluss bepflanzte organische Fasermatten (Abb. 3.3b) mit Substratschichthöhen von wenigen Zentimetern aufgebracht werden (Abb. 3.3a). Dachbegrünungen in Textil-Substrat-Bauweise sind auf Dachneigungen bis 35° problemlos und bei Neigungen bis 85° mit zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen möglich.

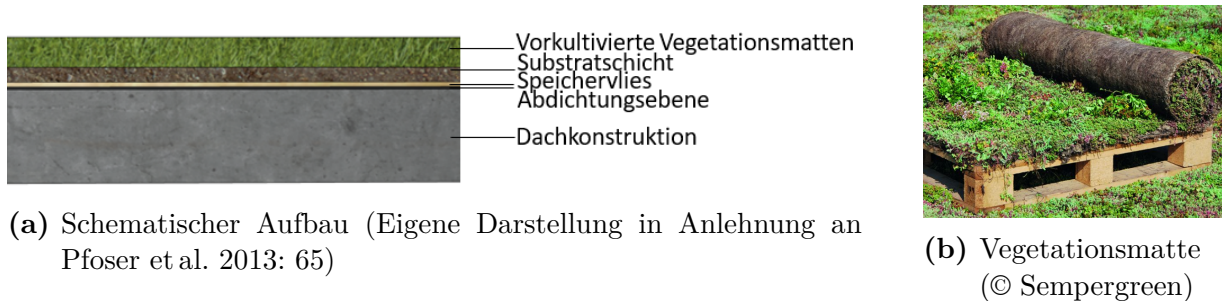


Abbildung 3.3: Extensivbegrünungen in Textil-Substrat-Bauweise

Die integrierte Substratschicht dient als zusätzliche Nährstoffquelle für die Vegetation, sodass neben Moosen auch Bepflanzungen mit Sedumarten und Kleingehölzen realisiert werden können. Dies resultiert in einem dichteren und vielfältigeren Bewuchs, als bei den zuvor betrachteten Minimalbegrünungen. Bei den verwendeten Pflanzen handelt es sich weitestgehend um witterungsbeständige Arten, die aufgrund der wasserspeichernden Schichten – Speichervlies und Substrat – auch in trockenen Perioden keiner künstlichen Bewässerung bedürfen. Notwendige Pflegemaßnahmen beschränken sich daher im Normalfall auf Kontrollgänge und das Entfernen unerwünschter Vegetation, wie Spontanbegrünungen

bspw. in Form von Baumkeimen. Die Kosten einer Begrünung in Textil-Substrat-Bauweise variieren je nach Bepflanzung und betragen ca. 55,00 bis 70,00 €/m². Zusätzlich ist mit jährlichen Pflegekosten von etwa 1,00 €/m² zu rechnen (vgl. ebd.: 65).

Die in Abschnitt 2.2 vorgestellten positiven Aspekte von Gebäudebegrünungen treten auch bei Systemen in Textil-Substrat-Bauweise auf. Ein Wasserrückhaltevermögen von bis zu 20 l/m² sorgt zum einen für eine Kühlung aufgrund von Transpirationsprozessen und zum anderen für eine geringe Entlastung der Entwässerungssysteme bei Starkregenereignissen (vgl. ebd.: 65). Außerdem kann dem Begrünungssystem in Textil-Substrat-Bauweise angesichts des vorhandenen Substrats ein geringer dämmender Effekt zugeschrieben werden. Allerdings ist fraglich, ob die Substratschicht dick genug ist, um über den Ausgleich des kühlenden Effekts durch Transpirationsprozesse hinaus, im Winter für eine zusätzliche Dämmung zu sorgen.

Zusätzlich zu den genannten Leistungen resultiert aus dem Begrünungsaufbau eine schallhemmende Wirkung, die in besonderem Maße auf der Substratschicht beruht sowie eine Bindung von Feinstaubpartikeln, die im Vergleich zu den beiden zuvor erläuterten Begrünungsvarianten in verminderter Form stattfindet. Da Sedumarten und Kleingehölze einen Großteil der notwendigen Nährstoffe aus dem Substrat beziehen, verringert sich die Aufnahme von Schadstoffpartikeln aus der Luft. Zusätzlich zu den erwähnten Aspekten wird die Dachhaut vor thermischen und mechanischen Einwirkungen geschützt.

Mit einem Eigengewicht von 0,3 bis 0,9 kN/m² lässt sich dieses Begrünungssystem auf Dächern mit geringem Traglastvermögen realisieren. Dabei kann das System bei ausreichendem Eigengewicht z. B. als Auflast gegen Windsogkräfte auf Flachdächern wirken und Kiesschüttungen oder Plattenbeläge ersetzen (vgl. ebd.: 65).

3.1.4 Extensivbegrünungen als modulare Dachbegrünungen

Modulare Dachbegrünungen bestehen – anders als bei den zuvor aufgeführten Systemen – aus vorkultivierten Modulen in Form von Vegetationsmatten, -bahnen oder -kassetten (Abb. 3.4), die auf Dächern mit Neigungen bis 20° problemlos und bei Neigungen bis 85° mit zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen zur Schubsicherung realisiert werden können (vgl. ebd.: 69).

Eine wasser- und nährstoffspeichernde Schicht kann bei den meist quadratischen oder rechteckigen Modulen aus Substraten oder Textilmatten bestehen. Je nach Höhe dieser Schicht kommen Moose, Stauden und Kleingehölze als Bepflanzungen zum Einsatz.



Abbildung 3.4: Modulelement einer Extensivbegrünungen als modulare Dachbegrünung (© Sempergreen)

Die jeweiligen Module werden so weit herangezüchtet, dass es nach der Fertigstellung des Begrünungsaufbaus keiner Anfangs- bzw. Fertigstellungspflege³ bedarf. Je nach Hersteller lassen sich die Elemente mit Steckverbindungen oder anderen Befestigungen zusammenfügen. Die Investitionskosten dieses Begrünungssystems betragen i. d. R. mindestens 50,00 €/m². Hinzu kommen jährliche Pflegekosten von ca. 3,00 €/m² (vgl. Pfoser et al. 2013: 69).

Das Leistungspotenzial von Begrünungen der vorgestellten Bauweise ist im Vergleich zu den zuvor betrachteten Begrünungssystemen höher einzuschätzen. Mit einem Wasserrückhaltevermögen von 25 bis 36 l/m² tragen modulare Begrünungen zu einer geringen bis mittelhohen Entlastungen der Entwässerungssysteme bei und sorgen durch Transpirationsskühlung für eine lokale Temperatursenkung. Eine dämmende Wirkung der Systeme kann bei Aufbauten mit hohem Substratanteil auftreten. Auch bewirkt die Vegetation in Verbindung mit dem Substrat Schadstoff- und Lärminderungen. Letztere fallen effektiver aus, je höher die Substratschichten in den Modulen sind. Die Dachhaut ist durch das Begrünungssystem ganzjährig vor thermischen und mechanischen Einwirkungen geschützt. Ein entscheidender Vorteil modularer Dachbegrünungen ist der Ausschluss von Verwehung der Vegetation oder des Substrats, da diese bereits fest miteinander verwurzelt sind. Eine Ausführung mit Modulen bietet außerdem die Möglichkeit temporärer Begrünungen, da diese ohne Zerstörung der Vegetation demontiert werden können. Für modulare Dachbegrünungen sind Lasten von 0,5 bis 1,0 kN/m² anzusetzen, sodass sich diese auch für Dächer mit einer geringen Traglastreserve eignen (vgl. ecosedumpack 2021: o. S.).

³Die Fertigstellungspflege beinhaltet alle Pflegemaßnahmen, die für ein erfolgreiches Anwachsen der Vegetation im ersten Jahr notwendig sind. Nach einem Jahr kommt es zur Abnahme der Dachbegrünung, wobei die Vegetation mindestens 60 % der Dachfläche bedecken sollte (vgl. BUE 2015: 31).

3.1.5 Extensivbegrünungen mit Substratschüttungen

Extensive Dachbegrünungen mit Substratschüttungen ermöglichen den Einsatz größerer Pflanzen, deren Wurzeln im Substrat Halt finden. Die Realisierung ist auf Dächern mit Neigungen bis 35° problemlos und bei Neigungen bis maximal 45° mit zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen zur Lagesicherheit möglich (vgl. Pfoser et al. 2013: 66). Extensivbegrünungen mit Substratschüttungen können in einschichtiger (Abb. 3.5a) oder mehrschichtiger (Abb. 3.5b) Bauweise – die sich hauptsächlich in ihrer wasserspeichernden Schicht unterscheiden – ausgeführt werden.

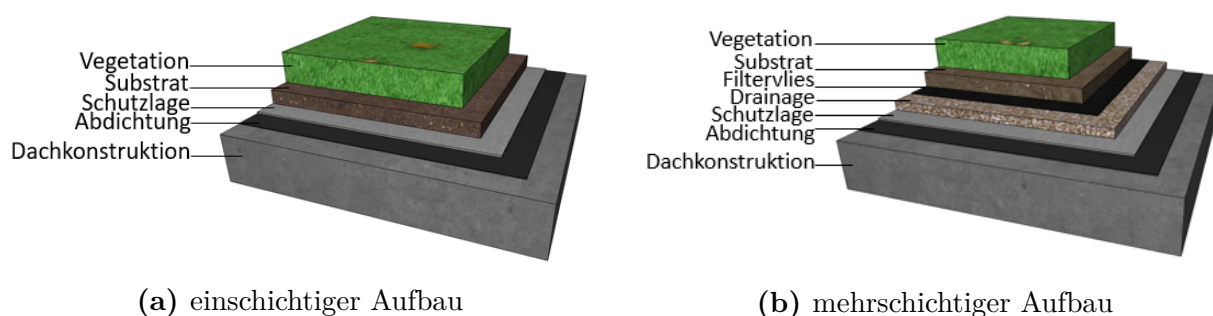


Abbildung 3.5: Schematischer Aufbau von Extensivbegrünungen mit Substratschüttungen in ein- und mehrschichtiger Bauweise (Eigene Darstellung in Anlehnung an BuGG 2020a: 4)

Einschichtige Aufbauten (Abb. 3.5a) bestehen aus einer wasser- und wurzelfesten Abdichtungsebene, in Form von Bahnen oder ganzflächigen Anstrichen, die auf die jeweilige Dachkonstruktion aufgebracht werden (vgl. Lösken 2018: 35). Anschließend folgt eine Schutzlage aus Vliesen o. ä., auf die eine 8 bis 10 cm hohe Substratschüttung folgt. Substrate können dabei aus Erde oder aus vielfältigen Gemischen, wie bspw. Porlit-Substrat, Bims-Lava-Gemisch, oder hydroponischen Flocken, bestehen (vgl. Köhler 2012: 144). Sowohl die Dachabdichtung bzw. der Durchwurzelungsschutz, als auch das Substrat sind stets nach den Anforderungen der Dachbegrünungsrichtlinien der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e. V. (FLL) auszuführen (vgl. BuGG 2020a: 4).

Bei der mehrschichtigen Bauweise (Abb. 3.5b) wird anstelle der Substratschicht zunächst eine Drainageschicht von 2 bis 6 cm Höhe installiert. Sie dient der Speicherung und Ableitung von Niederschlagswasser. Drainagen können mit Schüttstoffen, wie Kies, Bims und Blähschiefer, oder mit Dränmatten oder -platten, aus Kunststoff oder Vlies, ausgebildet werden (vgl. Lösken 2018: 64). Die Substratschicht mit einer variablen Aufbauhöhe von 5 bis 15 cm wird zudem durch eine Vliesschicht unterseitig von der Drainage getrennt.

Dieses Filtervlies verhindert das Einschlämmen von Feinpartikeln aus der Substrat- in die Drainageschicht und stellt somit einen ungehinderten Abfluss von Niederschlagswasser sicher (vgl. BuGG 2020a: 4).

Die Vegetation beschränkt sich bei Extensivbegrünungen mit Substratschüttungen auf Moose, Sedumarten, Stauden und Kleingehölze, kann aber im Vergleich zu den zuvor erläuterten Systemen flexibler und vielfältiger gestaltet werden. Die Höhe der Substratschicht, bestimmt dabei maßgebend die Vielfältigkeit der Vegetation. Die eingesetzten witterungsbeständigen Pflanzen benötigen i. d. R. keine künstliche Bewässerung, wodurch sich Pflegemaßnahmen auf regelmäßige Kontrollgänge und das Entfernen von unerwünschtem Bewuchs, wie Baumtriebe, die sich durch Verwehung ansiedeln, beschränken.

Die Kosten extensiver Dachbegrünungen in Substratbauweise liegen in etwa zwischen 20,00 und 40,00 €/m² und variieren besonders in Abhängigkeit der Vegetationswahl (vgl. ebd.: 3). Hinzu kommen jährliche Pflegekosten von ca. 3,00 €/m² (vgl. Pfoser et al. 2013: 66).

Im Vergleich zu den zuvor betrachteten extensiven Begrünungssystemen weisen die hier vorgestellten Varianten in einschichtiger und mehrschichtiger Bauweise das größte Leistungspotenzial auf. Die Substratschicht des Extensivbegrünungssystems trägt mit einem Wasserrückhaltevermögen von 30 bis 50 l/m² zu einer erhöhten Niederschlagswasserspeicherung und einer damit einhergehend mittelhohen Entlastung von Entwässerungssystemen bei. Dabei nimmt das Wasserrückhaltevermögen bei höherer Substratschicht und mehrschichtigem Aufbau zu. Im Zuge der großen Wasserspeichermenge der Systeme kommt es außerdem zu einer signifikanten Kühlung der Umgebungstemperatur infolge von Transpirationsprozessen. Im Vergleich zu unbegrüntem Dächern, zeigen Studien lokale Temperaturunterschiede der Dachoberflächen von bis zu 33 °C (vgl. ebd.: 178).

Neben dem kühlenden Effekt im Sommer kann dem System, v. a. aufgrund der Höhe der Substratschicht, auch eine dämmende Wirkung im Winter zugeschrieben werden. Messungen bei extensiv begrünten Dächern mit 10 cm hohen Substratschichten haben einen zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand R^4 von 0,14 bis 0,40 m²K/W ergeben. Dabei hängt der genaue Wert von der Art des Substrats ab (vgl. ebd.: 104). Um die gemessenen Zahlen in Relation zu setzen, bietet sich eine Umrechnung in eine äquivalente Dämmschichtdicke an. Demnach entsprechen die Wärmedurchlasswiderstände denen einer 5 bis 14 mm dicken

⁴Der Wärmedurchlasswiderstand R [m²K/W] beschreibt den Widerstand einer Schicht gegen einen definierten Wärmestrom. Die Berechnung des Wärmedurchlasswiderstands R erfolgt indem die Schichtdicke d [m] durch die Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] der Schicht dividiert wird: $R = d/\lambda$ (vgl. Albert; Schneider 2018: 10.3).

Wärmedämmung (WD) der Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) 035.⁵ Damit sorgt ein entsprechender Begrünungsaufbau ganzjährig für eine energetische Gebäudeoptimierung.

Darüber hinaus bewirkt die vorhandene Vegetation in Zusammenhang mit der Substratschicht auch hier eine verbesserte Schallabsorption. Die Höhe der Substratschicht bedingt dabei maßgebend die schallmindernde Wirkung des Aufbaus. Die auftretende Reduzierung der Schadstoffbelastung in der Luft entspricht bei gleicher Bepflanzung der des Systems in Textil-Substratbauweise. Untersuchungen zum Feinstaubbindevermögen von Pflanzen ergaben, dass auf extensiv begrünten Dächern mit Sedum-Gras-Kraut Vegetation 10 bis 20 % mehr Feinstaub als auf Schotterdächern gebunden werden kann (vgl. Gorbachevskaya; Herfort 2012: 28). Daraus resultiert ein bedeutender Beitrag dieser Begrünungssysteme zur Verbesserung der Luftqualität. Der hier beschriebene Begrünungsaufbau stellt darüber hinaus einen flächendeckenden Schutz der Dachhaut vor thermischen und mechanischen Einwirkungen dar.

Aufgrund des ausreichend hohen Eigengewichts von etwa 0,5 bis 1,9 kN/m² dieser Systemaufbauten ist eine Verklebung der Abdichtung mit dem Dach zur Sicherung gegen Windsogkräfte nicht erforderlich. Somit können Begrünungssysteme mit Substratschüttungen häufig zum Einsatz kommende Auflasten aus Kiesschüttungen oder Plattenbelägen ersetzen (vgl. Pfoser et al. 2013: 66).

3.2 Intensive Dachbegrünungssysteme

Intensive Dachbegrünungen beschreiben Begrünungen, die in ihrer gestalterischen Vielfalt und dem notwendigen Pflegeaufwand Gärten gleichgestellt sind (vgl. Köhler 2012: 14). Sie zeichnen sich im Vergleich zu den in Abschnitt 3.1 vorgestellten Extensivbegrünungen durch eine breitere Auswahl an Pflanzen und vielfältigere Nutzungsmöglichkeiten aus. Die zum Einsatz kommende Vegetation stellt jedoch hohe Ansprüche an Schichtaufbau, Pflege und Nährstoffversorgung (vgl. Lösken 2018: 21).

Sogenannte einfache Intensivbegrünungen gelten als eine Zwischenform von Extensiv- und Intensivgründächern. Demnach weisen sie, im Vergleich zu Extensivbegrünungen, zwar höhere Substratschichten und eine breitere Auswahl an Vegetation auf, stellen aber geringere Ansprüche an Pflege und Versorgung als Intensivebegrünungen. Die Nutzbarkeit von einfach intensiv begrünten Dächern beschränkt sich meist auf optische Zwecke (vgl. Köhler 2012: 56). Da sich sowohl der Aufbau, als auch die Anwendung von den zuvor betrachte-

⁵ $R = 0,005/0,035 = 0,14 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ und $R = 0,014/0,035 = 0,40 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

ten extensiven Begrünungssystemen nicht maßgebend unterscheidet, wird nicht weiter auf einfache Intensivbegrünungen eingegangen.

Nachfolgend werden Intensivbegrünungen mit Substratschüttungen und mit Pflanzgefäßen betrachtet. Dabei werden die beiden Systeme erläutert und hinsichtlich ihrer Leistungspotenziale analysiert. Dabei liegen besonders die Kühl- und Dämmfunktion sowie lärm- und schadstoffminimierenden Wirkungen im Fokus.

3.2.1 Intensivbegrünungen mit Substratschüttungen

Intensivbegrünungen mit Substratschüttungen (Abb. 3.6) werden, wie Extensivbegrünungen, auf Substratbasis in mehrschichtiger Bauweise ausgeführt und unterscheiden sich zu Extensivbegrünungen im Aufbau lediglich in den Höhen der Drainage- und Substratschichten.

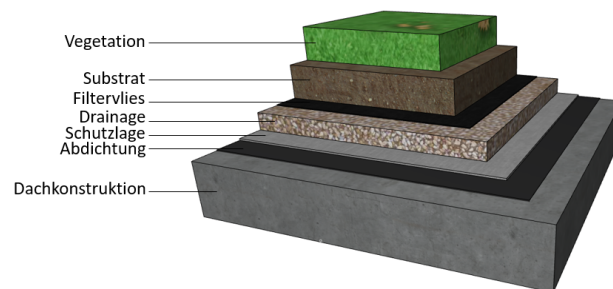


Abbildung 3.6: Schematischer Aufbau von Intensivbegrünungen mit Substratschüttungen (Eigene Darstellung in Anlehnung an BuGG 2020a: 4)

Auf eine Dachunterkonstruktion wird als Schutz vor Wasser und Durchwurzelung eine ein- oder zweilagige Dachabdichtung aufgebracht. Anschließend folgt eine Schutzschicht aus Vlies o. ä. Materialien mit einer daraufliegenden 6 bis 12 cm hohen Drainageschicht, die neben der Niederschlagswasserspeicherung auch dem Ableiten von Überschusswasser dient. Ein Filtervlies trennt die Drainage, die aus Kunststoffelementen oder Schüttstoffen besteht, von dem Substrat und verhindert so das Ablagern von Feinpartikeln aus der Substrat- und Vegetationsschicht. Die Intensivsubstratschicht muss eine Mindesthöhe von 15 cm aufweisen, beträgt aber in den meisten Fällen 20 bis 35 cm (vgl. BuGG 2020a: 5). Aufgrund der hohen Schichtaufbauten sind Intensivbegrünungen – anders als bei Extensivbegrünungen – nur auf Dächern mit Neigungen bis 5° möglich.

Die Vegetation kann – abhängig vom jeweiligen Traglastvermögen der Dächer – nahezu beliebig gewählt werden und bietet so einen ausgesprochen großen gestalterischen Frei-

raum. Dabei sind Vegetation und Höhe der Substratschichten aufeinander abzustimmen. So können Bäume bspw. erst ab Substrathöhen von 80 cm integriert werden (vgl. Pfoser et al. 2013: 67). Der Pflegeaufwand intensiv begrünter Dächer entspricht etwa jenem herkömmlicher Gärten. Künstliche Bewässerungen und die regelmäßige Durchführung von Pflegemaßnahmen sind also erforderlich.

Die Kosten intensiver Dachbegrünungen betragen mindestens 60,00 €/m² und hängen dabei stark von der individuellen Gestaltung der Vegetation ab (vgl. BuGG 2020a: 3). Zu den Investitionskosten kommen jährlich laufende Pflegekosten von etwa 3,50 bis 5,00 €/m² hinzu.

Das hier vorgestellte Begrünungssystem weist – wie die zuvor betrachteten Systeme – eine Reihe der in Abschnitt 2.2 dargestellten positiven Aspekte von Gebäudebegrünungen auf. Intensivbegrünungen mit Substratschüttungen haben – je nach Höhe der Substratschichten – ein Wasserrückhaltevermögen von 30 bis 200 l/m². Damit kann eine großflächige Installation dieses Dachbegrünungssystems zu einer bedeutenden Entlastung städtischer Entwässerungssysteme beitragen. Von der Wasserspeicherkapazität hängt ebenfalls maßgeblich die potenzielle Transpirationskühle durch die Begrünung ab. Bei hohen Schichtaufbauten können Reduzierungen der Oberflächentemperaturen von bis zu 18,5°C gemessen werden (vgl. Pfoser et al. 2013: 179). Intensivbegrünungen auf Substratbasis bedingen bei ausreichender Substrathöhe wärmedämmende Effekte im Winter. Diese beruhen primär auf der isolierenden Wirkung des Luftpolsters, das in Substratschichten ausgebildet wird. Eine flächendeckende Begrünung sorgt, neben einem Schutz der Dachhaut vor thermischen und mechanischen Einwirkungen, zusätzlich für eine Verminderung der Schadstoffbelastung in der Luft. Dabei hängt die Menge der gebundenen Schadstoffpartikel in erster Linie von der Art der Vegetation ab. Die schallabsorbierenden Eigenschaften der Dachbegrünungen sind zum einen auf die Reduzierung der Reflexionen durch verminderte Schwingungsübertragungen auf die Bepflanzung zurückzuführen, zum anderen bedingt das Substrat eine Lärminderung.

Bei Intensivbegrünungen ist flächendeckend mit Lasten ab 1,9 kN/m² zu rechnen. Hinzu kommen punktuelle Lasten, z. B. bei Baumbepflanzungen, sodass teilweise Gewichte von bis zu 6,8 kN/m² angenommen werden müssen (vgl. ebd.: 67). Intensivbegrünungen dieser Art fungieren in jedem Fall als Auflasten gegen Windsogkräfte.

3.2.2 Intensivbegrünungen mit Pflanzgefäßen

Intensive Dachbegrünungen können, anstelle von Gründachaufbauten mit Substratschüttungen, auch mit Begrünungen in Pflanzgefäßen (Abb. 3.7) ausgeführt werden. Die Nutzung von Pflanzgefäßen ermöglicht eine äußerst flexible Begrünung, bei der eine Anordnung der Gefäße auch nach der Bepflanzung verändert werden kann. Diese Begrünungsvariante ist auf Dächern mit Dachneigungen bis 5° zulässig (vgl. Pfoser et al. 2013: 68).



Abbildung 3.7: Schematischer Aufbau von Intensivbegrünungen mit Pflanzgefäßen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfoser et al. 2013: 68)

Die Pflanzbehälter aus Holz, Beton oder Metall werden mit einer Drainageschicht ausgestattet und anschließend mit Substrat gefüllt. Die Vegetation kann dabei nahezu beliebig gewählt werden, sodass auch die Integration größerer Gehölze in das Vegetationsbild möglich ist. Hier bietet sich auch eine Varianz der Substrathöhen an. Die Kosten beginnen bei ca. 500 €/m² und variieren je nach Pflanzgefäß- und Vegetationswahl. Zusätzlich ist mit jährlichen Pflegekosten von etwa 3,50 bis 5,00 €/m² zu rechnen (vgl. ebd.: 68).

Im Vergleich zu Intensivbegrünungen mit Substratschüttungen ist das Leistungspotenzial von jenen mit Pflanzgefäßen nicht klar zu definieren. Bezüglich des Regenwasserrückhaltvermögens lassen sich keine genauen Angaben machen, da dieses von der Art, Anzahl und Größe der Pflanzgefäße abhängt. Punktuell können ähnlich hohe Werte wie bei Intensivbegrünungen mit Substraten angenommen werden, sodass die maximale Wasserspeichermenge ungefähr 200 l/m² beträgt (vgl. ebd.). Je nach Speicherkapazität besteht ein kühlender Effekt der Umgebung, der aufgrund der häufig punktuellen Begrünungen in einem verminderten Umfang wirkt. Auch dämmende Effekte im Winter können nicht angenommen werden, da Substrat und Vegetation nicht flächendeckend ausgeführt sind. Die lärmindernden Eigenschaften von Begrünungsaufbauten kommen bei diesem System nur punktuell zum Einsatz, weshalb die Schallabsorption im Vergleich zu flächigen Intensivbegrünungen als weniger wirkungsvoll erachtet wird. Die Minderung der Feinstaubbelastung in der Luft wird primär durch die vegetationsspezifische Bindungskapazität bestimmt. Sofern Veränderungen der Gefäßanordnungen nicht vorgesehen sind, bietet es sich bei Be-

grünungen mit Pflanzgefäßen an punktuelle oder partiell flächige Lasten anzusetzen. Diese können – je nach Gefäß und Vegetation – über 10 kN/m² betragen (vgl. Köhler 2012: 42).

3.3 Innovative Dachbegrünungskonzepte und Sonderformen

Die im Folgenden betrachteten innovativen Konzepte und Sonderformen von Dachbegrünungssystemen unterscheiden sich in ihrer Konstruktion und bzw. oder Wirkung stark von den zuvor erläuterten, klassischen Extensiv- und Intensivbegrünungen, können diesen aber dennoch zugeordnet werden. Neben Retentionsdächern werden hydroponische Begrünungen erläutert und hinsichtlich ihrer Leistungspotenziale betrachtet.

3.3.1 Retentionsdächer

Retentionsdächer sind Dachbegrünungssysteme, die mit einer hohen Wasserspeicherkapazität ausgeführt werden und deshalb primär der Regenwasserrückhaltung dienen. Sie werden auf Dächern mit Dachneigungen von 0° bis 5° angewandt (vgl. Pfoser et al. 2013: 70). Entsprechende Dachbegrünungssysteme können sowohl mit Extensiv- als auch mit Intensivbegrünungen kombiniert und in drei Varianten mit Wasserführungen unter-, inner- und oberhalb der Substratschichten ausgeführt werden. Bei allen Ausführungsvarianten muss ein Schutz der Dachkonstruktion vor Feuchte und Durchwurzelung gewährleistet sein.

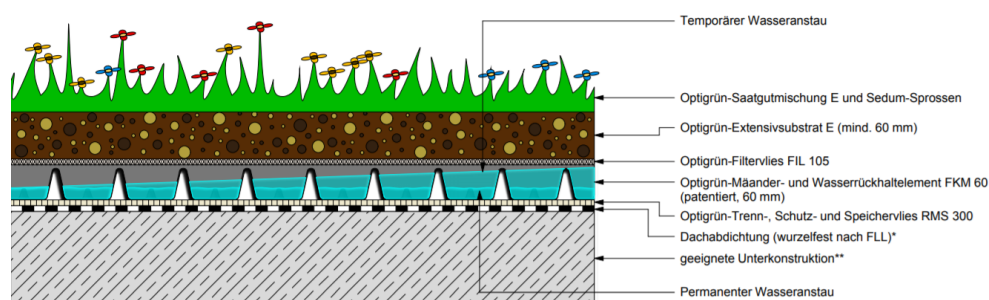


Abbildung 3.8: Optigrün-Systemlösung *Retentionsdach Mäander 60* (Quelle: Optigrün 2021: o. S.)

Systemaufbauten mit Wasserführungen unterhalb der Substratschicht (Abb. 3.8) entsprechen denen extensiver oder intensiver Begrünungen in mehrschichtiger Bauweise mit einem Unterschied: Statt einer Drainageschicht übernimmt hier ein Retentionselement die Funktion der Wasserrückhaltung. Dabei speichern die eingesetzten Retentionselemente einen Teil des Regenwassers dauerhaft und sorgen für ein verzögertes Abfließen des restlichen Niederschlagswassers durch Verlängerungen der Fließwege und Drosselungen am Auslauf (vgl. Optigrün 2021: o. S.).

Retentionselemente werden häufig nach dem Vorbild natürlicher Mäanderformen⁶ gestaltet. Systemaufbauten dieser Art erreichen Spitzenabflusswerte ψ_s ⁷ von nur 0,01 bis 0,3 (vgl. Pfoser et al. 2013: 152). Bei Dachbegrünungen in einschichtiger Substratbauweise dienen die Substrate als Retentionsschichten. Diese müssen für die Funktion der Regenwasserrückhaltung entsprechend beschaffen sein.

Eine weitere Variante von Retentionsdächern basiert auf einer Wasserführung oberhalb des Substrats. Bei Starkregenereignissen sind Anstauhöhen des Wassers von 10 cm innerhalb der Vegetationsschicht möglich. Für entsprechende Systemaufbauten werden Sumpf- und Wasserpflanzen eingesetzt, die über Luft und Wasser Nährstoffe beziehen. Diese sind mit Vegetationsmatten, statt Substratschichten verwurzelt (vgl. ebd.: 71). Die Anwendung von Wasserrückhaltungen oberhalb von Substratschichten ermöglicht die Schaffung eines Wasserbiotops, welches die Lebensräume für Tier- und Pflanzenarten erweitert, die auf einen hohen Feuchtigkeitsgehalt in ihrer Umgebung angewiesen sind.

Das Eigengewicht wassergesättigter Retentionsdächer variiert je nach Aufbauhöhe zwischen 1,0 bis 3,1 kN/m² (vgl. Optigrün 2021: o. S.). Dabei sind geringe Lasten der Systeme mit einem niedrigeren Retentionsvermögen verknüpft. Hinsichtlich der Kosten sind mit Investitionen von mindestens 25 €/m² zu rechnen. Je größer das Retentionsvolumen, desto höher sind die Kosten des Systems, sodass diese bis über 80 €/m² betragen können. Hinzu kommen jährliche Pflegekosten von ca. 1,50 bis 3,00 €/m² (vgl. Pfoser et al. 2013: 70).

Das Leistungspotenzial von Retentionsdächern zeichnet sich maßgebend durch die systembedingt hohen Wasserspeicherkapazitäten von 20 bis 200 l/m² sowie zusätzlichen temporären Retentionsvolumina von 10 bis 80 l/m² aus (vgl. Optigrün 2021: o. S.). Abhängig von der Höhe der Retentionselemente, führen diese im Sommer zu einer ausgeprägten, kühl-

⁶Als Mäander werden die natürlichen bogenförmigen Windungen oder Schlingen von Flüssen bezeichnet, die aus unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Querschnitt des Flusses resultieren. Mäander haben den Effekt, dass sie die Fließlänge verlängern und in den Windungen eine geringere Geschwindigkeit herrscht, wodurch sich die gesamte Abflussgeschwindigkeit verringert (vgl. Spektrum 2014: o. S.).

⁷Der Spitzenabflussbeiwert ψ_s beschreibt das Verhältnis der maximalen Regenabflussspende zu der zugehörigen Regenspende (vgl. Bauformel 2021b: o. S.).

lenden Wirkung durch Transpirationsprozesse der Pflanzen. Die Folge ist eine erhebliche Absenkung lokaler Umgebungstemperaturen. Von einem winterlichen dämmenden Effekt der Retentionsdächer kann aufgrund der hohen Wassersättigungen nicht ausgegangen werden (vgl. Pfoser et al. 2013: 106).

Das große Wasserspeichervolumen von Retentionsdächern ermöglicht neben den erwähnten lokal kühlenden Wirkungen und Entlastungen von Stadtentwässerungssystemen bei Starkregenereignissen eine Weiterverwendung von Regenwasser. Dieses kann gereinigt, gefiltert und im Anschluss sowohl für direkte und indirekte Kühlzwecke als auch in Form von Grau- und Schwarzwasser eingesetzt werden (vgl. ebd.: 130).

3.3.2 Hydroponische Dachbegrünungen

Hydroponische⁸ Dachbegrünungen zeichnen sich durch substratfreie Systemaufbauten aus, bei denen ausschließlich Wasser mit Zugabe von Düngemitteln als Nährstoffquelle dient. Es können sowohl extensive als auch intensive Dachbegrünungen (Abb. 3.9) realisiert werden. Im Folgenden werden der Aufbau sowie die Wirkweise hydroponischer Dachbegrünungen anhand des patentierten Systems *Hydro-Profi-Line* des Unternehmens *GKR Germany* erläutert (vgl. GKR Germany 2020: o. S.).

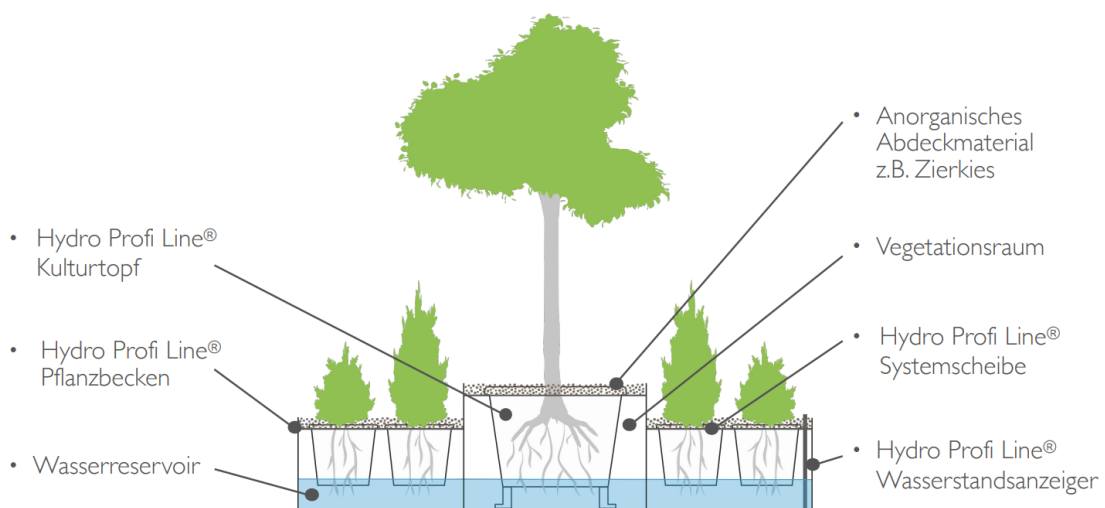


Abbildung 3.9: Hydroponische Dachbegrünung (© GKR Germany)

⁸Hydroponik ist ein Anwendungssystem der Hydrokultur und beschreibt den Anbau von Pflanzen in mineralstoff-gesättigten Nährstofflösungen. Bei dieser Methode werden Substrate lediglich als Stabilisation für Wurzeln eingesetzt (vgl. Spektrum 2018a: o. S.).

Die Systeme für Intensivbegrünungen bestehen aus mit Wasser gefüllten Pflanzbecken, die in Edelstahl oder Kunststoff ausgeführt werden. Sogenannte Systemscheiben mit Aussparungen, deren Form und Größe je nach Bepflanzung beliebig angepasst werden können, dienen als oberseitige Begrenzung dieser Pflanzbecken. In die Systemscheiben werden bepflanzte *Kulturtöpfe* bzw. *Pflanzkörbe* hineingesetzt, sodass diese in den Pflanzbecken in der Luft hängen. Bei den einzelnen Pflanzgefäßen handelt es sich um wiederverwendbare Behälter mit vielen Belüftungsöffnungen, in denen sich die Pflanzenballen befinden. Oberhalb der Systemscheiben erfolgt die Abdeckung der Pflanzgefäße mit anorganischen Materialien, wie bspw. Zierkies. Ein regulierbares Wasserreservoir innerhalb der Pflanzbecken reicht so weit an die einzelnen Gefäße heran, dass über die Wurzeln Nährstoffe aus dem Wasser bezogen werden können (vgl. GKR Germany 2020: o. S.).

Wenn Wasser innerhalb der Vegetationskammern verdunstet, kondensiert es an der Unterseite der Systemscheiben und gelangt zurück ins Wasserreservoir. Dies reduziert den Wasserverbrauch im Vergleich zu klassischen Begrünungssystemen um bis zu 80 % (vgl. Fürst 2020: o. S.).

Extensiv- und Intensivbegrünungen in Form von Rollvegetationen, wie Rasen, Sedum- oder Kräuterpflanzen, werden – anders als die zuvor beschriebene Bauweise – auf einem durchlässigen Gitter mit Abstand zum Boden aufgebracht. Die Gesamthöhe des Aufbaus beträgt in etwa 10 cm. Es können aber auch die beiden beschriebenen Aufbauten mit einem Wasserreservoir kombiniert auf Dachflächen installiert werden.

Prinzipiell lassen sich alle Pflanzen einsetzen, die auch in herkömmlichen Dachbegrünungssystemen zu finden sind, darunter sind bei Intensivbegrünungen auch große Bäume. Die abgeschlossenen Pflanzgefäße stellen mit Luft und Wasser gefüllte Vegetations- bzw. Klimakammern dar, die das Feinwurzelwachstum der Pflanzen auslösen. Infolge der Ausbildung von Feinwurzeln ergibt sich ein geringerer Platzbedarf im Wurzelraum, welcher in niedrigeren Aufbauhöhen resultiert. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Lasten von herkömmlichen Begrünungssystemen zu einem Großteil aus den Gewichten der wassergesättigten Substratschichten resultieren. Diese sind im vorliegenden System nicht vorhanden. Durch die aufgeführten Gewichtsreduktionen im Vergleich zu herkömmlichen Systemen, verringern sich die anzusetzenden Lasten bei gleicher Vegetation um bis zu 30 % (vgl. GKR Germany 2020: o. S.).

Hydroponische Dachbegrünungssysteme benötigen einen geringen Pflege- und Bewässerungsaufwand als herkömmliche Systeme. Ausfälle von Vegetation können problemlos durch einen punktuellen Austausch behoben werden. Zu den Investitionskosten hydroponischer Dachbegrünungen können vom Systemhersteller keine Angaben gemacht werden, da die Höhe dieser Kosten stets projektspezifisch zu ermitteln ist (vgl. Fürst 2020: o. S.).

Hinsichtlich der Betrachtung des Leistungspotenzials dieses innovativen Begrünungssystems ist zu erwähnen, dass auftretende dämmende Effekte von herkömmlichen Systemen primär auf der isolierenden Wirkung von Luftpolstern in Substratschichten basieren. Da diese beim vorliegenden Aufbau nicht vorhanden ist, liegt die Annahme nahe, dass eine winterliche Wärmedämmung Dachbegrünungssystemen auf hydroponischer Basis nicht angenommen werden kann. Konträr dazu sind die kühlenden Effekte der Begrünungssysteme im Sommer um so ausgeprägter. Zum einen bewirkt der hohe Wasseranteil, der in den Systemaufbauten gespeichert wird, eine Kühlung der Dachhaut und zum anderen sorgen die Transpirationsprozesse der Pflanzen für eine Senkung der Umgebungstemperaturen. Schallminderungen können lediglich durch die Absorptionseigenschaften der Pflanzen hervorgerufen werden und fallen daher eher gering aus. Reduzierungen der Schadstoffbelastungen durch die pflanzliche Bindung und Verstoffwechslung von Feinstaubpartikeln aus der Luft sind je nach Vegetationswahl unterschiedlich stark ausgeprägt. Zeitgleich reinigen die Feinwurzeln der Pflanzen das Wasser durch Bindung von im Wasser befindlichem Feinstaub.

3.4 Anwendungsbereiche von Dachbegrünungssystemen

Im vorliegenden Abschnitt werden die Anwendungen von extensiv und intensiv begrünten Dächern als Biodiversitäts Gründächer, Solargründächer sowie Freizeitflächen und Urban Gardening näher betrachtet, um im Zuge dessen den Nutzen der beschriebenen Begrünungssysteme zu untersuchen.

Biodiversitätsgründächer

Die Realisierung von Biodiversitätsgründächern durch Extensiv- oder Intensivbegrünungen kreiert ökologisch hochwertige Erweiterungen pflanzlicher und tierischer Lebensräume, die zum Erhalt der Biodiversität beitragen. Begrünte Dachflächen werden jedoch von vielen Experten, im Vergleich zu natürlichen Lebensräumen, i. d. R. nicht als ökologisch gleich-

wertig betrachtet. Grund dafür ist die Unzugänglichkeit von Dachflächen für die meisten Tierarten, sodass sich diese konstruierten Lebensräume hauptsächlich auf Vögel und Insekten beschränken. Mit Hilfe von Dachbegrünungen können dennoch ökologische Nischen⁹ angelegt werden, die bspw. den Lebensraum von gefährdeten Insektenarten erweitern und dadurch v. a. zum Fortbestand zahlreicher Gattungen beitragen (vgl. insectrespect 2021: o. S.).

Mit unterschiedlichen Substrathöhen und zusätzlichen Strukturegegenständen, wie Totholz, kann ein nahezu natürliches Habitat geschaffen werden. Vor allem bei Intensivbegrünungen ist der Einfluss des Menschen dabei auf ein Minimum zu beschränken, um das ökologische Leistungspotenzial solcher Dachbegrünungen voll ausschöpfen zu können. Mit der Realisierung von wirkungsvollen Biodiversitätsgründächern geht also der Verzicht einer Nutzung durch den Menschen einher. In Anbetracht der hohen Kosten intensiv begrünter Dächer ist es fraglich, ob die Anwendung von reinen Biodiversitätsgründächern auf großen Zuspruch bei Bauherren/-innen und Investoren/-innen trifft.

Da die Vegetationslandschaft von Biodiversitätsgründächern vielfältig gestaltet sein muss, können entsprechende Anwendungen nur auf extensiv begrünten Dächern entweder mit Textil-Substrat-Begrünungssystemen oder modularen Dachbegrünungssystemen und Systemen mit Substratschüttungen ausgeführt werden (vgl. Abschnitt 3.1 und 3.2.1).

Solargründächer

Eine weitere Nutzungsmöglichkeit ist die Gestaltung von Solargründächern. Extensive Dachbegrünungen lassen sich, aufgrund von Synergieeffekten, gut mit Photovoltaikanlagen kombinieren. Diese weisen bei hohen Außentemperaturen einen erhöhten wärmebedingten Leistungsverlust auf, den vorhandene Pflanzen durch das Kühlen der Umgebungstemperatur erheblich reduzieren können (vgl. Pfoser et al. 2013: 122). Extensive Begrünungen wirken sich also leistungssteigernd auf Solarzellen aus, die für Photovoltaik (PV) genutzt werden. Des Weiteren ist eine Verschattung von entsprechenden Solarelementen durch Bepflanzungen aufgrund geringer Vegetationshöhen ausgeschlossen (vgl. ebd.: 122). Intensivbegrünungen eignen sich aufgrund der Verwendung größerer Pflanzen i. d. R. nicht für Solargründächer.

An dieser Stelle sei außerdem darauf hingewiesen, dass sich Leistungssteigerungen ledig-

⁹*Eine ökologische Nische beschreibt die Gesamtheit aller biotischer und abiotischer Umweltfaktoren, die eine Art für die Ausübung ökologischer Prozesse und zum Überleben braucht. Biotische Faktoren sind dabei andere Organismen, also bspw. Nahrung, Konkurrenten und Feinde, während abiotische Faktoren physikalische Faktoren wie z. B. Bruträume, Temperatur und Feuchtigkeit beschreiben (vgl. Spektrum 2018b: o.S.).*

lich auf PV-Anlagen beziehen. Anders ist es bei der Kombination von Solarthermie und begrünten Dächern. Hier wirkt sich die Transpirationskühlung der Pflanzen negativ auf die Leistung der Solarelemente aus, da diese mit steigender Temperatur zunimmt.

Eine Installation von PV-Anlagen auf Gründächern bedeutet außerdem eine erhöhte strukturelle Diversität, da Verschattungen durch die Module partiell für andere Licht- und Feuchtigkeitsbedingungen und somit für zusätzliche Mikrohabitate sorgen (vgl. Mann et al. 2020: 11). Durch die Verwendung von PV-Elementen kann demnach auch die Biodiversität auf Dächern erhöht werden.

Freizeitflächen und Urban Gardening

Intensive Dachbegrünungen können in Form von aufwändigen Dachgärten, Parkanlagen oder Terrassenflächen realisiert und der Freizeitgestaltung oder dem Urban Gardening¹⁰ gewidmet werden. Dabei bleibt es den Planer/-innen offen, inwieweit die Gestaltung den Biodiversitätsausbau berücksichtigen soll, bzw. ob ein ökologisch hochwertiger Lebensraum für Tiere integriert wird. Durch die Nutzbarkeit intensiv begrünter Dächer kommt auch die in Abschnitt 2.2 erwähnte positive psychologische Wirkung auf den Menschen zum Tragen, da die Nutzer/-innen von dem Erholungswert profitieren.

3.5 Maßgebende Vorraussetzungen für Dachbegrünungssysteme

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte beleuchtet, die bei der Planung von extensiven und intensiven Dachbegrünungen zu beachten sind. Dazu werden die Berücksichtigung von Dachneigungen auf das notwendige Traglastvermögen von Wandaufbauten, auf den Brandschutz sowie die Pflanzenwahl eingegangen.

Berücksichtigung von Dachneigungen

Wie bereits in Abschnitt 3.1 erwähnt, können extensive Dachbegrünungen auf Dächern von 0° bis 85° realisiert werden. Die FLL empfiehlt jedoch von Begrünungen auf Dächern mit einer Dachneigung von mehr als 45° abzusehen (vgl. Lösken 2018: 30). Intensivbegrünungen werden i. d. R. auf Dächern mit Neigungen von 0 bis 5° realisiert. Je nach Anbieter und Begrünungssystem können Anforderungen an eine Mindestneigung von bspw. 1° gestellt werden, um den Abfluss von Niederschlagswasser zu garantieren.

¹⁰ *Urban Gardening, übersetzt urbaner Gartenbau, beschreibt die gärtnerische Nutzung städtischer Flächen.*

Sowohl auf flachen als auch auf geneigten Dächern können Wasser- und Oberflächenerosionen in Form von Verwehungen auftreten. Dabei stellen stärker geneigte Dächer größere Windangriffsflächen dar. Erst mit fester Verwurzelung der Vegetation im Substrat schwindet die Gefahr für Pflanzen und Saatgut durch Wind oder Wasser abgetragen zu werden. Um entsprechenden Erosionsprozessen vorzubeugen ist es daher ratsam präventive Maßnahmen, wie einem Erschweren des Schichtaufbaus, einer Nutzung von Erosionsschutzgewebe oder einer Verwendung von Nassansaat, zu ergreifen (vgl. Lösken 2018: 46f).

Während Intensivbegrünungen bei hohen Dachneigungen nicht möglich sind, spielen diese für Extensivbegrünungen eine wichtige Rolle. Schon ab geringen Neigungen bestehen Risiken der Lagesicherheit der Begrünungssysteme. Bspw. können Maßnahmen gegen das Abrutschen von Schichten an Schichtgrenzen ab Dachneigungen von 10° erforderlich sein und z. B. in Form von konstruktiven Abstützung, Aufhängungen oder durch in der Dachfläche integrierte Schubwellen realisiert werden. Ansonsten mindert eine Reduzierung der vorhandenen Schichten oder der Einsatz von Verbundelementen, wie Modulmatten, das Risiko des Abrutschens (vgl. ebd.: 47).

Auch sind mögliche Materialverlagerungen beim Entstehen des Schüttwinkels von Schüttstoffen als Gefahrenquelle zu erwähnen. Wenn der natürliche Schüttwinkel kleiner als die Dachneigung ist, kann dies zum Abrutschen des Materials führen. Zur Vorbeugung dessen sind Stoffe mit erhöhter Scherfestigkeit, eine Bündelung der Schüttstoffe in Kästen oder Textiltaschen oder auch eine flächige Abdeckung in Form von Vegetationsmatten zu empfehlen (vgl. ebd.: 48).

Notwendiges Traglastvermögen von Dachaufbauten bei extensiven und intensiven Dachbegrünungssystemen

Vor der Ausführung von Dachbegrünungen muss stets das Traglastvermögen der jeweiligen Dächer überprüft werden. Anzusetzende Lasten von Extensivbegrünungen variieren i. d. R. zwischen $0,2$ und $2,0$ kN/m^2 (vgl. Köhler 2012: 41). Anzusetzende Lasten bei Intensivbegrünungen betragen – wie in Abschnitt 3.2 bereits erläutert – ca. $2,0$ bis $5,0$ kN/m^2 . Dabei sollte beachtet werden, dass größere Sträucher und Bäume als Punkt- oder Linienlasten angesetzt werden müssen und es somit punktuell zu höheren Lasten von teilweise mehr als 10 kN/m^2 kommen kann (vgl. ebd.: 42). Des Weiteren müssen die Wärmedämmungen, je nach Dachaufbau, den angesetzten Punkt- und Linienlasten standhalten können.

Das genaue Eigengewicht von Begrünungssystemen wird bestenfalls vom Hersteller angegeben und bezieht sich stets auf das Gewicht im wassergesättigten Zustand.

Brandschutz extensiver und intensiver Dachbegrünungssysteme

Extensive und intensive Dachbegrünungen gelten als *Harte Bedachungen*. Sie müssen die Brandschutzanforderungen nach DIN 4102 erfüllen, um als widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme zu gelten (vgl. Lösken 2018: 45). Um potenzielle Brandweiterleitungen zu verhindern sind Randstreifen aus Kies sowie durchgehende Kiesstreifen in Abständen von 40 m auszuführen (vgl. Köhler; Nistor 2018: 23).

Brandversuche von Extensivbegrünungen zeigen, dass offene Flammen bereits nach ca. 12 Minuten wieder erlöschen und darüber hinaus keine flächige Brandausbreitung auftritt (vgl. ZinCo 2021: o. S.). Darüber hinaus könnten Aufbauten im wassergesättigtem Zustand zu Minderungen der Brandgefahr beitragen. Hierzu besteht allerdings noch Forschungsbedarf.

Eine einheitliche Prüfung des vorbeugenden Brandschutzes von Dachbegrünungen gibt es derzeit jedoch noch nicht. Die Systeme werden in Einzelfallbetrachtungen von Gutachtern bewertet. Dazu sind Ergebnisse von Brandversuchen heranzuziehen oder ggf. neue durchzuführen. Da sich die einzelnen Dachbegrünungssysteme je nach Hersteller unterscheiden, sind individuelle Prüfungen empfehlenswert.

Pflanzen- und Substratwahl bei extensiven und intensiven Dachbegrünungssystemen

Die Pflanzenwahl ist ein entscheidender Faktor der maßgeblich zur Langlebigkeit von Dachbegrünungen beiträgt. Er wird durch mehrere Parameter bestimmt. Dabei sind u. a. die Ausrichtung der zu begrünenden Fläche, klimatische und witterungsbedingte Faktoren, die optische Ansprüche, die gebäudeoptimierende Wirkung sowie der Umfang der Unterhaltungspflege im Planungsprozess zu berücksichtigen (vgl. Lösken 2018: 24).

Auch die Wahl eines geeigneten Substrats ist essenziell für eine möglichst nachhaltige und effiziente Gebäudebegrünung. Substrate sollten dabei tendenziell ein möglichst geringes Gewicht haben. Es ist allerdings zu beachten, dass dieses dennoch ausreichend hoch sein sollte, um die Vegetation vor Verwehungen zu schützen (vgl. Köhler 2012: 43). Des Weiteren sollten Substrate eine auf die Bepflanzung abgestimmte Nährstoffverfügbarkeit sowie eine große Formstabilität und Speichervolumen aufweisen. Sie können dabei aus Erde oder aus vielfältigen Gemischen, wie bspw. Porlit-Substrat oder hydroponischen Flocken bestehen (vgl. ebd.: 144). Substrate sind gemäß den Anforderungen der FLL-Dachbegrünungsrichtlinien für die Einschicht- oder Mehrschichtbauweise auszuführen.

3.6 Kompatibilität von Dachbegrünungssystemen und grundlegenden Dachaufbauten

Nachfolgend stehen die Anwendungen der zuvor dargestellten Begrünungssysteme auf verschiedene Dachaufbauten im Fokus. Dazu werden die in Deutschland am verbreitetsten Dachaufbauten Wärmdächer, Umkehrdächer, Duo-Dächer, Kaltdächer, Dachdecken aus WU-Beton, Schrägdächer mit Dacheindeckungen sowie Metaldächer zunächst vorgestellt und im Anschluss wird die Anwendung von Begrünungssystemen auf diesen Dächern betrachtet. Damit soll eine Übersicht möglicher Begrünungen geschaffen werden.

Wärmdächer

Wärmdächer gelten als die am häufigsten angewandte Flachdachbauweise und zeichnen sich durch den Aufbau mit einer Dampfbremse unterhalb der Wärmedämmung und einer anschließenden Abdichtungsebene aus. Für eine Anwendung von Dachbegrünungssystemen jeglicher Art ist eine hochwertige Dampfsperre erforderlich (vgl. Köhler 2012: 40). Wenn auf Wärmdächern wärmedämmende Schichten, wie Drainageelemente aus Polystyrol-Hartschaum, aufgebracht werden, fallen diese Dachaufbauten in die Kategorie der Duo-Dächer (vgl. ebd.: 41).

Umkehrdächer

Umkehrdächer zeichnen sich durch eine außenseitige XPS-Dämmung mit darunterliegender Abdichtungsebene aus, die gleichzeitig als Dampfbremse dient. Auf entsprechenden Dachaufbauten ist es erforderlich einen flächigen Wasseranstau zu verhindern. Des Weiteren dürfen keine dampfdiffusionsbehindernden Schichten oberhalb der XPS-Dämmung angebracht werden. Daher ist zu prüfen inwieweit Dampfdiffusionsvorgänge durch Dachbegrünungssysteme eingeschränkt werden. Ggf. sind hier zusätzliche Maßnahmen erforderlich (vgl. Lösken 2018: 30).

Duo-Dächer

Duo-Dächer sind eine Kombination aus Warm- und Umkehrdächern. Zwischen einer Wärmedämmung und einer XPS-Dämmung befindet sich eine Abdichtungsebene, welche als Dampfbremse fungiert. Auch hier ist zu beachten, dass es zu keinem flächigen Wasseranstau kommen darf. Ebenfalls dürfen Dampfdiffusionsvorgänge durch Dachbegrünungssysteme nicht behindert werden (vgl. ebd.: 30).

Kaltdächer

Kaltdächer sind zweischalige, belüftete Dächer. Oberhalb einer Wärmedämmung, die über einer Dampfbremse verlegt ist, befindet sich eine Durchlüftungsebene. Auf einer anschließenden Schalung, bspw. aus Holz, befinden sich eine Trennlage und abschließend die Abdichtungsebene. Die obere Schale weist meist eine deutlich geringe Tragfähigkeit als die Unterkonstruktion auf. Dies ist beim Ansetzen von Lasten zu berücksichtigen. Eine dämme Wirkung durch Begrünungssysteme tritt aufgrund der kalten Luft in der Durchlüftungsebene i. d. R. nicht auf (vgl. Köhler 2012: 41). Der Kühleffekt von Dachbegrünungen kann allerdings Einfluss auf die bauphysikalischen Vorgänge haben (vgl. Lösken 2018: 30).

Dachdecken aus WU-Beton

WU-Beton-Dächer werden aus wasserundurchlässigem Beton hergestellt. Daher besteht i. d. R. nicht die Notwendigkeit einer wasser- und wurzelfesten Abdichtungsbahn bzw. -schicht (vgl. ebd.: 31).

Schrägdächer mit Dachdeckungen

Dächer mit Dachdeckungen sind als bedingt geeignet für Dachbegrünungen einzustufen, da nur durch zusätzliche Maßnahmen, wie ein Ausbau wasserdichter Unterdächer, Begrünungen möglich sind (vgl. ebd.: 31).

Metalldächer

Metalldächer kommen häufig bei ungedämmten Gebäuden zu Tragen. Sie zeichnen sich durch glatte Oberflächen aus. Für Realisierungen von Begrünungen müssen diese vor Wegrutschen mit Hilfe von gummierten Vliesen oder Gummigranulatmatten gesichert werden. Metalldächer sind i. d. R. bereits wurzelfest, sodass auf eine Schicht gegen Durchwurzelung verzichtet werden kann (vgl. BauNetz 2021a: o. S.).

Kompatibilität von Begrünungssystemen und Dachaufbauten

Aufbauend auf den Betrachtungen und Analysen der unterschiedlichen konstruktiven Möglichkeiten von Dachbegrünungen sowie der Darstellung grundlegender Dachaufbauten wird aus den daraus gewonnenen Erkenntnissen nun die Kompatibilität einzelner Begrünungssysteme in den Fokus gerückt. Die aus der Kompatibilitätsbetrachtung gewonnenen Erkenntnisse bieten einen ersten Aufschluss über das Anwendungspotenzial von Dachbegrünungen und tragen somit maßgeblich zu einer Einschätzung des Gesamtpotenzials von Gebäudebegrünungen bei.

In der Tabelle 3.1 sind übergeordnete Einschätzungen aufgeführt, die auf den vorangegangenen Untersuchungen beruhen. Die Tabelle enthält die Kriterien *geeignet*, *bedingt geeignet* und *nicht geeignet*. Für alle Dachaufbauten sind – neben den aufgeführten Merkmalen in der Tabelle – die Prüfung des Traglastvermögens sowie die Sicherstellung des Wasser- und Durchwurzelungsschutzes grundsätzlich notwendig. Auch ist die Erfüllung von Brandschutzauflagen sicherzustellen.

Tabelle 3.1: Kompatibilität von Dachbegrünungssystemen und grundlegenden Dachaufbauten (eigene Darstellung)

Dachaufbauten	Dachbegrünungssysteme								
	extensiv					intensiv		Sonderformen	
	Direktbegrünungen	Textilbauweise	Textil-Substratbauweise	Modulare Begrünungen	Substratschüttungen	Substratschüttungen	Pflanzgefäße	Retentionsgründächer	Hydroponische Begrünungen
Warmdächer ²	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Umkehrdächer ²	+	+	+	+	+	+	+ ³	o / -	+
Duo-Dächer ²	+	+	+	+	+	+	+ ³	o / -	+
Kaltdächer ¹	+	+	+	+	+	o	o	o / -	o
Dachdecken aus WU-Beton	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Schrägdächer mit Dachdeckungen	o	o	o	-	-	-	-	-	-
Metalldächer	+	+	+	+	+	o	o	o	o

¹ Stabile Unterkonstruktion erforderlich

² Druckbelastbarkeit der Wärmedämmung ist zu prüfen

³ Hinterlüftung der Pflanzgefäße erforderlich

+ geeignet, o bedingt geeignet, - nicht geeignet

Es ist zu erkennen, dass alle betrachteten Dachaufbauten mehr oder weniger flexibel begrünt werden können. Im Fall der Schrägdächer mit Dachdeckungen ist die Kompatibilität als bedingt geeignet eingestuft, weil Begrünungen nur mit zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen, wie in Abschnitt 3.5 dargestellt, realisiert werden können. Weiterhin zeigt sich, dass extensive Dachbegrünungssysteme mit den aufgeführten Dachaufbauten deutlich häufiger und besser kompatibel sind als Intensivbegrünungssysteme und Sonderformen.

Besonders hervorzuheben ist die als geeignet eingestufte Kompatibilität aller zuvor betrachteten Begrünungssysteme mit Wärmdächern. Da diese Flachdachbauweise als die in Deutschland am häufigsten angewandte Art gilt, ist in diesem Zusammenhang ein hohes Anwendungspotenzial aller Dachbegrünungssysteme anzunehmen.

4 Übersicht zu Fassadenbegrünungssystemen

Auf Grundlage der in Abschnitt 2.2 thematisierten Auswirkungen von Gebäudebegrünungen werden im vorliegenden Kapitel grundlegende Fassadenbegrünungskonzepte betrachtet und hinsichtlich ihrer positiven Eigenschaften untersucht. Dabei wird übergeordnet zwischen boden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungssystemen sowie innovativen Fassadenbegrünungskonzepten und Sonderformen unterschieden. Darauf aufbauend stehen die Anwendungsbereiche und maßgebenden Voraussetzungen von Fassadenbegrünungssystemen im Fokus. Den Abschluss des Kapitels bildet eine Kompatibilitätsbetrachtung der vorgestellten Systeme mit grundlegenden Wandaufbauten.

4.1 Bodengebundene Fassadenbegrünungssysteme

Unter bodengebundenen Fassadenbegrünungssystemen sind Begrünungen durch Pflanzen mit Bodenanschluss zu verstehen. Als Vegetation werden Kletterpflanzen verwendet, die im Erdboden verwurzelt sind und aus diesem Wasser sowie notwendige Nährstoffe beziehen. Nachfolgend werden Fassadenbegrünungen mit Selbstklimmern bzw. Direktbegrünern¹ und jene mit Gerüstkletterpflanzen betrachtet. Die beiden Begrünungssysteme unterscheiden sich hauptsächlich in der Vegetationswahl. Daher findet hinsichtlich der Betrachtung der Leistungspotenziale dieser Systeme im Folgenden keine Differenzierung statt.

4.1.1 Bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Selbstklimmern

Bodengebundene Fassadenbegrünungen mit sogenannten Selbstklimmern als Bepflanzungen stellen einen natürlichen, direkten Bewuchs von Fassaden dar. Als Vegetation werden Kletterpflanzen verwendet, die ohne äußeren Einfluss meist mit Haftwurzeln oder Haftscheiben², vertikale Flächen hinaufklettern können (Abb. 4.1). Das jeweilige Haftvermögen hängt dabei primär von der Art der gewählten Pflanze und der vorhandenen Oberflächenbeschaffenheit des Untergrundes ab.

¹Im Folgenden wird der Übersichtlichkeit halber der Ausdruck *Selbstklimmer* für die Beschreibung von *Direktbegrünungen* als bodengebundenes Fassadenbegrünungssystem verwendet.

²Haftscheibenranker bilden durch Ausscheidung eines Haftsekrets Haftscheiben aus, die sich in kleinsten Unebenheiten von Oberflächen festsetzen (vgl. Vertiko 2021: o. S.).

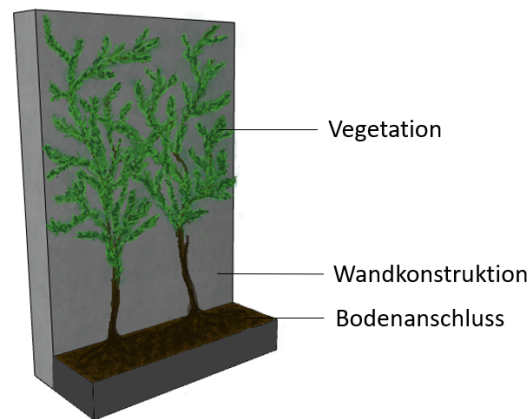


Abbildung 4.1: Schematischer Aufbau bodengebundener Fassadenbegrünungen mit Selbstklimmern (Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfoser et al. 2013: 42)

Das vertikale Wachstum ist – in Abhängigkeit von der Art der Kletterpflanze – mit einer maximalen Wuchshöhe von 30 m (Wisteria) begrenzt. Die Ausbreitung in horizontale Richtung kann dabei doppelt so groß sein (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 56, 160). Die Ausbreitung entsprechender Pflanzen erfolgt nahezu ungehindert, weshalb regelmäßige Pflegemaßnahmen in Form von Rückschnitten, bspw. zur Vermeidung von Verschattungen von Fenstern oder Überwucherungen von Dachentwässerungsrohren, erforderlich sind. Je nach Standort von Fassadenbegrünungen kann die Installation von künstlichen Bewässerungssystemen ratsam sein. Diese sind jedoch nicht zwingend erforderlich (vgl. Lingen 2021: o. S.). Neben jährlichen Wartungs- und Pflegekosten in Höhe von ca. 15 €/m² ist mit Investitionskosten ab 0,40 €/m² zu rechnen (vgl. Pfoser et al. 2013: 42). Für fachmännisch installierte Begrünungen mit Selbstklimmern sind Kosten von ca. 30 €/m² anzunehmen (vgl. Vertiko 2021: o. S.).

Eine Fassadenbegrünung als Direktbegrünung bedeutet gleichzeitig mögliche Behinderungen im Rahmen von Bauwerksunterhaltungen. So ist bspw. ein großflächiger Zugang zu Fassaden i. d. R. nur durch das Entfernen der Vegetation möglich. Daher sollten potenziell erforderliche Sanierungsmaßnahmen von Fassaden vor Ausführung von Begrünungen vorgenommen werden.

Neben Einschränkungen der Fassadenzugänglichkeit können infolge von Begrünungen mit Selbstklimmern auch Bauteilschäden auftreten. So kann der Dickenwuchs von Selbstklimmern zu unerwünschten Druckbelastungen auf das Bauteil führen. Insbesondere *negativ phototrophe Selbstklimmer*³, wie Efeu, können durch ihren Wuchs in Fugen und bereits

³Negativer Phototropismus beschreibt das pflanzliche Wachstum und die Ausrichtung der Organe einer Pflanze entgegen der Lichtquelle (vgl. Spektrum 2018c: o. S.).

bestehende Risse eines Bauteils Schäden an diesem verursachen und dabei sogar teilweise geringere Standfestigkeiten bewirken. Um entsprechenden Schadensbildern vorzubeugen, sind Überprüfungen der Fassadenoberflächenqualität und ggf. Optimierungsmaßnahmen empfehlenswert.

Das anzusetzende Eigengewicht von Selbstklimmern variiert je nach Pflanzenart stark und nimmt in etwa Werte zwischen 0,1 und 0,4 kN/m² an. Als Anhaltspunkte können hier die Gewichtsabschätzungen der FLL-Fassadenbegrünungsrichtlinien herangezogen werden (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 160).

4.1.2 Bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Gerüstkletterpflanzen

Eine weitere Variante bodengebundener Fassadenbegrünungen ist die Ausführung mit Gerüstkletterpflanzen. Diese bilden keine Haftscheiben oder -wurzeln aus. Stattdessen dienen Rank- oder Kletterhilfen in Form von Gerüsten, Seilen oder Drähten dem vertikalen Wachstum der Pflanzen und geben somit den Begrünungsraum vor (Abb. 4.2). Aufgrund dessen wird ein vergleichsweise kontrollierter Bewuchs gewährleistet.

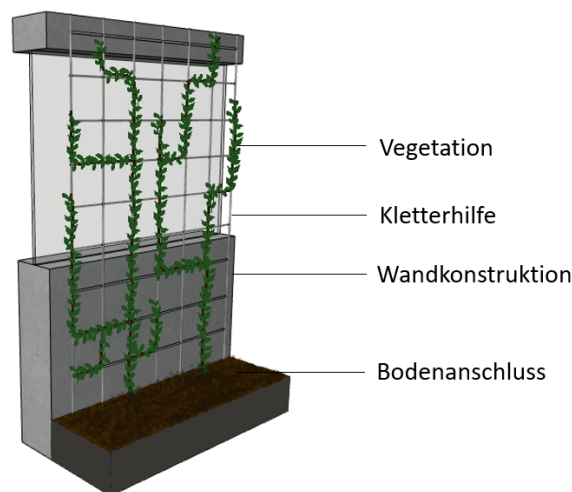


Abbildung 4.2: Schematischer Aufbau bodengebundener Fassadenbegrünungen mit Gerüstkletterpflanzen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfoser et al. 2013: 44)

Darüber hinaus kann mit einer durchdachten und frühzeitigen Planung vermieden werden, dass freizuhaltende Bereiche der Fassade, wie Fenster oder Regenwasserabflüsse, bewach-

sen werden. Das Höhenwachstum der verwendeten Vegetation ist, je nach Art, auf maximal 30 m begrenzt (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 160).

Wie bei Begrünungen mit Selbstklimmern ist eine künstliche Bewässerung nicht zwingend erforderlich. Regelmäßige Pflegemaßnahmen sollten jedoch durchgeführt werden, damit einem unkontrollierten Bewuchs entgegengewirkt werden kann. Die Wartungskosten betragen ca. 10 bis 20 €/m² jährlich. Zusätzlich ist mit Investitionskosten zu rechnen, die sich inklusive Kletterhilfen auf etwa 100 bis 300 €/m² belaufen (vgl. BuGG 2020b: 3).

Bei bodengebundenen Fassadenbegrünungen mit Gerüstkletterpflanzen ist besonders zu beachten, dass ein Anbringen von Rankhilfen, Schädigungen an dämmenden oder tragenden Schichten des Wandaufbaus hervorrufen kann. Daher sind bereits im Rahmen erster Planungsprozesse mögliche Wärmebrücken oder eine verminderte statische Sicherheit stets zu berücksichtigen.

Das Gewicht des gewählten Begrünungssystems hängt zum einen von dem Eigengewicht der Vegetation, welches mit ca. 0,1 bis 0,4 kN/m² anzunehmen ist und zum anderen vom Gewicht der Kletterhilfen ab (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 160). Aufgrund der breiten Auswahl an Kletterhilfen werden zu den spezifischen Gewichten hier keine Angaben gemacht.

Bodengebundene Fassadenbegrünungssysteme – unabhängig davon, ob sie mit Selbstklimmern oder Gerüstkletterpflanzen ausgeführt werden – können sowohl im Sommer, als auch im Winter zur Effizienz von Gebäudeklimatisierungen und -dämmungen beitragen. Der sommerliche Kühleffekt resultiert aus Verschattungen durch das Blattwerk der Vegetation und durch Evapotranspirationsprozesse (vgl. Köhler 2012: 110). Dabei kann die tägliche Verdunstungsleistung von Fassadenbegrünungen zwischen 0,5 und 8,5 l/m² betragen (vgl. Köhler; Nistor 2018: 180). In durchgeführten Studien wurden als Folge dieser Leistungen Oberflächentemperaturunterschiede von begrünten und unbegrünten Fassaden von bis zu 11,6 °C gemessen (vgl. Pfoser et al. 2013: 177).

Der dämmende Effekt im Winter wird primär durch zwei Eigenschaften der Fassadenbegrünungen hervorgerufen. Zum einen wird der Wärmeverlustanteil eines Gebäudes, der von der Windgeschwindigkeit an der Fassadenoberfläche abhängig ist, durch eine Begrünung erheblich reduziert (vgl. Köhler 2012: 110). Zum anderen erhöhen Begrünungen den Wärmedurchlasswiderstand. Dabei erzielen Begrünungen an ungedämmten Wänden deutlich höhere Effekte als an gedämmten, da diese bereits eine gute Isolierung aufweisen. Berechnungen für verschiedene Wandaufbauten kombiniert mit ausgewählten Kletterpflanzen weisen Verbesserungen von bis zu bis 24 % bei einem ungedämmten Vollmauerwerk auf

(vgl. ebd.: 112f).

Über die wärmespezifischen Eigenschaften von Systemen mit Gerüstkletterpflanzen hinaus, können entsprechende Begrünungen eine Lärminderung bewirken. Für einen möglichst hohen Wirkungsgrad wird empfohlen Befestigungselemente schwingungsentkoppelt auszuführen, damit eine Körperschallübertragung auf das Gebäude verhindert werden kann (vgl. Pfoser 2016: 96). Weiterhin tragen entsprechende Begrünungen zu einer Minderung der Schadstoffbelastung in der Luft bei. Modellberechnungen von Qin et al. (2018) ergaben, dass die Konzentrationen von PM_{10} ⁴ innerhalb einer Straßenschlucht bei umliegenden begrünten Fassaden um maximal 43,8 % reduziert werden konnten (vgl. ebd.: 17).

Weiterhin ist der Biodiversitätsausbau- bzw. -erhalt infolge bodengebundener Fassadenbegrünungen zu betrachten. Diese fungieren zwar als erweiterte Lebensräume für einige Pflanzen- und Tierarten, darunter Vögel und Insekten, können aber nicht als Kompensationsflächen im Sinne von ökologisch gleichwertigen Grünflächen angesehen werden, da sie – wie in Abschnitt 2.2 bereits aufgegriffen – keine vollwertigen Lebensräume für Tiere darstellen. Für eine dennoch möglichst ausgeprägte ökologische Funktion von Fassadenbegrünungen, sollte die Vegetationswahl möglichst vielfältig sein. Rankhilfen können in diesem Zusammenhang die strukturelle Diversität weiter erhöhen.

An dieser Stelle sei zusätzlich darauf hingewiesen, dass die beschriebenen Leistungspotenziale, aufgrund geringer Deckungsgrade während der Anwuchszeiten, erst bei vollflächiger Begrünung nach 5 bis 20 Jahren erreicht werden (vgl. Pfoser et al. 2013: 42).

4.2 Wandgebundene Fassadenbegrünungssysteme

Als wandgebundene Fassadenbegrünungssysteme werden Systeme bezeichnet bei denen die Vegetation nicht im Boden verwurzelt ist. Sie bieten die Möglichkeit zur Ausführung von Begrünungen bei mehr als 20 m Höhe. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl herstellereinspezifischer Begrünungssysteme, deren detaillierte Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich ist. Im Folgenden werden Begrünungsvarianten mit Regalsystemen, mit modularen Systemen und jene mit Geovliesen genauer erläutert und damit die wesentlichen Konstruktionskonzepte abgedeckt.

⁴ PM_{10} steht für für *particular matter (Feinstaub)* mit einem maximalen Durchmesser von 10 Mikrometern (vgl. Umweltbundesamt 2020: o. S.).

4.2.1 Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit Regalsystemen / lineare Bauweise

Wandgebundene Fassadenbegrünungen können als Regalsysteme mit horizontalen Vegetationsflächen realisiert werden. Dabei werden Trägerkonstruktionen vor zu begrünende Fassaden geschraubt (Abb. 4.3). Die vertikalen Abstände dieser einzelnen Regale sind so zu wählen, dass die Pflanzen genügend Licht und ausreichend Platz zum Wachsen haben. Die Tragkonstruktionen können in Form von Rinnen (Linienbehälter) oder als Regale mit mehreren Pflanzgefäßen (Einzelbehälter), gefüllt mit Substrat ausgebildet werden (vgl. Pfoser 2016: 127).

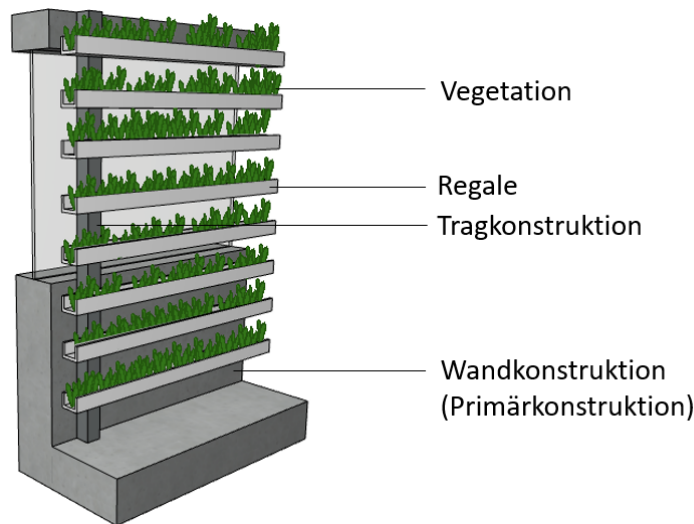


Abbildung 4.3: Schematischer Aufbau wandgebundener Fassadenbegrünungen mit Regalsystemen / lineare Bauweise (Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfoser et al. 2013: 46)

Für Begrünungen dieser Bauweise sind Kragkonsolen oder Trägerkonstruktionen erforderlich. Während der Planung muss daher berücksichtigt werden, dass Verankerungen der Tragkonstruktionen Wärmebrücken an Primärfassaden erzeugen können. Auch ist zu beachten, dass die anzusetzenden Lasten nicht nur aus den Begrünungsaufbauten, sondern auch aus den Trägerkonstruktionen resultieren und von der Wand abgetragen werden müssen.

Die Vegetationswahl wird bei dieser Begrünungsvariante primär durch das Traglastvermögen und Bodenvolumen der Behälter begrenzt. Auch hier können, in Kombination mit Rankhilfen, Kletterpflanzen eingesetzt werden. Die verwendeten Pflanzen beziehen Was-

ser und Nährstoffe direkt aus einem Substrat. Aufgrund der geringen Bodenvolumina sind hier Bewässerungssysteme mit Düngemittelzugaben empfehlenswert. Falls dennoch Pflanzenausfälle auftreten, können diese im Rahmen von Pflegemaßnahmen durch punktuellen Austausch schnell behoben werden. Es ist mit jährlichen Wartungskosten von ca. 10 €/m² zu rechnen. Die Investitionskosten derartiger Begrünungen variieren zwischen 230 und 1.000 €/m² (vgl. ebd.: 60).

Auch Fassadenbegrünungen mit Regalsystemen tragen mit ihren positiven Eigenschaften zu einer Umfeldverbesserung bei. Da es sich bei dieser Begrünungsvariante allerdings nicht um eine flächendeckende Begrünungen handelt, sondern vielmehr um einzelne Elemente, die i. d. R. punktuelle Bepflanzungen darstellen, ist das Leistungspotenzial eingeschränkt. Von einer relevanten dämmenden Wirkung der Begrünungen im Winter kann – je nachdem wie dicht die Pflanzgefäße stehen und wie üppig der Bewuchs ist – meist nicht ausgegangen werden. Die kühlende Wirkung im Sommer beruht auf Verschattungen der Fassade durch die Vegetation und auf lokalen Temperatursenkungen aufgrund der Transpirationskühlung. Schallabsorbierende und schadstoffminimierende Effekte durch die Begrünung sind zwar vorhanden, werden aber hinsichtlich ihres Wirkungspotenzials als gering eingeschätzt, da diese von der Pflanzendichte und Dimensionierung dieser abhängig sind. Gleiches gilt für den Schutz von Fassaden vor Witterungseinflüssen (vgl. Pfoser et al. 2013: 47).

4.2.2 Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit modularen Systemen

Modulare Fassadenbegrünungssysteme bestehen meist aus vorkultivierten Modulen. Sie zeichnen sich durch eine rechteckige, rasterförmige Anordnung aus. Dabei sind sie je nach Hersteller in der Größe variabel.

Entsprechende Begrünungen setzen sich normalerweise aus mehreren Modulen zusammen, die an vorgehängte Fassadenkonstruktionen angebracht werden. Bei diesen handelt es sich überwiegend um Leichtmetallkonstruktionen. An der Rückseite der Module befinden sich Bewässerungssysteme mit Versorgungs- und Ablaufleitungen, welche wiederum eine Tröpfchenbewässerung gewährleisten. Die Primärfassade⁵ wird nach Möglichkeit mittels einer Luftschicht sowie einer rückseitig an der Vorhangkonstruktion liegenden Abdichtung vor Feuchte geschützt (vgl. Pfoser 2016: 127).

Hinsichtlich des Systemaufbaus wird zwischen modularen Elementen mit horizontalen und

⁵Als *Primärfassade* wird der tragende Wandaufbau bezeichnet. Vor diese wird das Begrünungssystem als *Sekundärfassade* gehängt.

vertikalen Vegetationsflächen differenziert. Systeme mit horizontalen Vegetationsflächen, werden in Form von Pflanzenboxen, -kübeln oder -taschen ausgeführt. Jene mit vertikalen Vegetationsflächen – dargestellt in Abb. 4.4 – existieren als modulare Platten oder Matten (vgl. Pfoser 2016: 127). Module mit Pflanzgefäßen bestehen meist aus Kunststoffen oder Leichtmetallen und werden mit Substrat gefüllt, welches als Nährstoffquelle für die Vegetation dient (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 103).

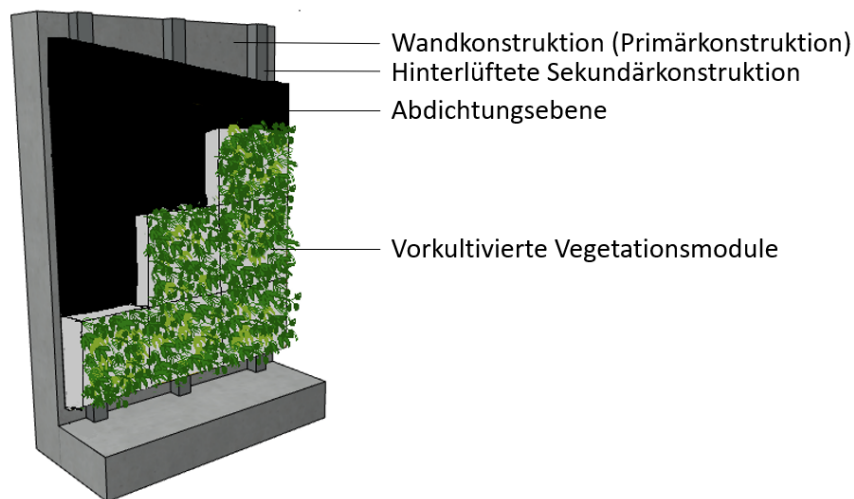


Abbildung 4.4: Schematischer Aufbau wandgebundener Fassadenbegrünungen mit modularen Systemen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfoser 2016: 48)

Modulare Platten- oder Mattenelemente können in verschiedenen Bauweisen ausgeführt werden. Es handelt sich entweder um Metall- oder Kunststoffkassetten, die mit Substrat gefüllt und oberseitig mit einem Gitter oder Netz abgedeckt sind (vgl. Köhler; Nistor 2018: 127) oder um flexible Matten oder Pflanzkissen aus Dämmwolle, welche als Substratersatz dient. In das Dämmmaterial können je nach Hersteller flexibel Aussparungen für Pflanzen geschnitten werden (vgl. ebd.: 124). Systeme mit Modulmatten zeichnen sich besonders durch ihr geringes Eigengewicht aus.

Die Vegetationswahl wird durch das Traglastvermögen der Primärfassaden und durch das Bodenvolumen der Module begrenzt. Einzelne Pflanzen können bei Ausfall im Zuge von Wartungsmaßnahmen punktuell ausgetauscht werden. Die Wartungskosten liegen zwischen 37 und 110 €/m² jährlich. Hinsichtlich der Investitionskosten ist für die hier beschriebenen Begrünungssysteme mit 370 bis 1.100 €/m² zu rechnen (vgl. Pfoser et al. 2013: 48).

Hinsichtlich der in Abschnitt 2.2 aufgeführten positiven Eigenschaften von Gebäudebegrünungen weisen modulare Fassadenbegrünungen ein hohes Leistungspotenzial auf. Ih-

nen wird bspw. eine bedeutsame dämmende Wirkung zugeschrieben, die allerdings nur in Einzelfällen berechnet wird. Ein gleichzeitig einheitliches und genaues Berechnungsmodell für die Ermittlung des Wärmedurchlasswiderstandes R von wandgebundenen Fassadenbegrünungssystemen ist aufgrund der variablen Parameter, wie z. B. der Pflanzenart, der Substratfeuchte oder auch der Blattstellung, bisher nicht realisierbar. Um dennoch die Größenordnung potenzieller Verbesserungen des Wärmedurchlasswiderstandes durch modulare Fassadenbegrünungssysteme einordnen zu können, werden im Folgenden einige Berechnungen vorgestellt.

Für eine genauere Beleuchtung der wärmedämmenden Wirkung modularer Fassadenbegrünungen mit Pflanzenboxen, wird an dieser Stelle auf Messdaten eines Versuchs von Tudiwer et al. (2019) eingegangen. Für eine Ermittlung der potenziellen Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstandes R in Wintermonaten wurden jeweils ein unbegrünter und ein mit einem Trogsystem (modulare Begrünung mit Pflanzenboxen) begrünter Fassadenabschnitt eines ungedämmten Bürogebäudes untersucht. Die Messungen zeigten, dass die Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstandes R bei dem begrüntem Fassadenabschnitt auf einen erhöhten äußeren Wärmeübergangswiderstand R_{se} ⁶ zurück zu führen ist. Während dieser bei dem unbegrüntem Abschnitt $R_{se} = 0,15 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ betrug, wurden bei der begrünten Fassade $R_{se} = 0,48 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ gemessen. Nach Bewertung möglicher Beeinflussungen durch lokale Randbedingungen wird eine Verbesserung der Dämmfähigkeit durch das untersuchte Begrünungssystem von rund 20 % angenommen (vgl. ebd.: 155).

Älteren Messungen von Tudiwer; Korjenic (2017) zufolge weist eine modulare Begrünung mit horizontaler Vegetationsfläche im Vergleich zum unbegrüntem Fassadenabschnitt eine Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstandes R um $0,31 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ auf (vgl. ebd.: 9). Dies entspricht einer zusätzlichen Wärmedämmung der WLG 035 von $1,085 \text{ cm}$.⁷ Untersuchungen einer Begrünung mit vertikaler Vegetationsfläche ergaben sogar Erhöhungen von $0,68 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (vgl. ebd.: 9). Dies entspricht einer zusätzlichen Wärmedämmung der WLG 035 von $2,38 \text{ cm}$.⁸

Die Dämmwolle in den Modulen ist, aufgrund ihrer Nutzung als Wasser- und Nährstoffspeicher, ständiger Feuchte ausgesetzt. Diese Feuchte verringert die wärmedämmende Wirkung der Wolle erheblich, sodass ihr kein dämmender Beitrag zugeschrieben werden darf. Einige Systeme beinhalten jedoch zusätzliche, nicht durchfeuchtete Dämmschichten, die je nach

⁶Die inneren ($R_{si} [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$) und äußeren ($R_{se} [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$) Wärmeübergangswiderstände beschreiben den Widerstand, den die Wärme beim Übergang von innen oder außen in das Bauteil erfährt. Es handelt sich um festgelegte Werte, die sich je nach Lage des Bauteils unterscheiden (vgl. BauNetz 2021b: o. S.).

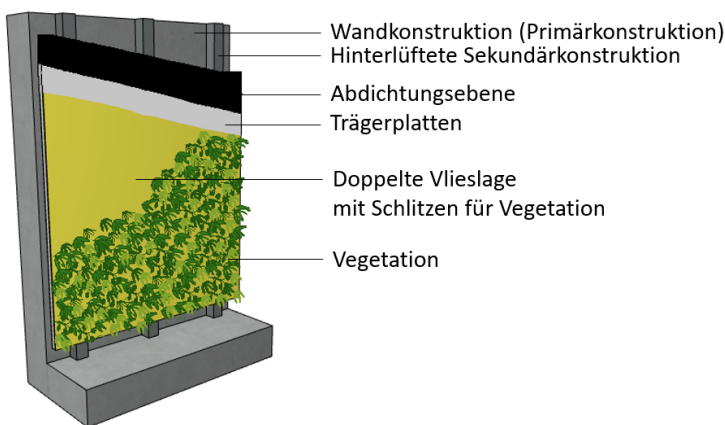
⁷ $R = 1,085/0,035 = 0,31 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

⁸ $R = 2,38/0,035 = 0,68 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$

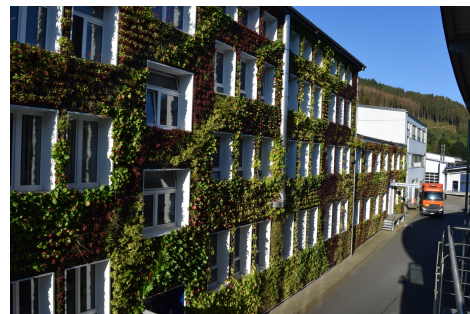
Dicke beträchtlich zur Gebäudedämmung beitragen können (vgl. Köhler 2012: 138). Des Weiteren tragen die eingesetzten Pflanzen infolge stattfindender Transpirationsprozesse zu einer Kühlung der Umgebung bei. Die Kühlung, die primär durch den Wassergehalt der Systeme bestimmt wird, variiert je nach Pflanzenart und kann als gering bis mittel eingestuft werden. Die Lärm- und Schadstoffminimierungen durch modulare Fassadenbegrünungssysteme sind von den Pflanzen und den Schichtdicken der Substrate abhängig. Es besteht ein vollständiger Schutz der Fassade vor Witterungseinflüssen.

4.2.3 Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit Geovliesen / flächige Bauweise

Eine weitere Gestaltungsmöglichkeit wandgebundener Fassadenbegrünungen lässt sich in Form von flächigen Begrünungen mit Geovliesen realisieren. Diese basieren auf den Begrünungen des französischen Botanikers Patrick Blanc, der als Pionier der vertikalen Gärten (murs végétaux) gilt und bereits im Jahr 1988 den ersten seiner Art für das Musée des Sciences et Techniques de la Villette in Paris entwarf (vgl. Blanc 2021: o. S.).



(a) Schematischer Aufbau (Eigene Darstellung in Anlehnung an Pfoser et al. 2013: 50)



(b) Größte *Living Wall* Deutschlands (© BuGG Gunter Mann & Vertiko GmbH)

Abbildung 4.5: Wandgebundene Fassadenbegrünungen mit Geovliesen

Für diese Begrünungsvariante werden Sekundärkonstruktionen – meist Leichtmetallgerüste – an Fassaden angebracht, die die Last des Begrünungssystems abtragen. Auf diese Konstruktionen werden im Anschluss Trägerplatten montiert, die mit einer Vlies- bzw. Filzlage ausgekleidet sind (vgl. Pfoser 2016: 127). Eine Begrünung erfolgt dann entweder durch das

Einsetzen der Vegetation in Pflanzentaschen, die in die Vlieslage integriert sind oder durch das Anbringen einer zweiten Vlieslage, in die beliebig Schlitze für Setzlinge geschnitten werden (Abb. 4.5a). Die zwei Vlieslagen sind dabei aneinander geheftet, sodass die Vegetation witterungsfest in den Aufbau integriert ist. In den Pflanzentaschen der Geovliese befinden sich geringe Bodenvolumina, die den Pflanzen zur Verwurzelung und Wasserspeicherung dienen (vgl. Köhler; Nistor 2018: 129).

Die Systeme mit zwei Vlieslagen werden i. d. R. auf hydroponischer Basis ausgebildet, sodass anstelle einer Substratschicht Vlies- bzw. Filzbekleidungen als Wasser- und Nährstoffspeicher für die Vegetation dienen. (vgl. ebd.: 18). Geovliese sind durchlässige Stoffe aus synthetischen oder natürlichen Materialien und müssen Kriterien der Reißfestigkeit und der Wasserspeicherfähigkeit erfüllen sowie gut benetzbar und durchwurzelbar sein (vgl. Köhler 2012: 136). Sie fallen jedoch nicht in die Kategorie der Substrate, sondern sind Trägermaterialien der Pflanzen. Für eine ausreichende Nährstoffversorgung ist daher eine regelmäßige Wasserzufuhr mit Düngemittelzugabe in Form von Bewässerungssystemen erforderlich (vgl. Köhler; Nistor 2018: 17).

Investitionskosten variieren von ca. 400 bis 1.200 €/m², zuzüglich jährlichen Pflegekosten in Höhe von etwa 10 % der Herstellungskosten (vgl. Pfoser 2016: 62).

Die Vegetation, die für flächige Begrünungen genutzt werden kann, muss für den Extremstandort Fassade geeignet sein und in horizontale Richtung wachsen können. Außerdem wird die Wahl bei Ausführungen mit Pflanzentaschen durch die geringen Substratvolumina begrenzt.

Der minimale bis gar nicht vorhandene Substratanteil in den Systemen ermöglicht hingegen die Realisierung von Fassadenbegrünungen mit geringem Gewicht. Die Lasten sind herstellerepezifisch und von Vegetation und Materialien abhängig. Die anzunehmenden Lasten variieren je nach Hersteller und betragen im Fall der *living wall*-Systeme des Unternehmens Vertiko maximal 0,33 kN/m² (vgl. Vertiko 2021: o. S.).

Auch wandgebundene Fassadenbegrünungen mit Geovlies bedingen mit ihren Eigenschaften eine klimatische Verbesserung des Umfelds. Die künstlichen Bewässerungssysteme sorgen für eine dauerhafte Wassersättigung, welche wiederum hohe Verdunstungsraten zur Folge hat. Daher wirken sich entsprechende Systeme durch lokale Kühlungen im Sommer besonders positiv auf die Umgebungstemperaturen aus (vgl. Pfoser et al. 2013: 177). Auch können diesen Systemen wärmedämmende Wirkungen im Winter nachgewiesen werden. Flächige Begrünungssysteme des Herstellers Vertiko weisen bspw. Messungen von ZAE Bayern (2018) zufolge einen Wärmedurchlasswiderstand R von 0,476 m²K/W auf. Dieser

Wert entspricht einer Wärmedämmung der WLG 035 von 1,66 cm.⁹

Darüber hinaus ergaben Messungen zum Lärmschutz durch wandgebundene Fassadenbegrünungssysteme in flächiger Bauweise durchschnittliche Pegelminderungen von 1,34 bis 6,40 dB (vgl. Paull et al. 2020: 10).

Es besteht außerdem ein ganzjähriger Schutz der Fassade vor Witterungseinflüssen. Die Nutzung von Geovliesen hat zusätzlich den Vorteil die Vegetation im Winter vor Kälte und Frost abzuschirmen (vgl. Köhler; Nistor 2018: 129).

4.3 Innovative Fassadenbegrünungskonzepte und Sonderformen

Neben den zuvor genannten gängigen Fassadenbegrünungssystemen, wurden in den vergangenen Jahren weitere innovative Begrünungskonzepte entwickelt, die sich stark von den bisher dargestellten abgrenzen. Diese werden nachfolgend gesondert aufgegriffen und differenziert betrachtet. Dabei handelt es sich um Moosfassaden und Hydroponische Fassadenbegrünungen. Zunächst wird aber das Mischsystem aus boden- und wandgebundener Begrünung kurz erläutert.

4.3.1 Mischsysteme aus boden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungen

Mischsysteme aus boden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungen kommen besonders dann zur Anwendung, wenn Fassaden, deren Höhe die maximale Wuchshöhe bodengebundener Fassadenbegrünungen übersteigt, vollflächig begrünt werden sollen. Der untere Teil der Fassadenbegrünung wird dabei als bodengebundenes Fassadenbegrünungssystem ausgeführt und höhere Bereiche entweder mit Hilfe von Regalsystemen begrünt oder als modulare oder flächige Begrünungen realisiert.

Für die Betrachtung des Leistungspotenzials von Mischsystemen gelten die gleichen Angaben, wie für die jeweiligen boden- und wandgebundenen Begrünungssysteme, die in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben wurden. Daher werden sie an dieser Stelle nicht noch einmal aufgeführt.

⁹ $R = 0,01667/0,035 = 0,476 \text{ m}^2\text{K/W}$

4.3.2 Moosfassaden von *Artificial Ecosystems*

Die Gründer der Firma *Artificial Ecosystems* haben eine immergrüne Moosfassade entwickelt, die zwar unter wandgebundenen Fassadenbegrünungssystemen eingeordnet werden kann, aber aufgrund des innovativen Konzepts hier separat erwähnt wird.

Das entwickelte ByroSYSTEM ist eine Vorhangfassade, die an eine Primärfassade angebracht werden kann. Die Begrünung der zunächst unbepflanzten Elemente erfolgt durch Moossporen aus der Luft. Diese siedeln sich auf der speziell für einige Moosarten konzipierten Oberfläche des Systems an. An der Rückseite der Konstruktion befindet sich ein Bewässerungskreislauf, wobei die Wasserzufuhr durch einen Algorithmus gesteuert wird. Dazu erfassen Sensoren durch Auswertung meteorologischer Daten den Zustand der Wand, wodurch die Vegetation bedarfsgerecht bewässert und ggf. gedüngt wird (vgl. *Artificial Ecosystems* 2020: o. S.).

Die Moosfassade ist wartungsarm, da aufgrund des niedrigen Bewuchs weder Rückschnitte, noch Bewässerungen oder Düngungen manuell vorgenommen werden müssen. Die Nutzung der Pflanzen beschränkt sich auf jene, die aus ökologischer Sicht selbstständig in Städten wachsen würden (vgl. Hillen 2020: o. S.).

Das hier angerissene ByroSYSTEM kann durch den Einsatz von Moosen ganzjährig der innerstädtischen Luftverschmutzung in besonderem Maße entgegenwirken, als Lärmschutz und Niederschlagswasserspeicher dienen und zu einer erhöhten Biodiversität beitragen.

4.3.3 Hydroponische Fassadenbegrünungen

Das System hydroponischer Fassadenbegrünungen zeichnet sich durch substratfreie Systemaufbauten aus. Im Folgenden werden Aufbau und Wirkweise hydroponischer Fassadenbegrünungen anhand des patentierten Systems *Hydro-Profi-Line* des Unternehmens GKR Germany dargestellt (Abb. 4.6).

Das System basiert auf Begrünungen in modularer Bauweise mit horizontalen Vegetationsflächen. Genau wie bei klassischen Fassadenbegrünungen dieser Art werden die Begrünungsmodule, hier mit linearen Pflanzbecken, an eine Fassade montiert. In diese Pflanzbecken werden *Kulturtöpfe* und *Pflanzkörbe* mit vorkultivierter Vegetation gehangen. Ähnlich wie bei hydroponischen Dachbegrünungen bilden sie abgeschlossene Vegetations- bzw. Klimakammern innerhalb derer sich Wasserreservoirie befinden. Das Wasser reicht dabei so weit an die Wurzeln der Vegetation heran, dass es als Nährstoffquelle fungiert. Die einzel-

nen Pflanzenboxen sind an einen Wasserkreislauf angeschlossen (vgl. GKR Germany 2020: o. S.).

Wasser, das innerhalb der Vegetationskammern verdunstet, kondensiert an der oberen Scheibe der Pflanzbecken und tropft zurück ins Wasserreservoir. Dadurch wird im Vergleich zu herkömmlichen Begrünungssystemen ein um bis zu 80 % reduzierter Wasserverbrauch erzielt (vgl. ebd.). Auch ist ein punktueller Austausch ausgefallener Vegetation möglich, sodass der Bewässerungs- und Pflegeaufwand der hier betrachteten Systeme als gering einzuschätzen ist. Zu den Investitionskosten hydroponischer Fassadenbegrünungen werden vom Systemhersteller GKR Hydro keine Angaben gemacht, da die Höhe projektspezifisch zu ermitteln ist (vgl. Fürst 2020: o. S.).

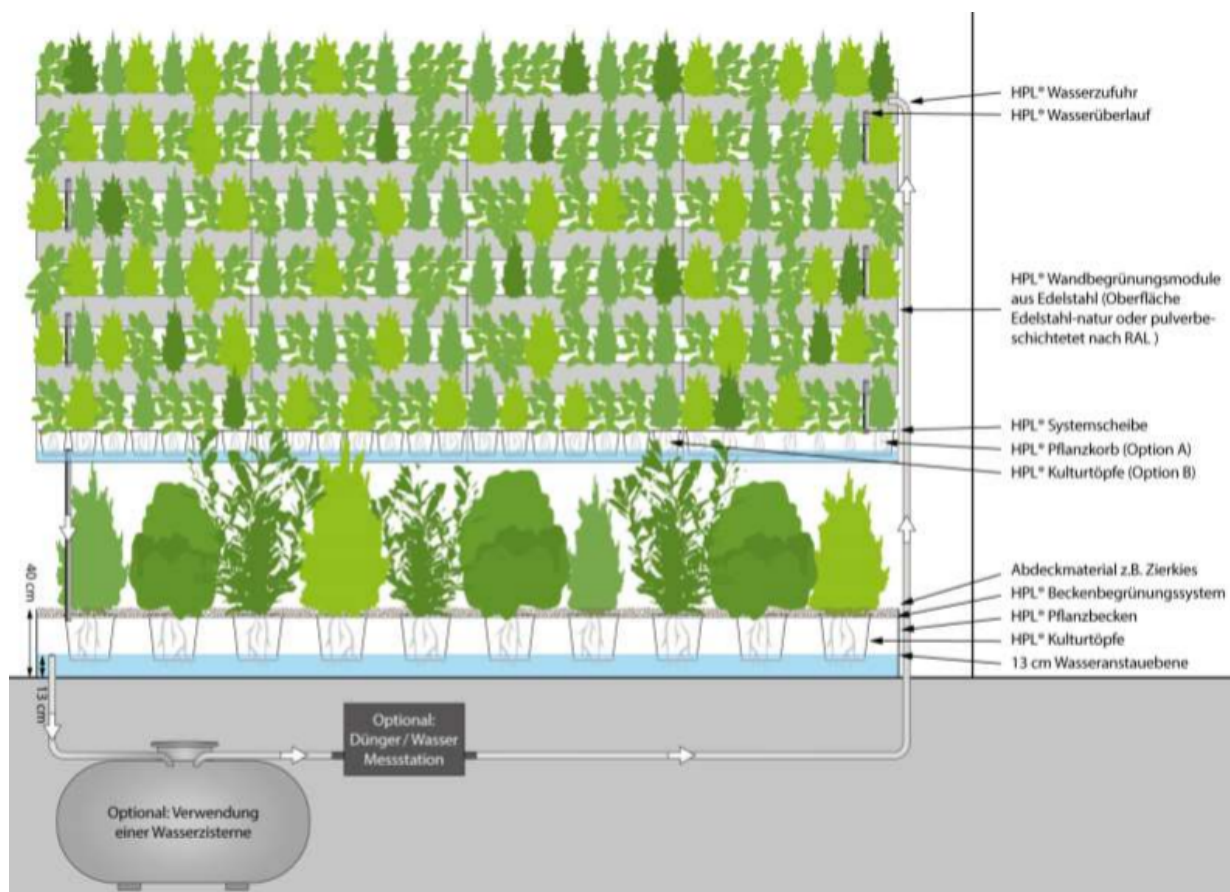


Abbildung 4.6: Übersicht des Konzepts hydroponischer Fassadenbegrünungen (© GKR Germany: o. S.)

Für das hier dargestellte Begrünungssystem lassen sich grundsätzlich alle Pflanzenarten verwenden, die den jeweiligen Standort- und Lastanforderungen entsprechen. Anders als

Pflanzen, die ihre Nährstoffe aus Substraten beziehen, bilden jene in Systemen auf hydroponischer Basis leichte Feinwurzeln aus. Sowohl das Volumen, als auch das Gewicht solcher Feinwurzeln ist um ein Vielfaches geringer, als bei Wurzeln, die sich im Substrat ausbilden. Dies hat zwei wesentliche Vorteile. Zum einen können vergleichsweise größere Pflanzen in den Systemaufbau integriert werden, die andernfalls aufgrund ihres großen Wurzelvolumens undenkbar wären. Zum anderen reduziert sich die anzusetzende Gewichtslast des Systems (vgl. ebd.). Zusammen mit dem ausbleibenden Gewicht von wassergesättigten Substratschichten, kann eine Reduktion des Gesamtgewichts des Systemaufbaus von bis zu 30 % erreicht werden (vgl. GKR Germany 2020: o. S.).

Der hohe Wasseranteil, der in den Systemaufbauten gespeichert wird, kühlt die Fassade im Sommer und sorgt außerdem für eine andauernde Transpirationskühlung infolge pflanzlicher Verdunstungsprozesse. Da der dämmende Beitrag von Pflanzen im Vergleich zu dem von Substratschichten gering ist, ist es fraglich, ob das hydroponische Begrünungssystem im Winter – über den Ausgleich der ganzjährigen Transpirationskühle hinaus – einen Beitrag zur Dämmung des Gebäudes leistet.

Schallminderungen können ebenfalls lediglich durch die Eigenschaften der Pflanzen hervorgerufen werden und fallen aufgrund dessen eher gering aus. Reduzierungen der Schadstoffbelastungen durch die pflanzliche Bindung und Verstoffwechslung von Feinstaubpartikeln aus der Luft sind je nach Vegetationswahl unterschiedlich stark ausgeprägt. Die Feinwurzeln der Pflanzen reinigen dabei gleichzeitig das Wasser durch Bindung von im Wasser befindlichem Feinstaub (vgl. Fürst 2020: o. S.).

4.4 Anwendungsbereiche von Fassadenbegrünungssystemen

Anknüpfend an die Konstruktionsvarianten von Fassadenbegrünungen stehen im vorliegenden Abschnitt die Anwendungsbereiche von Fassadenbegrünungssystemen im Fokus der Betrachtung, um den Nutzen dieser besser einordnen zu können. Dazu werden im Folgenden Verschattungen durch boden- und wandgebundene Fassadenbegrünungen, begrünte Fassaden mit Solarelementen und Urban Gardening beleuchtet.

Verschattungen durch boden- und wandgebundene Fassadenbegrünungen

Vermeehrt werden bodengebundene Fassadenbegrünungen auch als Verschattungselemente vor großen Fensterfronten oder Sichtschutz an Balkonen oder Terrassen eingesetzt. Hierzu

werden als Kletterhilfen vorzugsweise Seile oder Drähte verwendet an denen Gerüstkletterpflanzen hoch ranken können. Dabei stellen bodengebundene Begrünungen im Vergleich zu Jalousien eine kostengünstigere Alternative dar (vgl. Köhler; Nistor 2018: 176).

Alternativ können wandgebundene Begrünungssysteme der linearen Bauweise bei Verwendung von Kletterpflanzen als Verschattungselemente fungieren. Die Wuchsdichte der Begrünungen kann dabei beliebig angepasst werden, sodass individuelle Anforderungen an Verschattungsbedingungen erfüllt werden können. Auch verringern die Begrünungen starke Aufheizungen der betroffenen Räume im Sommer.

Begrünte Fassaden mit Solarelementen

Fassadenbegrünungen können außerdem mit PV-Elementen kombiniert werden. Genau wie bei Solargründächern kommt es hier zu Synergieeffekten, denn die Transpirationkühle der Pflanzen wirkt sich leistungssteigernd auf die Solarelemente aus. Dabei dürfen diese jedoch durch die Vegetation nicht verschattet werden.

Neuen Überlegungen von Wißmann et al. (2019) zufolge könnten zusätzliche Synergieeffekte ausgenutzt werden, indem PV-Elemente eine Schutzfunktion vor Witterungseinflüssen einnehmen und so das Pflanzenwachstum fördern. Das würde bedeuten, dass die Pflanzen im Sommer vor zu starker UV-Strahlung geschützt werden und im Winter einem Einfrieren der Bewässerungsleitungen vorgebeugt wird. (vgl. ebd.: 992).

Urban Gardening

Wandgebundene Fassadenbegrünungen lassen sich in Form von urbanen Nutzgärten ideal für Urban Gardening anwenden. Hierfür eignen sich besonders Begrünungssysteme der modularen oder flächigen Bauweise. Für eine erhöhte Nutzbarkeit der Fassadenbegrünungen sind Bewässerungssysteme erforderlich (vgl. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 2019: 96).

4.5 Maßgebende Vorraussetzungen für Fassadenbegrünungssysteme

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte beleuchtet, die bei der Planung von boden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungen zu beachten sind. Dazu wird auf das notwendige Traglastvermögen von Wandaufbauten, auf den Brandschutz sowie die Pflanzenwahl eingegangen.

Notwendiges Traglastvermögen von Wandaufbauten bei boden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungen

Die Traglastreserve von Wandaufbauten ist ein entscheidender Faktor bei der Planung von bodengebundenen Begrünungen und ist in jedem Fall zu prüfen. Dies gilt auch für wandgebundene Fassadenbegrünungssysteme, sofern keine Sekundärkonstruktion, die für den Lastabtrag herangezogen werden kann, vorgesehen ist.

Für eine möglichst genaue Ermittlung der anzusetzenden Lasten von Kletterpflanzen dienen Lastannahmen der FLL- Fassadenbegrünungsrichtlinien als Anhaltspunkte (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 158ff). Die Angaben zu den einzelnen Pflanzenarten beziehen sich stets auf das Eigengewicht der voll ausgewachsenen Kletterpflanzen. Anzusetzende Lasten von wandgebundenen Begrünungssystemen sind den jeweiligen Herstellerangaben zu entnehmen. Diese berücksichtigen das Gewicht im wassergesättigten Zustand.

Hinzu kommen erhöhte Wind- und Schneelasten, die in Planungsprozessen berücksichtigt werden müssen, da Pflanzen durch ihr relativ geschlossenes Blattwerk mehr Wind aufnehmen und im Winter zusätzlich Eis und Schnee ansetzen können (vgl. Lingen 2021: o. S.).

Brandschutz boden- und wandgebundener Fassadenbegrünungen

Hinsichtlich Brandschutzverordnungen gibt es bislang keine genauen Richtlinien für boden- und wandgebundene Fassadenbegrünungen. Letztere werden meist als hinterlüftete Vorhangfassaden ausgeführt und unterliegen deshalb den Brandschutzanforderungen für Fassadenbauteile bzw. -baustoffe. Demnach sind Begrünungssysteme für Gebäudeklassen (GK) 1 bis 3 normalentflammbar, für GK 4 und 5 schwerentflammbar und für alle weiteren Gebäude nicht brennbar auszuführen (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 25). Die Zahl der Untersuchungen und Messungen zur Brennbarkeit ist insbesondere bei wandgebundenen Begrünungssystemen gering. Für jene an hohen Gebäuden existieren laut Lingen (2021) kaum Erfahrungswerte; die Zulassungen hängen individuell von Brandschutzgutachtern/-innen ab (vgl. ebd.: o. S.). Daher beschäftigt sich die Forschung zur Zeit vermehrt mit der Brenn- und Entflammbarkeit von Fassadenbegrünungen.

Eine Untersuchung des Brandverhaltens bodengebundener Begrünungen zeigt, dass tote Pflanzenmasse eine Brandweiterleitung und -ausbreitung maßgeblich bedingt (vgl. Engel; Noder 2020: 556). Für einen angemessenen Brandschutz ist daher ein regelmäßiges Entfernen von abgestorbenen Pflanzenteilen unverzichtbar (vgl. ebd.: 551).

Um das Risiko einer Brandweiterleitung bei boden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungen weiterhin einzudämmen, wird empfohlen konstruktive Brandsperren, bspw. in Form von auskragenden Brandschutzelementen, zwischen Geschossen anzuordnen (vgl. Werner

et al. 2018: 53). Alternativ dazu können Begrünungen mit einem Mindestabstand von 1,0 m über Öffnungen, wie Fenstern oder Türen, angeordnet werden. Großbrandversuchen von Werner et. al (2018) zufolge konnte bei entsprechenden Aufbauten keine Entflammung der Fassadenbegrünungen beobachtet werden. Auch ein Mindestabstand von 1,0 m zum Dach sollte bei allen Begrünungssystemen eingehalten werden, solange keine Brandsperren vorhanden sind (vgl. Werner et al. 2018: 56).

Wandgebundene Fassadenbegrünungen stellen hinsichtlich des Brandverhaltens neben potenziellen Gefahrenquellen auch Chancen für einen besseren Brandschutz dar. Möglich ist der Einsatz von zusätzlichen Bewässerungssystemen, die im Brandfall eine Löschfunktion erfüllen könnten (vgl. Köhler; Nistor 2018: 25).

Pflanzen- und Substratwahl boden- und wandgebundener Fassadenbegrünungen

Die Pflanzenwahl bei boden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungen hängt im Allgemeinen von mehreren Parametern, wie z. B. der Ausrichtung der zu begrünenden Fläche, den klimatischen und witterungsbedingten Faktoren oder dem Traglastvermögen des Bauteils, ab. Für eine sorgfältige Pflanzenwahl wird an dieser Stelle auf die Pflanzenlisten des FLL verwiesen (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 60ff, 114ff, 124ff, 138ff, 160).

Auch die Wahl geeigneter Substrate von wandgebundenen Systemen ist essenziell für eine möglichst nachhaltige und effiziente Gebäudebegrünung. Substrate sollten dabei auf die Bepflanzungen abgestimmte Nährstoffverfügbarkeiten und ein möglichst geringes Gewicht aufweisen.

4.6 Kompatibilität von Fassadenbegrünungssystemen und grundlegenden Wandaufbauten

Nachfolgend stehen die Anwendungen der zuvor dargestellten Begrünungssysteme auf verschiedenen Wandaufbauten im Fokus. Durch Betrachtung der Kompatibilität soll eine Übersicht möglicher Begrünungen geschaffen werden. Dazu erfolgt zunächst eine Erläuterung grundlegender Wandaufbauten und eine anschließende visuelle Darstellung der Kompatibilität dieser mit den zuvor betrachteten Fassadenbegrünungssystemen.

Einschalige Wandaufbauten ohne Wärmedämmung

Als einschalige Wandaufbauten ohne Wärmedämmung sind massive Wände aus Mauerwerk oder Beton zu bezeichnen.

Einschalige Wandaufbauten mit integrierter Wärmedämmung

Massive Wandaufbauten mit integrierter Wärmedämmung bestehen aus Wärmedämmbeton oder Leichtbeton. Sie übernehmen sowohl den Lastabtrag, als auch die Wärmedämmung. Die Oberflächen sind innen und außen i. d. R. verputzt. Je nach angewendetem Begrünungssystem ist darauf zu achten wärmebrückenreduzierende Befestigungstechniken anzuwenden (vgl. Pfoser 2016: 137).

Einschalige Wandaufbauten mit WDVS

Bei einschalig ausgeführten Wänden können auch Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) die Funktion der Wärmedämmung übernehmen. Diese bestehen aus drei bis vier Schichten. Zunächst wird außenseitig ein Klebemörtel an die tragende Wandkonstruktion angebracht. Dann folgt eine Wärmedämmung, bspw. Steinwolle, Mineralschaumplatten oder EPS-Hartschaum, auf die im Anschluss eine Amierungsschicht- und ein Außenputz aufgetragen wird. Letztere können in einem Putz als Zusammensetzung aus Amierungs- und Außenputz eingesetzt werden. Eine zusätzliche Verankerung des Systems wird durch punktuelle Verdübelungen geschaffen.

Der Einsatz von WDVS ermöglicht – im Vergleich zu anderen Wandaufbauten – eine Minimierung auftretender Wärmebrücken. Entsprechende Wandaufbauten weisen jedoch eine Außenhaut auf, die mechanischen Einwirkungen ggf. nicht standhalten können, weshalb eine Direktbegrünung nicht zu empfehlen ist (vgl. Pfoser et al. 2013: 107).

Zweischalige Wandaufbauten mit Wärmedämmung

Zweischalige Wandaufbauten mit Wärmedämmungen bestehen aus einer massiven Primärkonstruktion, welche den Lastabtrag sichert, einer anschließenden Wärmedämmung sowie einer vorgehängten Fassade. Diese können aus einer Vielzahl von Materialien, wie z. B. Mauerwerk, Keramik, Naturwerkstein oder Kunststoff, bestehen und schützen die Primärkonstruktionen hauptsächlich vor Witterungseinflüssen. Besteht die zweite, außenliegende Schale aus belastbaren Materialien, können diese zusätzlich zum Lastabtrag herangezogen werden.

Zweischalige, hinterlüftete Wandaufbauten mit Wärmedämmung

Der klassische Aufbau zweischaliger Wandaufbauten besteht aus Primärkonstruktionen in Form von Mauerwerk oder Beton, gefolgt von einer Wärmedämmung, einer Luftschicht und einer außenliegenden vorgehängten Fassade. Modulare Begrünungssysteme und Fassadenbegrünungssysteme mit Geovliesen werden meistens als vorgehängte Fassade ausgeführt und können so die zweite Schale ersetzen (vgl. Köhler 2012: 117).

Zweischalige, hinterlüftete Wandaufbauten ohne Wärmedämmung

Eine Ausführung zweischaliger, hinterlüfteter Wandaufbauten kann auch ohne eine Wärmedämmung erfolgen. Dabei werden Verblendmauerschalen so mit den massiven Primärkonstruktionen verankert, dass zwischen den Schalen eine Luftschicht vorhanden ist.

Metallfassaden

Metallfassaden können als Außenwandbekleidungen bei einschaligen und zweischaligen Wandaufbauten eingesetzt werden.

Holzfassaden

Auch Holzfassaden können als Vorhangfassaden bei ein- oder zweischaligen Wandaufbauten fungieren. Dabei müssen ggf. wasserabdichtende Schichten auf die Primärkonstruktionen aufgebracht werden.

Glasfassaden

Als Glasfassaden sind an dieser Stelle großflächige Fensterfronten zu verstehen. Es handelt sich ebenfalls dabei um vorgehängte Fassaden, da von ihnen kein Lastabtrag geleistet werden kann.

Kompatibilität von Begrünungssystemen und Wandaufbauten

Aufbauend auf den Betrachtungen und Analysen der unterschiedlichen konstruktiven Möglichkeiten von Fassadenbegrünungen sowie der Darstellung grundlegender Wandaufbauten steht im Folgenden die Kompatibilität einzelner Begrünungssysteme mit den verschiedenen Wänden im Zentrum der Betrachtung. Aus dieser Kompatibilitätsbetrachtung können wichtige Erkenntnisse für die Einschätzung des Anwendungspotenzials von Fassadenbegrünungen und damit für Betrachtungen des Gesamtpotenzials von Gebäudebegrünungen gezogen werden.

In Tabelle 4.1 ist der Grad der Eignung grundlegender Wandaufbauten für die verschiedenen Fassadenbegrünungssysteme mit den Kriterien *geeignet*, *bedingt geeignet* und *nicht geeignet* dargestellt. Für alle Wandaufbauten gilt grundsätzlich die Notwendigkeit der Prüfung des Traglastvermögens von lastabtragenden Primär- und teilweise auch Sekundärkonstruktion. Dabei müssen ggf. Zusatzlasten, wie Windsog- und Schneelasten, berücksichtigt werden. Des Weiteren ist die Erfüllung von Brandschutzauflagen vorab zu klären. Für eine nachhaltige Fassadenbegrünung sind Wandaufbauten und die Lebensbedingungen sowie Anforderungen der Pflanzen aufeinander abzustimmen. Dazu zählt u. a. das Prüfen von Deckbelägen auf Pflanzenverträglichkeit (vgl. Pfoser 2016: 130).

Tabelle 4.1: Kompatibilität von Fassadenbegrünungssystemen und grundlegenden Wandaufbauten (eigene Darstellung nach Mahabadi; Althaus 2018: 30ff)

Fassaden- / Wandaufbau	Fassadenbegrünungssysteme								
	Bodengebundene Fassadenbegrünungen			Wandgebundene Fassadenbegrünungen			Sonderformen		
	Begrünungen mit Selbstklimmern	Begrünungen mit Gerüstkletterpflanzen		Regalsystem/ lineare Bauweise	modulare Begrünungen ³	flächige Begrünungen ³	Mischsysteme	Moosfassaden	Hydroponische Begrünungen ³
Gerüste		Seile / Drähte							
Einschalige Wandaufbauten									
ohne WD	o ¹	+	+	+	+	+	+	+	+
mit integrierter WD	o ¹	+	+	+	+	+	+	+	+
mit WDVS	-	o	o	o	o	o	o	o	o
Zweischalige Wandaufbauten									
mit WD ¹	o	+	+	+	+	+	+	+	+
mit WD und Luftschicht ²	o	o	o	o	+	+	o	+	+
mit Luftschicht ²	o	o	o	o	+	+	o	+	+
Ständer- und Fachwerkbauweisen und Vorfassaden / Außenschalen									
Holzskelett-Bauweise	o	o	o	+	+	+	o	+	+
Metallskelett-Bauweise ⁵	-	o	o	+	+	+	o	+	+
Metallfassade	-	+	+	+	+	+	o	+	+
Holzfassade	o ⁴	+	+	+	+	+	o	+	+
Glasfassade	-	o	+	o	-	-	o	-	-

¹ Auf geschlossene Außenhülle achten, ggf. ist ein Deckbelag erforderlich

² Möglichkeit des unerwünschten Hinterwachsens ist zu prüfen

³ Schutz der Primärfassade vor Feuchte und Durchwurzelung erforderlich

⁴ Keine negativphototropen Pflanzen

⁵ Hinterlüftungsebene erforderlich

+ geeignet, o bedingt geeignet, - nicht geeignet

Es ist zu erkennen, dass wandgebundene Fassadenbegrünungssysteme ein höheres Anwendungspotenzial aufweisen als bodengebundene. Weiterhin zeigt sich, dass Begrünungen mit Selbstklimmern allgemein am geringsten kompatibel sind. Dies ist auf das mögliche Schadensbild entsprechender Begrünungen zurückzuführen.

Im Fall der Wandaufbauten mit WDVS ist die Anwendung aller Systeme mindestens als bedingt geeignet eingestuft, da die Außenschale keiner großen Belastung standhält. Hervorzuheben ist darüber hinaus, dass modulare und flächige Begrünungen sowie Moosfassaden und hydroponische Begrünungen die gleichen Kompatibilitäten aufweisen. Die dargestellten Einschätzungen ergeben außerdem, dass Begrünungen von hinterlüfteten Fassaden im Vergleich zu einschaligen Wandaufbauten weniger geeignet sind. Generell weisen aber die meisten Wandaufbauten geeignete Kompatibilitäten mit einem oder mehreren Begrünungssystemen auf.

5 Praxisnahe Umsetzung von Begrünungskonzepten in Deutschland

5.1 Status quo in Deutschland – Betrachtung angewandter Begrünungskonzepte

In den Kapiteln 3 und 4 wurden verschiedene Dach- und Fassadenbegrünungssysteme vorgestellt. Bisher haben sich diese Konzepte noch nicht alle in der Praxis bewährt. Erfahrungswerte von Unternehmen aus der Wirtschaft können eine Grundlage zur Einschätzung des Anwendungspotenzials von Begrünungssystemen darstellen. An dieser Stelle dienen Korrespondenzen mit zwei Unternehmen als Referenz für eine solche Einschätzung.

Die *Helmut Haas GmbH* realisiert neben Fassadenbegrünungen als Systempartner der *Optigrün AG* auch Dachbegrünungen. Als ausführender Betrieb stellt die Helmut Haas GmbH eine wichtige Referenz für die Anwendung von Begrünungssystemen dar. Außerdem wurde die *Vertiko GmbH* als einer der marktführenden Anbieter von Fassadenbegrünungssystemen befragt. Das Unternehmen führt sowohl bodengebundene Fassadenbegrünungen, als auch wandgebundene *Living Walls* in flächiger und modularer Bauweise aus. Im Folgenden werden zunächst die Anwendungspotenziale von Dachbegrünungssystemen und im Anschluss jene von Fassadenbegrünungssystemen betrachtet.

Anwendungspotenziale von Dachbegrünungssystemen

Im Jahr 2019 wurden dem Bundesverband GebäudeGrün e.V.¹ zufolge in Deutschland 7.217.720 m² Dachfläche begrünt (vgl. Mann et al. 2020: 14). Davon wurden mit 6.024.421 m² ca. 83,5 % der Fläche extensiv begrünt (vgl. ebd.). Der Anteil intensiver Dachbegrünungen ist demnach mit 16,5 % verhältnismäßig gering. Diese Studienergebnisse spiegeln sich in den Einschätzungen von Behnert (2021) von der Helmut Haas GmbH wieder. Das Unternehmen begrünt jährlich ca. 30.500 m² Dachfläche wovon etwa 92 % Extensivbegrünungen und lediglich 8 % Intensivbegrünungen darstellen. Bei den hier erwähnten Extensivbegrünungen handelt es sich um jene in Substratbauweise, die laut Behnert zu 90 % mit Saatgut begrünt werden, da es sich hier um die günstigste Begrünungsvariante handelt. Konträr da-

¹Der Bundesverband GebäudeGrün – im Folgenden wird die Abkürzung BuGG verwendet – setzt sich für den Marktausbau von Gebäudebegrünungen ein und dient aufgrund fachlicher und wirtschaftlicher Kompetenzen in diesem Bereich als wichtiger Ansprechpartner (vgl. BuGG 2021: o. S.).

zu stellen Dachbegrünungen in Textil-Substrat-Bauweise und modulare Dachbegrünungen eine verhältnismäßig teure Begrünungsform dar. Deren Anwendung beschränkt sich daher meist auf Schrägdachbegrünungen oder Dachbegrünungen auf sehr hohen Gebäuden, bei denen die Matten als Windsogsicherung dienen können.

Abhängig von den Begrünungszielen besteht auch eine Nachfrage nach Retentions- und Biodiversitätsgründächern (vgl. Behnert 2021: o. S.). Hier sind Biodiversitätsgründächer den Extensivbegrünungen und Retentionsdächer den Intensivbegrünungen zuzuordnen.

Die großen Differenzen zwischen Extensiv- und Intensivbegrünungen lassen sich zum einen auf die großen Kostenunterschiede beider Begrünungssysteme und zum anderen auf die erhöhten Anforderungen intensiv begrünter Dächer, insbesondere an Statik und Pflege, zurückführen. Darüber hinaus könnten kommunale Auflagen, die einen Mindestanteil begrünter Dächer in Quartieren oder auf einzelnen Gebäuden vorsehen, Einfluss auf die Größenordnung extensiv begrünter Dachflächen haben. Denn wenn das Hauptmotiv der Ausführung einer Dachbegrünung, die Erfüllung von Auflagen ist, liegt die Einschätzung nahe, dass primär nach der kostengünstigsten Möglichkeit gesucht wird.

Minimalbegrünungen, wie extensive Direktbegrünungen und jene in Textil-Bauweise kommen aufgrund der potenziell hohen Kosten selten zur Anwendung und werden von Systemherstellern teilweise gar nicht angeboten. Auch Steildachbegrünungen stellen in Deutschland die Ausnahme dar. Dennoch deuten erfolgreich umgesetzte Projekte, wie die begrünter Steildächer von vier Wohnkomplexen in München (LAO), das Potenzial jener Begrünungen an (vgl. GaLaBau 2017: o.S.).

Anwendungspotenziale von Fassadenbegrünungssystemen

Im Vergleich zu Dachbegrünungen ist Behnert (2021) zufolge die Nachfrage nach Fassadenbegrünungen deutlich geringer (vgl. ebd.: o. S.). Der BuGG schätzt die 2019 begrünete Fassadenfläche in Deutschland auf etwa 20.000 bis 55.000 m², wovon rund 5.000 m² mit wandgebundenen Fassadenbegrünungssystemen begrünt wurden (vgl. Mann et al. 2020: 46). Zuzüglich dazu wird eine mit Selbstklimmern begrünete Fassadenfläche von 20.000 bis 80.000 m² angenommen (vgl. ebd.: 46). Diese Gesamtfläche von maximal 135.000 m² entspricht nicht einmal 1 % der in 2019 neu begrüneten Gesamtfläche. Dennoch vermerkt Kilian Lingen (2021) von dem Unternehmen Vertiko einen erheblichen Anstieg von Fassadenbegrünungen in den letzten Jahren. Dabei erfahren insbesondere bodengebundene Begrünungen mit Kletterpflanzen zur Zeit eine immer stärkere Nachfrage (vgl. ebd.: o. S.). Ob eine boden- oder wandgebundene Fassadenbegrünung angewandt wird, hängt laut Lingen (ebd.) oft von der Motivation eines/r Auftraggeber/-in zur Begrünung ab. Handelt es

sich bspw. bei der Motivitation lediglich um die Erfüllung kommunaler Auflagen, werden meist bodengebundene Begrünungssysteme angefragt, die wegen des geringen Material- und Kostenaufwands verhältnismäßig günstig sind. Beruht die Motivation hingegen auf der Aufwertung eines Gebäudes, werden häufig auch wandgebundene Systeme in Betracht gezogen (vgl. ebd.).

Hinsichtlich wandgebundener Fassadenbegrünungen erfahren modulare Begrünungen von Vertiko im Vergleich zu den flächigen Ausführungen eine sehr geringe Nachfrage. Grund hierfür sind die deutlich höheren Kosten und die aufwendigere Realisierung. Diese Nachteile können durch den Vorteil eines sofortigen Vegetationsbildes meist nicht ausgeglichen werden.

Die Zahlen ausgeführter Begrünungen schätzt Lingen im Neubau und Bestand, als auch bei Industrie- bzw. Gewerbebauten und Wohn- bzw. Verwaltungsgebäuden etwa gleich ein (vgl. ebd.). Bei großen Wänden werden bodengebundene Begrünungen von Kunden bevorzugt, da diese kostengünstiger zu realisieren sind. *Living-Wall*-Systeme werden hingegen eher an kleineren Fassadenflächen angewandt. Ein Beispiel stellt das begrünte Verwaltungsgebäude der Firma Osterrath in Bad Laasphe dar (Abb. 4.5b). Hier wurden 800 m² Fassadenfläche von Vertiko mit der *Living Wall* begrünt (vgl. Vertiko 2021: o. S.).

5.2 Grundlegende planerische und auszuführende Maßnahmen zu Begrünungskonzepten

Nachdem die Anwendungspotenziale von Dach- und Fassadenbegrünungssystemen diskutierend dargestellt wurden, folgt nun eine Betrachtung grundlegender planerischer und ausführender Maßnahmen, die seitens der Bauherren/-innen und Planer/-innen im Vorfeld beachtet werden müssen. Dazu wird auf Planungs- und Pflegemaßnahmen sowie den Planungsprozess von Begrünungen eingegangen.

Planungsmaßnahmen zu Begrünungskonzepten

Vor der Ausführung von Begrünungen an Gebäuden müssen diese sorgfältig geplant werden. Dabei sind eine Reihe von Aspekten zu beachten. Für eine möglichst langlebige und erfolgreiche Gebäudebegrünung ist zunächst eine Durchführung von Standortanalysen für geplante Begrünungen erforderlich, um im Anschluss eine auf die örtlichen Bedingungen angepasste Vegetation zu wählen. Die zu ermittelnden Standortbedingungen lassen sich in die drei Kategorien klimatische und witterungsbedingte, bauwerksspezifische und pflanzenspezifische Faktoren unterteilen.

Um eine möglichst geeignete Pflanzenwahl treffen zu können, sind unter Berücksichtigung der örtlichen klimatischen Verhältnisse u. a. die Menge und jahreszeitliche Verteilung von Niederschlägen, die Sonnenscheindauer, Trocken- und Frostperioden sowie die Hauptwindrichtung zu ermitteln (vgl. Lösken 2018: 24).

Bauwerksspezifische Faktoren, die berücksichtigt werden müssen, sind u. a. Lastannahmen, Eignung der zu begrünenden Bauteile, Sonnen-, Schatten- und Wechsellichtbereiche, Exposition der Dach- und Fassadenflächen, zusätzliche Belastungen durch und Auswirkungen von anderen Bauteilen und Windströmverhältnisse bzw. zusätzliche Windsoglasten (vgl. ebd.: 24). Während bei Dachbegrünungen außerdem die Neigung der Dachflächen und die Möglichkeit von Pfützenbildungen zu beachten sind, müssen für Fassadenbegrünungen die Montagefähigkeit des Begrünungssystems, ggf. erforderliche Wuchsbegrenzungen und bei Kletterpflanzen mögliche Zuglasten durch die Kletterhilfen berücksichtigt werden (vgl. Mahabadi; Althaus 2018: 165).

Hinsichtlich pflanzenspezifischer Faktoren müssen u. a. die Winter- und Windfestigkeit, der Einfluss von der Sonneneinstrahlungsintensität, die Konkurrenzschwäche verschiedener Arten, die gewünschte Pflanzenwirkung, die Möglichkeit des Auftretens von Fremdbewuchs und der Pflegeaufwand berücksichtigt werden (vgl. Lösken 2018: 25).

Nach Wahl der Vegetation muss nun eine auf die Pflanzen angepasste Nährstoffversorgung geschaffen werden. Bei den meisten Begrünungsaufbauten basiert diese auf der Wahl geeigneter Substrate und künstlichen Bewässerungssystemen. Hier sind bereits bei der Planung Ableitungen von Überschusswasser und evtl. Rückführungen in den Bewässerungskreislauf zu bedenken.

Darüber hinaus sind auf Dächern eine ausreichende Anzahl an Entwässerungs- und Notüberläufen und bei Intensivbegrünungen Absturzsicherungen vorzusehen. Bei allen Dach- und Fassadenbegrünungen sollte der Zugang zu den jeweiligen Gebäudeflächen für Wartungs- und Pflegemaßnahmen weitestgehend gewährleistet sein. (vgl. BuGG 2020b: 7).

Für eine umfangreiche Planungsgrundlage sind die Checklisten der FLL Dach- und Fassadenbegrünungsrichtlinien heranzuziehen.

Pflegemaßnahmen von Begrünungen

Neben einer sorgfältigen Planung von Gebäudebegrünungen trägt die Pflege dieser maßgeblich zum Erhalt und der Langlebigkeit der Vegetation bei. Nur so können die in Kapitel 2 thematisierten positiven Effekte der Pflanzen auf die Umgebung auf lange Zeit gewährleistet werden (vgl. Behnert 2021: o. S.). Bei allen Begrünungssystemen ist daher eine regelmäßige, auf die Vegetation abgestimmte Pflege durchzuführen, die sich je nach Pflan-

zenwahl in ihrem Umfang unterscheiden kann. Zu den generell anfallenden Maßnahmen gehören der Rückschnitt der Vegetation und das Freihalten von bspw. Fenstern, Rohren oder technischen Einrichtungen auf Dächern, die Entfernung abgestorbener Pflanzenreste und das Ersetzen toter Vegetation (vgl. BuGG 2020b: 9). Darüber hinaus sollten Bewässerungssysteme regelmäßig gewartet werden (vgl. BuGG 2020a: 9).

Disziplinübergreifende Aspekte bei Planungsprozessen von Begrünungskonzepten

Planungen von Dach- und Fassadenbegrünungen verlangen Abstimmungen mit anderen Baubeteiligten, wie Dachdeckern, Statikern und Brandschutzgutachtern (vgl. Lingen 2021: o. S.). Da Begrünungsarbeiten i. d. R. als einer der letzten Arbeiten ausgeführt werden, hängen diese zumindest zeitlich von der Fertigstellung fast aller anderen Tätigkeiten ab. Daher verzögern sich die Ausführungen der meisten Projekte deutlich (vgl. Behnert 2021: o. S.). Laut Lingen (2021) nimmt der tatsächliche Planungsprozess von Fassadenbegrünungen in Abstimmung mit weiteren Disziplinen nur einige Tage bis zwei Wochen in Anspruch.

5.3 Grenzen und Herausforderungen bei der Planung und Umsetzung von Gebäudebegrünungen

Selbst wenn alle der zuvor erläuterten Maßnahmen zur Begrünung von Gebäuden eingehalten werden, sind nicht alle Bauwerke und Bauteile für Dach- oder Fassadenbegrünungen geeignet. Im Folgenden wird anhand der Aspekte Traglastvermögen, Bauteilkonstruktionen und Denkmalschutz erörtert, unter welchen Umständen Gebäudebegrünungen nicht möglich sind.

Traglastvermögen von Bauteilen

Ein Aspekt an dem Begrünungssysteme häufig an ihre Grenzen stoßen, ist das Traglastvermögen bereits bestehender Konstruktionen. Sollen Bestandsgebäude nachträglich begrünt werden, so muss besonderes Augenmerk auf vorhandene Traglastreserven bzw. bestehende Statiken geworfen werden. Oft sind sehr alte Gebäude im Sinne heutiger Normen und Richtlinien nur bedingt darauf ausgelegt zusätzliche Lasten aufzunehmen, sodass die Abtragung der Lasten durch Begrünungssysteme nicht gewährleistet werden kann. Auch kann seitens ausführender Betriebe von Gebäudebegrünungen im Bestand abgeraten werden, wenn das Traglastvermögen der Bauteile nicht gegeben bzw. nirgendwo vermerkt ist (vgl. Behnert 2021: o. S.). Die Ermittlung des Traglastvermögens kann z. B. bei Betontragwerken meist

nur mit erheblichen Aufwand, bspw. mit Kernbohrungen, durchgeführt werden.

Handelt es sich bei den zu begrünenden Dächern von Bestandsbauten um Flachdächer, die mit einer Auflast aus Kies oder Platten gegen abhebende Kräfte gesichert sind, ist eine Extensivbegrünung oftmals ohne Bedenken auszuführen. Hier kann ein Gewicht von ca. $1,0 \text{ kN/m}^2$ angesetzt werden, welches dem einer 5 cm hohen Kiesschüttung entspricht (vgl. Albert; Schneider 2018: 3.12).

Viele Hersteller bieten darüber hinaus sehr leichte Begrünungssysteme mit Lasten von teilweise $0,55 \text{ kN/m}^2$ an (vgl. Optigrün 2021: o. S.). Selbst Dächer, die für keine hohen zusätzlichen Lasten ausgelegt sind, können also zumindest extensiv begrünt werden können.

Bauteilkonstruktionen

Neben den tragwerksrelevanten Aspekten, sind es vielfach auch baukonstruktive Faktoren, die eine Realisierung von Dachbegrünungen limitieren, darunter die Dachneigung. Wie bereits in Kapitel 3 erörtert ist die Anwendung verschiedener Begrünungssysteme je nach Dachneigung nur mit zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen möglich. Teilweise können Begrünungen generell nur bis zu einer bestimmten Dachneigung ausgeführt werden. Daher sind Begrünungen von Schrägdächern generell nur bedingt und nicht mit allen Begrünungssystemen möglich.

Darüber hinaus sind Dach- und Fassadenbegrünungen an Gebäuden mit den jeweiligen zu begrünenden Bauteilen abzustimmen, wie in den Tabellen 3.1 und 4.1 dargestellt. Unter Umständen können Begrünungen nur mit zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen ausgeführt werden.

Auch ist es möglich, dass Gebäude aufgrund konstruktiver Merkmale für Begrünungen ungeeignet sind. Wenn bspw. der Dachüberstand so groß ist, dass die Pflanzen keinen Regen abbekommen, wird von entsprechenden Begrünungen abgeraten (vgl. Behnert 2021: o. S.).

Denkmalgeschützte Gebäude

Neben den zuvor erwähnten statischen und baukonstruktiven Hindernissen, kann auch der Denkmalschutz eine Begrünung von Bestandsgebäuden verhindern. Unter Denkmalschutz stehende Gebäude müssen in ihrer Form erhalten bleiben. Dabei kann sich dieser auf das gesamte Bauwerk oder auf einzelne Bereiche, wie bspw. das Mauerwerk beziehen. Meist darf das äußerliche Erscheinungsbild entsprechender Gebäude nicht verändert werden, sodass nachträgliche Dach- oder Fassadenbegrünungen nicht zulässig sind.

5.4 Förderungsmöglichkeiten von Begrünungskonzepten

Im Rahmen der Betrachtung praxisnaher Umsetzungen von Begrünungssystemen werden nachfolgend verschiedene Förderungsmöglichkeiten erläutert, die in Deutschland angewandt werden, um die Realisierung und Attraktivität von Dach- und Fassadenbegrünungssystemen zu erhöhen. Dazu wird im Folgenden auf kommunale und staatliche Fördermaßnahmen und auf Green-Building-Zertifikate eingegangen.

Kommunale und staatliche Fördermaßnahmen

Die positiven Auswirkungen begrünter Gebäudeoberflächen für das Stadtklima, die in Abschnitt 2.2 bereits diskutiert wurden, finden seit einigen Jahren in Deutschland Zuspruch auf staatlicher und kommunaler Ebene. Mittlerweile gibt es eine Reihe von Fördermaßnahmen für Gebäudebegrünungen. Als Grundlage dieser Betrachtung dienen Umfrageergebnisse des BuGG aus den Jahren 2019 und 2020, die auf den Datenerhebungen von 200 Städten mit mehr als 20.000 Einwohnern und ca. 190 Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern basieren (vgl. Mann et al. 2020: 26).

Im Rahmen der Förderung von Dach- und Fassadenbegrünungen können finanzielle Zuschüsse die Realisierung dieser attraktiver gestalten. Dabei variieren die Voraussetzungen für Förderungen, u. a. Mindesthöhe der Substratschicht, maximale Dachneigung oder Mindestgröße der Dachfläche sowie die Höhe der Fördergelder je nach Gemeinde. Diese Fördermaßnahme wird in 19 % aller befragten Städte mit mehr als 20.000 Einwohnern und in 26 % aller Städte mit mehr als 50.000 Einwohnern für Dachbegrünungen umgesetzt. Bei Fassadenbegrünungen sind die Werte mit 17 % und 26 % jeweils etwas geringer (vgl. ebd.: 26). Prozentual variiert die Fördergrenze finanzieller Mittel zwischen 20 und 90 % der förderfähigen Kosten. Im Durchschnitt liegt die maximale Förderung bei ungefähr 50 % (vgl. ebd.: 50).

Eine weitere Fördermaßnahme ist die verbindliche Festsetzung von Gebäudebegrünungen in Bebauungsplänen, die die Art und Weise der Bebauung und Nutzung von Grundstücken vorgeben. Hier ist es rechtlich möglich die Begrünung von Fassaden und Dächern vorzuschreiben (vgl. Köhler 2012: 19). Mit 67 % der betrachteten Städte mit mehr als 20.000 Einwohnern und 73 % der Städte mit mehr als 50.000 Einwohnern erweist sich diese Maßnahme als die beliebteste (vgl. Mann et al. 2020: 26). Die Festsetzungen beziehen sich vorrangig auf flache oder flachgeneigte Dächer. Eine Ausführung der Kombination von PV-Anlagen und Dachbegrünungen kann ebenfalls in Bebauungsplänen festgelegt werden. Auch für Fassadenbegrünungen gilt die Festsetzung dieser in Bebauungsplänen als am häu-

figsten angewandte Fördermaßnahme mit 45 % der befragten Städte mit mehr als 20.000 Einwohnern und 41 % der befragten Städte mit mehr als 50.000 Einwohnern (vgl. Mann et al. 2020: 26).

Im Zuge der Ausarbeitung der Vorteile von Gebäudebegrünungen wurde u. a. das Retentionsvermögen von Dachbegrünungssystemen und die damit einhergehende Entlastung von Stadtentwässerungen betrachtet. Aufgrund dieser Eigenschaften erfolgt besonders häufig in Großstädten eine Reduktion der Abwassergebühr bei Installation von Dachbegrünungen. Den Umfragen zufolge wird diese Maßnahme in 49 % der befragten Städte mit mehr als 20.000 Einwohnern und in 72 % der befragten Städte mit mehr als 50.000 Einwohnern angewandt (vgl. ebd.). Dabei variieren die Gebührenreduktionen zwischen 10 und 100 %, mit einer durchschnittlichen Reduktion von 59 % (vgl. ebd.: 42).

Eine Verteilung von *Ökopunkten*² als Förderung von Dachbegrünungen wird in 20 % aller befragten Städte eingesetzt (vgl. ebd.: 26). Dabei variiert die Anzahl der verteilten Ökopunkte von 0,5 bis 19 Ökopunkte pro Quadratmeter Grünfläche (vgl. ebd.: 41).

Kommunale Förderungsprogramme werden mittlerweile von einer Reihe von Städte angeboten, darunter Stuttgart, Hannover, Berlin und Hamburg. In Hamburg wurde bspw. im Jahr 2014 die *Hamburger Gründachstrategie* entwickelt und ins Leben gerufen. Neben insgesamt 3 Mio Euro an Fördergeldern, sparen Gründachbesitzer zusätzlich 50 % der Niederschlagswassergebühr ein. Für die Förderung muss es sich um mindestens 20 m² Grünfläche auf dem Dach und eine maximale Dachneigung von 30° handeln (vgl. BUE 2015: 19).

Green-Building-Zertifikate

Eine weitere Förderungsmöglichkeit von Dach- und Fassadenbegrünungen ist die Einbindung in *Green-Building-Zertifikate*. Die Nachfrage nach zertifizierten Gebäuden steigt zunehmend, was die Marktchancen entsprechender Immobilien erhöht (vgl. DGNB e. V. 2021: o. S.). Um Dach- und Fassadenbegrünungen also effektiv zu fördern, bietet es sich an, diese in Zertifizierungssysteme zu integrieren. Im Folgenden sollen die drei bekanntesten Green-Building-Zertifikate vorgestellt werden.

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB):

Das Zertifizierungssystem der DGNB bewertet die Nachhaltigkeitsqualität von Gebäuden über einen Lebenszyklus von 50 Jahren hinweg. Das DGNB-Zertifizierungssystem ist auf verschiedene Nutzungsprofile, wie Neubau, Bestandsgebäude und Innenräume, anwendbar

² *Ökopunkte oder Wertpunkte werden im Zuge der Eingriffs-Ausgleichs-Regelung nach dem Bundesnaturschutzgesetzes in Deutschland verteilt, um den Umfang von Maßnahmen bestimmen zu können, die die negativen Auswirkungen der Eingriffe in die Natur kompensieren (vgl. Mann et al. 2020: 41).*

und umfasst die Bereiche *Ökologie, Ökonomie, soziokulturelle und funktionelle Aspekte, Technik, Prozesse* und *Standort*. Die DGNB-Zertifikate sind in Bronze, Silber, Gold und Platin eingeteilt, wobei die Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien mit einem Gesamterfüllungsgrad von mindestens 35, 50, 65 und 80 % erreicht werden muss. Die DGNB umfasst deutschlandweit zum jetzigen Stand etwa 5.000 zertifizierte Projekte (vgl. ebd.: o. S.).

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED):

Das US-amerikanische Green-Building-Zertifikat LEED ist ein weltweit verbreitetes System zur Nachhaltigkeitszertifizierung. Ähnlich wie bei DGNB-Zertifizierungen, ist das LEED-Zertifizierungssystem für verschiedene Nutzungsprofile, darunter Neubau und Sanierungen, Investorenmodelle und Bestandsgebäude, verfügbar. Es umfasst die Bewertung der Kriterien *Infrastrukturelle Einbindung des Standortes, Grundstücksqualität, Wassereffizienz, Energie und Globale Umweltwirkungen, Materialkreisläufe und Ressourcenschonung, Innenraumluftqualität, Innovationen* sowie *standortbedingt besondere Bedeutung*. Die LEED-Zertifikate unterscheiden sich in Certified, Silver, Gold, Platinum, wobei eine Mindestpunktzahl von 40, 50, 60 und 80 Punkten erreicht werden muss (vgl. GGBA e.V. 2020: o. S.).

Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM):
Zertifizierungen nach BREEAM werden ebenfalls international durchgeführt und sind für Stadtplanungsprojekte, Infrastruktur und Gebäude anwendbar. Dabei werden die Projekte nach den Kriterien *Energie, Gesundheit und Wohlbefinden, Innovation, Landnutzung, Materialien, Management, Verschmutzung, Transport, Abfall* und *Wasser* hinsichtlich der Nachhaltigkeit mit bis zu sechs Sternen bewertet (vgl. BREEAM 2020: o. S.).

6 Potenziale von Dach- und Fassadenbegrünungen in Deutschland

6.1 Flächenpotenziale von Gebäudebegrünungen

Neben den in den Kapiteln 3 und 4 betrachteten Leistungs- und Anwendungspotenzialen von Gebäudebegrünungen sind auch die Flächenpotenziale besonders relevant für die Einschätzung des Gesamtpotenzials von Dach- und Fassadenbegrünungssystemen. Ermittlungen von nutzbaren Flächen schaffen nicht nur einen Überblick über den Bestand, sondern ermöglichen darüber hinaus die Weiterverwendung dieser Erkenntnisse. Entsprechende Analysen können bspw. effektiv für Stadtklimamodelle, Entwässerungsplanungen und Biotopvernetzungen genutzt werden und sorgen dadurch für optimiertere Planungen in diesen Bereichen. Des Weiteren lassen sich mit ihnen kommunale Förderungsstrategien entwickeln, die Umsetzungen von Gründächern maßgebend unterstützen können.

Für eine Darstellung des Potenzials von Gebäudebegrünungen stellt sich zunächst die Frage welche Flächen grundsätzlich begrünt werden können. Im Anschluss muss erörtert werden welches Ausmaß begrünbare Flächen in Deutschland annehmen und wie groß der Anteil bereits existierender Gebäudebegrünungen ist. Dafür werden Dach- und Fassadenbegrünungen erneut getrennt betrachtet.

6.1.1 Nutzbare Flächen für Gebäudebegrünungen

Wie bereits in den Abschnitten 3.6 und 5.3 angerissen, können Dachbegrünungen auf nahezu allen Dächern ausgeführt werden, wobei intensiv begrünte Dächer höhere Ansprüche an die Eigenschaften – insbesondere an das Traglastvermögen und die Neigung – von Dachaufbauten haben. Darüber hinaus ist zu beachten, dass Dachbegrünungen aufgrund der notwendigen vegetationsfreien Streifen an Dachrändern und um technische Anlagen oder Dachfenster herum ggf. nicht für beliebig kleine Dächer geeignet sind (vgl. Lösken 2018: 42).

Der wichtigste Faktor, der über die Nutzbarkeit von Dachflächen entscheidet, ist die Dachneigung. Oftmals beschränkt sich die Fachkompetenz der ausführenden Firmen und Hersteller auf Dachbegrünungen von Flachdächern oder Dächern mit leichten Neigungen (vgl.

Pätzold 2019: 118). Es sind jedoch, wie zuvor in Kapitel 3 erläutert, Begrünungen auf Dächern bis 45° Neigung zu empfehlen und in Einzelfällen bis 85° möglich.

Auch Gebäudebegrünungen in Form von boden- oder wandgebundenen Fassadenbegrünungen können, wie in den Abschnitten 4.6 und 5.3 dargestellt, an den meisten Fassadentypen ausgeführt werden (vgl. Köhler; Nistor 2018: 180). Allerdings spielt die Beschaffenheit der gesamten Fassade eine Rolle, denn großflächige Fassadenbegrünungen werden vorzugsweise an fensterlosen Fassaden verwirklicht. Davon ausgenommen sind erwünschte Verschattungen durch Pflanzen, die i. d. R. mit Kletterpflanzen realisiert werden. Daher ist das Potenzial zur großflächigen Anbringung von Fassadenbegrünungssystemen, wie der flächigen Begrünung mit Geovliesen, stark eingeschränkt. Auch muss abgewogen werden, in wie weit sich mehrere einzelne Tragkonstruktionen zwischen Fenstern aus finanzieller Sicht lohnen.

Sowohl Fassaden-, als auch Dachbegrünungen sind einfacher an Neubauten als an Bestandsgebäuden zu realisieren, da alle bauphysikalischen und konstruktiven Anforderungen in der Planung und während der Bauphase bereits berücksichtigt werden können (vgl. ebd.: 180).

6.1.2 Analyse des Bestands zukünftig nutzbarer Flächen für Gebäudebegrünungen

Ein wichtiger Aspekt der Analyse des Bestands zukünftig nutzbarer Flächen für Gebäudebegrünungen ist die Erfassung nutzbarer Flächen in Deutschland. Bisher fehlt jedoch eine einheitliche amtliche, bundesweite Gebäudetypologie, die über die Erfassung weniger Gebäudemerkmale, wie bspw. den Gebäudenutzungsklassen, hinausgeht. Ein nächster Zensus des Gebäudebestands ist für das Jahr 2021 geplant. Doch Ergänzungen von vielen relevanten Merkmalen, sodass eine umfassende und detaillierte Aufnahme des Gebäudebestands in Deutschland durchgeführt werden kann, sind aufgrund rechtlicher, finanzieller und organisatorischer Aspekte vermutlich nicht möglich (vgl. Rein 2016: 3).

Eine Aufnahme von Dachneigungen der Bestandsgebäude in Deutschland wäre dabei jedoch essentiell für die Ermittlung des Potenzials zukünftiger Dachbegrünungen, da diese Aufschluss über die möglichen Begrünungssysteme und darüber hinaus über erste Kostenansätze gibt. Eine Einzelfallprüfung der Dächer darf jedoch insbesondere aufgrund der Ermittlung des Traglastvermögens nicht vernachlässigt werden.

Für eine Abschätzung des Potenzials zukünftiger Fassadenbegrünungen ist die Erfassung von Fassadenflächen relevant. Neben der Ermittlung des Anteils an Aussparungen in der

Fassade (Türen, Fenster o. Ä.) ist auch die Lage dieser wichtig, da die Vegetation, solange keine Verschattungen erwünscht sind, nur zwischen Aussparungen angebracht werden kann.

Bestandsaufnahmen von nutzbaren Fassadenflächen sind äußerst aufwendig, da Ortsbegehungen oder Aufnahmen mit Drohnen überall erforderlich wären. Es stellt sich außerdem die Frage nach der Relevanz der Ermittlung des Flächenpotenzials von Fassadenbegrünungen, da dieses sehr gebäudespezifisch ist und detaillierte Einzelanalysen und -betrachtungen der jeweiligen Fassaden ohnehin notwendig sind. Aufgrund mangelnder Datenerfassungen zu Fassadenbeständen und der notwendigen individuellen Betrachtung einzelner Fassadenflächen wird nachfolgend nur qualitativ auf das Potenzial zu begrünender Fassadenflächen eingegangen.

Im Rahmen einer Analyse des Flächenpotenzials von Dach- und Fassadenbegrünungen in Deutschland werden im Folgenden Flächenbestände vorhandener und zukünftiger Begrünungen im Bestand und Neubau beleuchtet. Dazu soll eine Darstellung der Datenerfassungen und -analysen verschiedener Städte einen Überblick verschaffen.

Bestand nutzbarer Dachflächen

Im Zuge von Flächenpotenzialanalysen von Dachbegrünungen, wird zunächst der Dachbestand und anschließend der Gründachbestand ermittelt. Anhand dessen kann, bestenfalls unter Berücksichtigung von Dachneigungen, eine Abschätzung zur potenziell begrünbaren Dachfläche vorgenommen werden. Die Erfassung des Gründachbestands kann darüber hinaus der Bewertung des aktuellen Zustandes vorhandener Dachbegrünungen dienen (vgl. Ansel 2016: 21).

Einzelne Kommunen erfassen bereits in GIS¹-basierten Gebäudedatenbanken umfassende spezifische Informationen von Gebäuden, die für detaillierte Analysen genutzt werden können (vgl. Rein 2016: 4). Auf Grundlage solcher Gebäudedatenbanken sind in vielen Gemeinden sogenannte Gründachpotenzialkataster entstanden.

Deutschlandweit gibt es zur Zeit etwa 70 solcher Kataster in Städten und ganzen Regionen, darunter das Ruhrgebiet, Aachen, Bremen und Marburg. In diesen sind Dachflächen mit einer Mindestgröße von 20 m² in drei Kategorien eingeteilt, welche durch Einfärbung der Dachflächen differenziert werden können. Die Kategorien unterteilen sich in gut geeignete Dachflächen mit Neigungen bis 5°, geeignete Dachflächen mit Neigungen von 5 bis 15° und bedingt geeignete Dachflächen mit Neigungen von 15 bis 30° (vgl. Mann et al. 2020: 24).

¹GIS steht für Geografisches Informationssystem, das der digitalen Erfassung räumlicher Daten, deren Speicherung, Bearbeitung, Organisation, Modellierung und Analyse dient (vgl. Neumair 2018: o. S.).

Je nach Kommune erfolgen teilweise auch mehr Unterteilungen. Viele Gründachkataster bieten darüber hinaus Einschätzungen von potenziellen Feinstaubbindungen, Ersparnissen der Regenwassergebühren, CO₂-Bindungen und Kosten der Begrünungen an (vgl. Ruhr 2021: o. S.).

Doch die Analysen einzelner Kommunen reichen für eine umfangreiche Betrachtung nicht aus. Mit dem Projekt *Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünungen* des Deutschen Dachgärtner Verband e.V. (DDV)² und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurde ein standardisiertes Verfahren entwickelt, das der Bestandsaufnahme und -analyse von Dächern dient (vgl. Mann et al. 2020: 20) und damit als Grundstein einer zukünftigen Gesamterfassung vorhandener und potenzieller Dachbegrünungen dienen könnte. Bei diesem Verfahren wird die Erfassung von Gründächern mit hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten³ durchgeführt. Mit Hilfe dieser Daten lässt sich die Vegetationsdichte und Höhe der photosynthetischen Aktivität, also der Vitalität, von Pflanzen über den sogenannten *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) berechnen (vgl. Ansel 2016: 12).

Für die Ermittlung des Gründachbestands werden die Luftbilddaufnahmen mit bereits existierenden Gebäudedaten, bspw. aus kommunalen Liegenschaftskatasterdatensätzen (ALKIS/ALK)⁴, verknüpft, sodass die Dachflächen und ggf. Neigungen in den Luftbildern identifiziert werden können. Anschließend wird der NDVI innerhalb der Gebäudegrundrisse berechnet und die Dächer klassifiziert. Dabei stellen niedrige Werte Spontan- oder Extensivbegrünungen dar und hohe Werte Intensivbegrünungen (vgl. ebd.: 13). Durch weitere Klassifizierungen, wie Mindestanforderungen an Dachflächengröße oder an begrünte Anteile von Dachflächen können die Ergebnisse auf spezifische Anforderungen angepasst werden (vgl. ebd.: 14).

Für die durchgeführte Potenzialanalyse werden Dächer mit Neigungen bis etwa 10° berücksichtigt. Die Dachneigungen sind dabei entweder in den Datensätzen von den Katasterplänen enthalten oder werden neu berechnet. Darüber hinaus kann eine Einteilung in *Präferenzdächer* erfolgen. In diese Kategorie fallen Dächer mit Bekiesungen, da die vorhandenen Lasten denen von Extensivbegrünungen entsprechen (siehe Abschnitt 5.3). In diesen Fällen können Begrünungen also ohne Prüfung der statischen Anforderungen der Bauwerke vorgenommen werden (vgl. ebd.: 15). Auf Basis der einzelnen Dachflächen, können Aussagen über das gesamte Stadtbild einer untersuchten Stadt getroffen werden.

²*mittlerweile Bundesverband Gebäudegrün e. V. (BuGG)*

³*Fernerkundungsdaten sind digitale Luft- oder Satellitenbilddaufnahmen.*

⁴ALKIS steht für Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem und ALK für Automatische Liegenschaftskarte.

Bisher wurden für 15 deutsche Städte, deren Datenerhebung zwischen 2008 und 2020 stattgefunden hat, Bestandsanalysen im Rahmen des vorgestellten Projektes durchgeführt (vgl. Mann et al. 2020: 20). Auf Grundlage der ausgewerteten Städte schätzt der BuGG den Gründachflächenbestand in Deutschland auf 100 bis 120 Mio m² (vgl. ebd.: 22). Neben Extensiv- und Intensivbegrünungen sind in dieser Hochrechnung auch Tiefgaragenbegrünungen berücksichtigt.

Hinsichtlich des Verhältnisses von der begrünten Dachfläche zur Gesamtdachfläche treten in den einzelnen Städten große Unterschiede auf. Während in Berlin mit einem verzeichneten Gründachbestand von 4.002.682 m² lediglich 3,9 % der Gesamtdachfläche begrünt sind, ergeben Datenermittlungen aus München mit einer Fläche von 3.148.043 m² eine Ausnutzung von ca. 19,5 % (vgl. DD-Berlin 2016: 7, Ansel 2016: 19).

Auswertungen der potenziell begrünbaren Flächen der 15 betrachteten Städte ergeben eine Gesamtdachfläche von 68.632.000 m², die nach Definition für Begrünungen gut geeignet ist. Des Weiteren wurde eine Dachfläche von 23.298.000 m² als geeignet eingestuft und 26.638.000 m² Dachfläche ermittelt, die in die Kategorie bedingt geeignet fällt (vgl. Mann et al. 2020: 24). Die betrachteten Städte ergeben also ein Gesamtpotenzial nachträglich begrünbarer Dachflächen von 118.568.000 m², wovon 57,9 % gut geeignet sind.

Im Neubausektor sind Annahmen des BuGG's zufolge im Jahr 2019 Flachdächer mit einer Gesamtfläche von 80 Mio m² entstanden. Umfragen unter Herstellern und Produkthanbietern ergaben, dass mit etwa 7.217.720 m² lediglich 9 % der neu entstandenen Flachdachfläche in Deutschland begrünt wurden (vgl. ebd.: 15). Bei Verallgemeinerung dieser Zahlen, folgt daraus ein jährliches Gründachpotenzial von Neubauten von etwa 90 %.

Die ungenutzte, für Dachbegrünungen geeignete, Gesamtdachfläche von ca. 69 Mio m² deutet ein großes Potenzial zukünftiger Dachbegrünungen an. Dennoch ist die Zahl der bisher analysierten Städte und den damit einhergehenden Dachflächen im Verhältnis zu der Gesamtzahl sehr gering, sodass anhand der ausgewerteten Daten nicht pauschal auf ganz Deutschland geschlossen werden kann. Stadtbilder und damit vorhandene Dachflächen können sich, aufgrund geographisch veränderlichen historischen Entwicklungen, wie der unterschiedlich starken Ausprägung von Epochen oder Kriegseinflüssen, unterscheiden. Hinzu kommen unter Denkmalschutz stehende Gebäude, die nicht begrünt werden dürfen und deren Anzahl in Städten stark variieren kann. Daher können auf Grundlage der vorhandenen Bestandsanalysen noch keine zuverlässigen Aussagen über die potenziell begrünbare Gesamtdachfläche im Bestand in Deutschland getroffen werden.

Bestand nutzbarer Fassadenflächen

Die Analyse des Bestands nutzbarer Flächen für Fassadenbegrünungen gestaltet sich schwieriger als bei Dachbegrünungen, da eine Erfassung von Fassadenflächen nicht mit Luftbildern realisiert werden kann. Stattdessen muss eine dreidimensionale (3D) Betrachtung der Region Aufschluss über Anzahl, Höhe und bestenfalls Aussparungen der Fassaden geben. Mittlerweile werden vermehrt 3D-Gebäudemodelle in LoD1 bzw. LoD2⁵ dargestellt. Diese Arten der Modellierung ermöglichen es Stadtpläne nicht länger nur aus der 2D-Perspektive zu betrachten, sondern stellen Stadtbilder in 3D dar. Dadurch lassen sich zum einen Bautypen und deren Funktionen unterscheiden und zum anderen Fassadenflächen aller Gebäude darstellen (vgl. Meinel et al. 2018: 135). Aussparungen in Form von Fenstern oder Türen sind meist nicht vorhanden. Dennoch bieten solche 3D-Modellierungen die Chance eine oberflächliche Flächenpotenzialermittlung von Fassadenbegrünungen durchzuführen.

Die Erstellung entsprechender 3D-Modellierungen ganzer Städte und Regionen basiert auf Liegenschaftskatastern, die mit digitalen Geländemodellen bzw. 3D-Messdaten zur Ermittlung der Gebäudehöhen, verknüpft werden. Aufgrund der Lagegenauigkeit der Katasterpläne verfügen entsprechende Modelle über eine hohe Qualität (vgl. ebd.).

Da derzeit keine Verzeichnisse existieren die den Flächenbestand in Deutschland exakt darstellen wird für die Ermittlung der potenziell begrünbaren Fassadenfläche an dieser Stelle eine Analysen zur Erfassung des Potenzials von PV-Anlagen an Fassaden herangezogen, da diese ähnliche Anforderungen an die zu nutzenden Flächen stellen wie Fassadenbegrünungssysteme. Bspw. bieten sich für PV-Elemente ebenfalls primär große Fassaden ohne viele Aussparungen an.

Die Potenzialanalysen für PV-Anlagen von Meinel et al. (ebd.) basieren auf einer Auswertung von städtischen 3D-Modellen, die ca. 53 Mio Gebäude umfassen (vgl. ebd.). Demnach kann die ungenutzte Fassadenfläche im Bestand, die für entsprechende Elemente und somit auch für Fassadenbegrünungen geeignet ist, auf etwa 12.416 Mio m² in Deutschland geschätzt werden (ebd.: 138).

Zu dem Potenzial von Fassadenbegrünungen an Neubauten lassen sich hingegen, aufgrund der individuellen Gestaltung mit Aussparungen, schlecht eindeutige Aussagen treffen. Bei Berücksichtigung von Fassadenbegrünungen in der Planungsphase können tendenziell an allen neu erbauten Wänden Begrünungen realisiert und fachmännisch ausgeführt werden.

⁵LoD steht für Level of Detail und beschreibt die Darstellungsform virtueller Visualisierungen. In LoD1 werden Gebäude als Blöcke, also mit Flachdächern, dargestellt, während in LoD2 Gebäude mit standardisierten Dachformen verzeichnet sind (vgl. Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen 2020: o. S.).

6.2 Potenzial von Begrünungen in Hinblick auf unterschiedliche Gebäudenutzungen

Je nach Gebäudeart und -nutzung lassen sich präferierte Fassaden- und Dachgestaltungen vermuten. Diese werden nachfolgend in Bezug auf den vorhandenen Gebäudebestand einzelner Nutzungsklassen eingeordnet und anschließend anhand ihres Potenzials bewertet. Zunächst werden Dach- und im Anschluss Fassadenbegrünungen betrachtet.

Der Gebäudebestand in Deutschland beträgt in etwa 21,7 Mio Gebäude (vgl. Westermann et al. 2019: 6), wovon 15.748.630 Ein- und Zweifamilienhäuser, 3.199.351 Mehrfamilienhäuser, 2.700.000 Nicht-Wohngebäude sind (vgl. ebd.: 10).

Ein- und Zweifamilienhäuser stellen mit über 15,5 Mio. Gebäuden in Deutschland zwar den größten Sektor dar, weisen aber im Vergleich zu anderen Gebäudenutzungstypen i. d. R. die kleinsten Dachflächen auf. Begrünungen auf Dächern von freistehenden Einfamilienhäusern sind den Analysen in der Stadt Berlin von DD-Berlin (2016) zufolge mit knapp 1 % sehr gering. Dies lässt vermuten, dass bei Gebäuden dieser Nutzung wenig Flachdächer eingesetzt werden (vgl. ebd.: 37) und eine Steildachbegrünung im Verhältnis zu der Dachfläche einen zu hohen Kostenaufwand bedeuten würde. Daher wird das Potenzial von Dachbegrünungen auf Ein- und Zweifamilienhäusern als gering eingeschätzt.

Der Gebäudebestand von Mehrfamilienhäusern beträgt in Deutschland knapp 3,2 Mio und ist vor allem in urbanen Regionen ausgeprägt. Gebäude dieser Art weisen jedoch je nach Erbauungszeit der Gebäude vermehrt Schräg- bzw. Steildächer auf, weshalb sie für die meisten Dachbegrünungssysteme nur bedingt geeignet sind. Dies trifft aber bei weitem nicht auf alle Mehrfamilienhäuser zu. Das Potenzial von Dachbegrünungen auf Gebäuden dieser Nutzung wird als mittel bis hoch eingeschätzt.

Sowohl den Auswertungen des Gebäudebestands in Berlin als auch in Würzburg zufolge weisen vor allem Dächer von Gebäuden der gewerblichen und wirtschaftlichen Nutzung sowie Dächer von Bildungs- und Forschungseinrichtungen ein sehr großes Flächenpotenzial für zukünftige Begrünungsmaßnahmen auf. Bei Gebäuden dieser Nutzungen handelt es sich meist um großflächige Bauwerke, bei denen vermehrt Flachdächer angewandt werden (vgl. Pätzold 2019: 117f; DD-Berlin 2016: 36).

Obwohl Nicht-Wohngebäude, darunter Gewerbe-, Wirtschafts-, Bildungs- und Forschungseinrichtungen, zahlenmäßig den kleinsten Sektor darstellen, kann hier mit den flächenmäßig größten Flachdächern gerechnet werden. Demnach besteht für diese Gebäudenutzungen ein erhöhtes Potenzial hinsichtlich der Realisierung von Dachbegrünung.

Die Auswertungen von Meinel et al. (2018), auf Basis von 3D-Modellen, ergaben über die

Erfassung der Fassadenfläche hinaus eine theoretische Verteilung dieser nach Gebäudenutzungen. Demnach konnten der Kategorie *Gewerbe und Industrie* 22,23 % dieser Fassadenfläche zugesprochen werden (vgl. Meinel et al. 2018: 140). Hochgerechnet auf die geschätzte Gesamtfassadenfläche in Deutschland von etwa 5.170 Mio m² (vgl. Asam 2017: 6) ist für diese Gebäudenutzung eine Fassadenfläche von etwa 1.149,3 Mio m² anzunehmen. Bei diesem Wert handelt es sich lediglich um eine Schätzung. Es wurden weder bereits begrünte Fassadenflächen, noch ungeeignete Fassaden, bspw. aufgrund statischer Anforderungen, beachtet. Dennoch kann Gebäuden dieser Nutzung ein hohes Potenzial für Fassadenbegrünungen zugesprochen werden, da die Fassaden häufig ohne viele Aussparungen gestaltet werden und Begrünungen daher mit verhältnismäßig geringeren Kosten-, Material- und Zeitaufwand realisiert werden können.

Mit einem Fassadenflächenanteil von 60,06 % weisen Wohngebäude nach Meinel et al. (2018) auf den ersten Blick das größte Potenzial zukünftiger Fassadenbegrünungen auf (vgl. ebd.: 140). Die Fassaden von Wohngebäuden sind allerdings von einer hohen Anzahl an Fenstern geprägt, weshalb sie für Begrünungen im großen Maßstab, wie flächige Begrünungen mit Geovliesen, nur bedingt geeignet sind. Auch die Realisierung linearer und modularer Begrünungen könnte sich unter Umständen als zu aufwendig gestalten, wenn zwischen den Aussparungen einzelne Trägerkonstruktionen erforderlich sind. Gelungene Beispiele zeigen jedoch, dass neben bodengebundenen Fassadenbegrünungen mit Selbstklimmern und Gerüstkletterpflanzen auch Begrünungen mit Modulsystemen an Wohngebäuden realisierbar sind. Abhängig vom Fassadenbegrünungssystem wird das Begrünungspotenzial für Gebäude mit Wohnnutzung als mittel bis hoch eingestuft.

Generell lässt sich sagen, dass Gebäuden der gewerblichen und industriellen Nutzung, sowohl für Dach-, als auch für Fassadenbegrünungen, das größte Begrünungspotenzial zuzuschreiben ist. Doch auch Gebäude der Wohnnutzung weisen ein bedeutendes Potenzial für Begrünungen auf. Es sei darauf hingewiesen, dass Einzelprüfungen der Dach- bzw. Fassadeneignung dennoch durchzuführen sind. Denn im Rahmen von Potenzialanalysen können bspw. weder die statischen Gegebenheiten, noch der jeweilige Bauteilaufbau und dessen Eignung überprüft werden.

6.3 Kosten-Nutzen-Potenzial von Gebäudebegrünungen

Die Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen für Gebäudebegrünungen – ob allgemein oder spezifisch für bestimmte Begrünungssysteme – ist hinsichtlich einer Abschätzung

der Wirtschaftlichkeit sinnvoll und notwendig. Dabei sollten möglichst alle Faktoren berücksichtigt werden, die einen Einfluss auf die Kosten oder den Nutzen haben. Während Investitions-, Wartungs- und Pflegekosten ohne erhebliche Schwierigkeiten aufgeführt werden können, stoßen umfangreiche Betrachtungen des Nutzens schnell auf Hindernisse, denn nicht alle in Betracht zu ziehenden Aspekte sind in € oder €/m² zu messen. So sollten neben Klimatisierungs- und Heizkosteneinsparungen auch die Ästhetik des Gebäudes, das Wohlbefinden des Menschen oder die erhöhte Biodiversität in vollständigen Analysen bewertet werden. Allerdings setzen Betrachtungen von entsprechenden Aspekten meist subjektive Einschätzungen voraus, wodurch eine sachliche Bewertung des Kosten-Nutzen-Potenzials nicht möglich ist. Im Folgenden wird zunächst auf eine Analyse des Kosten-Nutzen-Potenzials von Dachbegrünungen eingegangen, die auf den messbaren Aspekten des Nutzens beruht. Im Anschluss erfolgt exemplarisch die Betrachtung einer umfangreichen Kosten-Nutzen-Analyse von Fassadenbegrünungen.

Aus wirtschaftlicher Sicht erscheinen Dachbegrünungen zunächst nachteilig, da sowohl die Material-, als auch die Bau- und Pflegekosten höher sind als bei unbegrüntem Dach. Der entscheidende Vorteil begrünter Dächer hängt jedoch mit dem bestehenden Oberflächenschutz durch Begrünungsaufbauten und der daraus resultierenden Langlebigkeit der Dächer von etwa 30 bis 40 Jahren zusammen (vgl. BuGG 2020a: 3, BUE 2017: 16).

Im Rahmen der bereits erwähnten *Hamburger Gründachstrategie* wurde von BUE (ebd.) das Kosten-Nutzen-Potenzial einer Extensivbegrünung berechnet. Dabei wurden ein Gründach und ein *Schwarzdach* mit einer Abdichtung oberhalb der Dämmung mit leichter Schutzschicht ausgestattet ist, betrachtet. Dabei zeigt der Vergleich, dass die Investitionskosten von Gründächern mit 65.000 € gegenüber denen von Schwarzdächern in Höhe von 24.000 € deutlich höher sind. Allerdings fallen in dieser Betrachtung nach ca. 20 Jahren Sanierungskosten von 43.347 € für die Flachdachabdichtung an (vgl. BBSR 2017: 14). Die laufenden Kosten setzen sich in dieser Berechnung aus der Unterhaltungspflege und der Niederschlagswassergebühr zusammen. Während die Unterhaltungspflege von Gründächern mehr als doppelt so teuer ist, wie die von Schwarzdächern, reduziert sich die Niederschlagswassergebühr bei Gründächern um etwa die Hälfte, sodass die Kosten von Gründächern über einen Zeitraum von 40 Jahren im Vergleich etwas niedriger sind (vgl. BUE 2017: 17). In dieser Kosten-Nutzen-Betrachtung sind weder finanzielle Förderungen auf kommunaler Ebene, noch potenzielle Klimatisierungs- und Heizkostensparnisse berücksichtigt.

Die hier grob skizzierte Kosten-Nutzen-Analyse weist, trotz der möglichen Varianz einiger angenommenen Werte, das Potenzial von extensiven Dachbegrünungen auf. Bei intensiven

Dachbegrünungen hingegen ist, wie in Kapitel 3.2 bereits dargestellt, mit höheren Investitionskosten zu rechnen, sodass Begrünungen dieser Art in einer entsprechenden Analyse schlechter abschneiden könnten. Allerdings muss auch darauf hingewiesen werden, dass weitaus mehr Parameter in Betracht gezogen werden können. Mit Einbindungen von Aspekten, wie der Biodiversitätserhöhung, des Erholungswertes für den Menschen oder der Lärm- und Schadstoffminimierung durch die Vegetation, kann eine zutreffendere Analyse des Kosten-Nutzen-Potenzials von Gebäudebegrünungen durchgeführt werden. Mit der von Hollands; Korjenic (2019) durchgeführten Kosten-Nutzen-Analyse von Fassadenbegrünungen, wurden drei verschiedene Begrünungssysteme anhand einer Vielzahl von Kriterien, darunter Energieeinsparungen in Heiz- und Kühlperioden, Langlebigkeit und Ästhetik des Gebäudes, Lärminderung, Schadstoffreduktion, menschliches Wohlbefinden, städtische Hitzeinseln, erhöhte Biodiversität und Regenwasserrückhalt, betrachtet und der jeweilige finanzielle Nutzen ermittelt (vgl. ebd.: 41). Auf alle Aspekte dieser Analyse wurde die Bezugsgröße €/m² angewendet. Die Betrachtung erfolgte über 25 Jahre.

Die Analysen der drei untersuchten Begrünungssysteme (bodengebundene Begrünung, modulare Begrünung und flächige Begrünung) zeigen, dass die Gesamtkosten den errechneten Nutzen in allen Fällen übersteigen. Die Gesamtbetrachtung ergab für bodengebundene Begrünungen Kosten von 800,61 €/m², für modulare Begrünungen Kosten von 2.605,83 €/m² und für flächige Begrünungen Kosten in Höhe von 133.344,90 €/m² (vgl. ebd.: 48 - 51).

Wie zuvor bereits erläutert handelt es sich bei der vorgestellten Analyse um einen Bewertungsansatz, der nicht auf Vollständigkeit beruht und eine teils subjektive Einschätzung des Nutzens darstellt. Darüber hinaus können sorgfältig eingesetzte Gebäudebegrünungen, durch Einsparungen von Klimatisierungs- und Heizkosten sowie Reduktionen der Abwassergebühren, zu Kosteneinsparungen der Anwohner führen.

Werden Gebäudebegrünungen bereits bei der Planung von Neubauten bedacht, können die Kosten von Begrünungsvorhaben minimal gehalten werden, da sich evtl. erforderliche Nachrüstungen, wie z. B. Erneuerungen von Dachabdichtungen oder der Einbau von Verankerungselementen für Fassadenbegrünungen, erübrigen.

Gesamtheitlich betrachtend lässt sich sagen, dass Dachbegrünungen im Vergleich zu den bestehenden Kosten einen höheren Nutzen haben als Fassadenbegrünungen. Für umfangreichere Betrachtungen und Analysen müssen jedoch eine Vielzahl an messbaren und abzuschätzenden Faktoren einbezogen und je nach Begrünungsziel evtl. auch unterschiedlich gewichtet werden. Wird ein Dach bspw. allein zu dem Zweck der Biodiversitätserhöhung begrünt, rechnen sich die Kosten, sobald das entsprechende Ziel erreicht ist.

7 Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, allgemeine Potenziale von Gebäudebegrünungen in Deutschland herauszuarbeiten, um auf dieser Grundlage die Anwendbarkeit von Dach- und Fassadenbegrünungen im Rahmen einer nachhaltigeren Bauwirtschaft zu beleuchten. Dazu erfolgte eine Verknüpfung der Erkenntnisse einer umfangreichen Literaturrecherche mit den Erfahrungswerten von ausführenden und planenden Unternehmen. Die Ausarbeitung umfasst neben der Betrachtung von Anwendungs-, Leistungs- und Flächenpotenzialen auch Kosten-Nutzen-Potenziale von Gebäudebegrünungen.

7.1 Fazit

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass in Deutschland bereits eine breite Auswahl an verschiedenen Dach- und Fassadenbegrünungssystemen verfügbar sind. Die vorgestellten Systeme variieren dabei je nach Hersteller und unterscheiden sich übergeordnet nicht nur in ihren Konstruktionsvarianten, sondern auch hinsichtlich ihrer Kompatibilität mit den zu begrünenden Bauteilen, den unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten sowie den Leistungen und Kosten. Geplante Begrünungen können durch die Wahl geeigneter Begrünungssysteme den projektspezifischen Anforderungen entsprechend gestaltet werden.

Im Zuge der Realisierung von Dach- und Fassadenbegrünungen sind sowohl die Überprüfung des Traglastvermögens, als auch der Kompatibilität des zu begrünenden Bauteils mit dem Begrünungssystem erforderlich. Während die Integration von Dach- oder Fassadenbegrünungskonzepten in Planungsprozessen von Neubauvorhaben meist ohne Schwierigkeiten realisiert werden können, bedarf die nachträgliche Begrünung von Bestandsgebäuden einer genauen Analyse des zu begrünenden Bauteils. Grundsätzlich gilt jedoch, dass sich Begrünungen an nahezu allen Bauteilaufbauten umsetzen lassen. Auch zeigt die vorliegende Arbeit, dass die mit Begrünungen assoziierten Nachteile, wie z. B. der Gefahr von Bauschäden durch Pflanzenwuchs, durch eine sorgfältige Planung meist entkräftet werden können.

Doch nicht nur die einzelnen Begrünungssysteme weisen eine große Varianz auf. Auch die Anwendungen von Gebäudebegrünungen – ob als Dachgärten, ökologische Ausgleichsflächen oder Verschattungselemente – können, in Abhängigkeit von den verwendeten Systemen, vielfältig gestaltet werden.

Aus der Darlegung der Auswirkungen von Gebäudebegrünungen und der Betrachtung der Leistungspotenziale einzelner Begrünungssysteme ergibt sich, dass sowohl Dach-, als auch Fassadenbegrünungen nachweislich ökologische, energetische und ökonomische Vorteile aufweisen. Besonders im urbanen Raum können Begrünungen durch Rückhaltung von Regenwasser, durch Bindung von Schadstoffpartikeln sowie durch Senkung von Umgebungstemperaturen infolge Evapotranspirationsprozesse den Wasser-, Luft- und Hitzebelastungen effektiv entgegenwirken. Dabei variieren die betrachteten Leistungspotenziale aufgrund der unterschiedlichen Konstruktionsweisen und der variablen Vegetationswahl je nach Begrünungssystem und können somit nicht verallgemeinert bzw. gesamtheitlich quantifiziert werden. Auch erschwert ein Mangel an computerbasierten Berechnungsverfahren, z. B. Verfahren zur Ermittlung von Wärmedämmeigenschaften der Pflanzen, die Entwicklung einheitlicher Richtlinien, die eine Anwendung ggf. einfacher gestalten würden.

Vorhandene Flächenpotenziale von Gebäudebegrünungen wurden im Zuge der Ausarbeitung mit Hilfe von Studien und Umfragen zum Bestand begrünter Dach- und Fassadenflächen ermittelt. Die Ergebnisse weisen in allein 15 betrachteten Städten eine noch zu begrünende Dachfläche von knapp 119 Mio m² auf. Zusätzlich dazu werden jährlich mit ca. 7 Mio m² lediglich 9 % der neu entstehenden Flachdachfläche in Deutschland begrünt. Auch zukünftige Fassadenbegrünungen könnten auf einer Fläche von etwa 12 Mrd m² realisiert werden. Daraus lässt sich ein enormes ungenutztes Potenzial für Dach- und Fassadenbegrünungen ableiten.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass sich Analysen zu Kosten-Nutzen-Potenzialen von Gebäudebegrünungen als schwierig gestalten, da umfangreiche Betrachtungen entsprechender Möglichkeiten neben messbaren Kriterien auch subjektiv einzuschätzende Aspekte beinhalten. In diesem Zusammenhang ergab die Korrespondenz mit Unternehmen, dass in der Praxis besonders extensive Dachbegrünungen und bodengebundene Fassadenbegrünungssysteme die größte Nachfrage erfahren. Da es sich bei diesen Begrünungssystemen um die verhältnismäßig günstigsten Varianten handelt, ist anzunehmen, dass ein Kosten-Nutzen-Potenzial entsprechender Begrünungen als hoch wahrgenommen wird.

Aus der in dieser Arbeit dargestellten Kosten-Nutzen-Analyse ergibt sich außerdem, dass insbesondere wandgebundene Fassadenbegrünungssysteme einen hohen Kostenaufwand bedeuten. Dies mag Grund dafür sein, dass zum jetzigen Stand in Deutschland mit 100 bis 120 Mio m² weitaus mehr Dachfläche, als Fassadenfläche begrünt ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Gebäudebegrünungen insbesondere hinsichtlich ihrer Leistungen und Anwendungsmöglichkeiten ein großes Potenzial für eine nachhaltige und ressourcenschonende Gebäudegestaltung aufweisen. Darüber hinaus ergibt sich

hinsichtlich unbegrünter Dach- und Fassadenflächen ein enormes Potenzial für zukünftige Begrünungen. Eine Ausnutzung dessen ist allerdings nur realitätsnah, wenn die Kosten in einem angemessenen Verhältnis zum Nutzen stehen.

Der Stand der Forschung zu Dach- und Fassadenbegrünungen ist beachtlich. Die Literaturrecherche zeigt, dass in Bezug auf die Leistungspotenziale bereits zu der Mehrheit der Begrünungssysteme Messungen und Forschungsarbeiten existieren. Jedoch fehlen bisher umfangreiche Potenzialanalysen von Gebäudebegrünungen, die über spezifische Bereiche, wie Leistung oder Kosten, hinausgehen und vorhandene Begrünungssysteme in ihrem Gesamtpotenzial betrachten. Solche Analysen dienen insbesondere der Einschätzung der zukünftigen Anwendung von Gebäudebegrünungen, welche im Zuge eines steigenden Umweltbewusstseins immer mehr an Bedeutung gewinnen. Die vorliegende Arbeit stellt eine solche qualitative Betrachtung von Gebäudebegrünungen dar. Darüber hinaus bietet diese Ausarbeitung eine Übersicht über Ausführungs- und Anwendungsmöglichkeiten von Gebäudebegrünungen und trägt somit zur bislang unzureichenden Aufklärung ihrer Leistungen und Anwendbarkeit bei.

7.2 Ausblick

Aus Kapazitätsgründen konnte in dieser Arbeit nicht auf die Nachhaltigkeit von Begrünungssystemen eingegangen werden. Analysen zu diesem Themenbereich sind jedoch im Zusammenhang mit der Betrachtung umweltschonender Bauweisen essenziell. Obwohl Dach- und Fassadenbegrünungen viele ökologische Vorteile bieten, sollte weitere Forschung zu Life Cycle-Analysen und dem Energiebedarf von Gebäudebegrünungssystemen durchgeführt werden.

Des Weiteren konnten in der vorliegenden Arbeit lediglich Annahmen zum Flächenpotenzial von Gebäudebegrünungen in Deutschland getroffen werden, da Bestandsaufnahmen von Dach- und vor allem von Fassadenflächen bisher weitgehend fehlen. In Hinblick auf Potenzialanalysen zu nutzbaren Gebäudeflächen bedarf es deshalb einer einheitlichen bundesweiten Katalogisierung. Dabei ist insbesondere die Berücksichtigung von Dachneigungen erforderlich, um Aussagen über die Art der möglichen Begrünungssysteme und damit auch Kostenansätze treffen zu können.

Für eine optimierte Nutzung von Gebäudebegrünungen könnten in zukünftigen Forschungsarbeiten insbesondere Synergieeffekte von Kombinationen unterschiedlicher Eigenschaften erforscht und untersucht werden.

Zusätzlich zu den genannten Aspekten gibt es auch bezüglich des Brandverhaltens von Gebäudebegrünungen weiteren Forschungsbedarf. Obwohl die Brennbarkeit von Begrünungssystemen aufgrund der unterschiedlichen Vegetation oft nicht verallgemeinert werden kann, würden einheitliche Prüfverfahren und Richtlinien nicht nur zu einer erhöhten Sicherheit beitragen, sondern darüber hinaus die Bewertung des Brandschutzes vereinfachen.

Trotz bestehender Forschungslücken und Schwierigkeiten hinsichtlich einheitlicher Betrachtungen von Begrünungssystemen, müssen Gebäudebegrünungen zukünftig besonders in Planungen urbaner Lebensräume Bestandteil sein. Dies ist notwendig, um die Herausforderungen der Wasser-, Luft- und Hitzebelastungen bewältigen und den Erhalt der Lebensqualität gewährleisten zu können.

Literaturverzeichnis

Albert, Andrej; Schneider, Klaus-Jürgen, Hrsg. (2018).

Bautabellen für Ingenieure: Mit Berechnungshinweisen und Beispielen.

23., überarbeitete Auflage. Köln: Bundesanzeiger. ISBN: 9783846208809.

Ansel, Wolfgang, Hrsg. (2016).

Kommunale Gründach-Strategien: Inventarisierung, Potenzialanalyse, Praxisbeispiele.

1. Deutscher Dachgärtner Verband e. V. (DDV). ISBN: 9783981418422.

Artificial Ecosystems, Hrsg. (2020). *We green the world.*

URL: <https://www.artificial-ecosystems.com/> (besucht am 21.01.2021).

Asam, Claus (2017). *Dämmmaßnahmen an Gebäudefassaden.*

Hrsg. von Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn.

URL: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2017/ak-11-2017-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

Bauformel, Hrsg. (2021a). *Abflussbeiwert.*

URL: <https://www.bauformeln.de/wasserbau/hydrologie/abflussbeiwert/> (besucht am 25.02.2021).

Bauformel, Hrsg. (2021b). *Abflussbeiwert.*

URL: <https://www.bauformeln.de/wasserbau/hydrologie/abflussbeiwert/> (besucht am 15.01.2021).

BauNetz, Hrsg. (2021a). *Metalldächer mit Begrünung.* URL: <https://www.baunetzwissen.de/flachdach/fachwissen/gruendaecher/metalldaecher-mit-begrueung-192166>

(besucht am 15.01.2021).

BauNetz, Hrsg. (2021b). *Wärmeübergangswiderstand.*

URL: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/w/waermeuebergangswiderstand-1324889> (besucht am 19.01.2021).

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Hrsg. (2019).

"Urban Gardening" mit Dach- und Fassadenbegrünungen: Nahrungsmittelproduktion auf überbauten Flächen im Siedlungsbereich. URL: https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/landespflge/dateien/2019_urbangardening_endbericht-imperia.pdf.

BBSR, Hrsg. (2017). *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB).* URL:

https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Nutzungsdauer_Bauteile/BNB_Nutzungsdauern_von_Bauteilen_2017-02-24.pdf (besucht am 23.03.2021).

Behnert, Patrick (2021).

Gebäudebegrünungen von Helmut Haas GmbH: schriftlich, siehe Anhang 3.

Blanc, Patrick, Hrsg. (2021). *Vertical Garden Patrick Blanc.*

URL: <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/> (besucht am 20.01.2021).

BMU (2020). *Grüne Dächer für mehr Insektenvielfalt: Neues Projekt "DaLLi" für naturschutzfachlich hochwertige Dachbegrünungen im urbanen Raum.*

URL: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/gruene-daecher-fuer-mehr-insektenvielfalt-1/>.

BREEAM (2020). *BREEAM: the world's leading sustainability assessment method for masterplanning projects, infrastructure and buildings - BREEAM.*

URL: <https://www.breeam.com/> (besucht am 25.01.2021).

BUE (2015). *Auf die Dächer - Fertig - Grün! Hamburger Gründachförderung.*

Hrsg. von Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie. Hamburg.

URL: <https://www.vertiko.de/wp-content/uploads/Geb%C3%A4udeGr%C3%BCn-4-2018-Beitrag-Vertiko.pdf>.

BUE (2017). *Hamburgs Gründächer: Eine ökonomische Bewertung.*

Hrsg. von Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie. Hamburg.

URL: <https://www.hamburg.de/contentblob/9784460/03dd8c1261391a8f75bc301431ca2a/data/d-eine-oeconomische-berwertung.pdf>.

BuGG, Hrsg. (2020a).

Grüne Innovation Dachbegrünung: Wirkungen Grundlagenwissen Praxisbeispiele.

URL: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Dachbegruenung/Dachbegruenung_Gruene_Innovation_09-2020.pdf.

BuGG, Hrsg. (2020b). *Grüne Innovation Fassadenbegrünung: Positive Wirkungen Grundlagenwissen Praxisbeispiele.* URL: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Fassadenbegruenung/Innovation_Fassadenbegruenung_2020_09_30_kl.pdf.

URL: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Fassadenbegruenung/Innovation_Fassadenbegruenung_2020_09_30_kl.pdf.

BuGG, Hrsg. (2021). *Über den BuGG - Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG.*

URL: <https://www.gebaeudegruen.info/> (besucht am 19.02.2021).

DD-Berlin, Hrsg. (2016).

Erhebung und Aufbereitung von Informationen zum Gründachbestand in Berlin. Berlin.

URL: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/download/AB_Gruendaecher_2016.pdf.

Der Standard, Hrsg. (2020).

Chinesische "Waldstadt" mit akutem Bewohnermangel: Es Grün't Zu Grün.

URL: <https://www.derstandard.de/story/2000120079753/chinesische-waldstadt-mit-akutem-bewohnermangel> (besucht am 17.12.2020).

DGNB e. V., Hrsg. (2021). *Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.*

URL: <https://www.dgnb.de/de/> (besucht am 25.01.2021).

Die Bundesregierung, Hrsg. (2016). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie.* Berlin.

URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/die-deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-318846>.

ecosedumpack (2021). *Das System.*

URL: <https://www.ecosedumpack.de/index.php/system> (besucht am 14.01.2021).

Engel, Thomas; Noder, Julia (2020).

„Begrünte Fassaden aus brandschutztechnischer Sicht“.

In: *Bautechnik* 97.8, S. 549–557. ISSN: 0932-8351. DOI: 10.1002/bate.202000041.

Fürst, Tobias (2020). *Hydro Profi Line - Gebäudebegrünungssysteme: siehe Anhang 2.*

GaLaBau, Beschaffungsdienst, Hrsg. (2017).

LAO Leben am Ostpark. Architektur und Dachbegrünung. URL: <https://www.sollgalabau.de/aktuelle-news/ansicht-aktuelles/datum/2017/09/27/lao-leben-am-ostpark-architektur-und-dachbegruenung.html> (besucht am 05.01.2021).

GGBA e.V. (2020). *LEED | German Green Building Association e.V.*

URL: <https://www.german-gba.org/leed/> (besucht am 25.01.2021).

GKR Germany (2020).

Das Hydro Profi Line Begrünungssystem - Hydro Profi Line Pflanzsysteme.

URL: <https://www.hydro-profi-line.com/begrueenungssysteme/> (besucht am 15.01.2021).

Gorbachevskaya, Olga; Herfort, Susanne (2012).

Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen.

Hrsg. von Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte.

URL: https://uploads-ssl.webflow.com/5b6c9d193d9b84072f6f9cd0/5c740a742d05ce5a289af235_feinstaub-2012.pdf.

Grant, Gary, Hrsg. (2006). *Green roofs and façades.* Bracknell: IHS BRE Press.

ISBN: 1-86081-940-0.

Hillen, Judith (2020).

Artificial Ecosystems - „Wir wollen Gebäude auf ganz neue Weise naturnah gestalten“.

- Hrsg. von 5HT. URL: <https://www.5-ht.com/2020/09/11/wir-wollen-gebäude-auf-ganz-neue-weise-naturnah-gestalten/> (besucht am 26.02.2021).
- Hollands, Jutta; Korjenic, Azra (2019).
„Ansätze zur ökonomischen Bewertung vertikaler Begrünungssysteme“.
In: *Bauphysik* 41.1, S. 38–54. ISSN: 0171-5445. DOI: 10.1002/bapi.201800033.
URL: https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_279980.pdf.
- Infineon Technologies AG, Hrsg. (2019).
Smart City & Urbanisierung: Was ist das? - Infineon Technologies.
URL: <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/urbanisierung/> (besucht am 05.01.2021).
- insectrespect (2021). *Respekt*.
URL: <https://insect-respect.org/respekt/#ausgleichsflaechen> (besucht am 11.01.2021).
- Köhler, Manfred (2012).
Handbuch Bauwerksbegrünung: Planung - Konstruktion - Ausführung.
Köln: Rudolf Müller. ISBN: 978-3-481-02968-5.
- Köhler, Manfred; Nistor, Cristian Rares (2018). *Wandgebundene Begrünungen: Quantifizierungen einer neuen Bauweise in der Klima-Architektur*. Bd. 2015,01.
FLL-Schriftenreihe Forschungsvorhaben.
Bonn: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau FLL.
ISBN: 9783738800593. URL: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/15039013815.pdf>.
- Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, Hrsg. (2020).
3D-Gebäudemodelle (LoD1 und LoD2).
URL: https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/3d_geobasisdaten/3d_gebaudemodelle/3d-gebäudemodelle-142891.html (besucht am 23.01.2021).
- Lingen, Kilian (2021). *Fassadenbegrünungen von Vertiko GmbH: Siehe Anhang 1*.
- Linke, Tony (2017).
„Gebäudebegrünung als Lärmschutzmaßnahme im innerstädtischen Raum: Welchen Beitrag können Dach- und Fassadenbegrünungen zum Lärmschutz leisten?“
Masterthesis. Hamburg: HafenCity Universität Hamburg.
URL: https://repos.hcu-hamburg.de/bitstream/hcu/145/1/Linke_Tony_MAS.pdf.
- Lösken, Gilbert (2018). *Dachbegrünungsrichtlinien: Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen*.

- Hrsg. von Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.
URL: <https://shop.fll.de/de/bauwerksbegruenung.html>.
- Mahabadi, Mehdi; Althaus, Christoph (2018). *Fassadenbegrünungsrichtlinien: Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- und Fassadenbegrünungen*.
Hrsg. von Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.
URL: <https://shop.fll.de/de/bauwerksbegruenung.html>.
- Mann, Gunter; Gohlke, Rebecca; Wolff, Fiona (2020). *BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2020: Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung Deutschland*.
Hrsg. von Bundesverband GebäudeGrün e. V.
- Meinel, Gotthard; Schumacher, Ulrich; Behnisch, Martin; Krüger, Tobias, Hrsg. (2018). *Flächennutzungsmonitoring X: Flächenpolitik - Flächenmanagement - Indikatoren*.
Bd. Band 76. IÖR Schriften. Berlin: Rhombos-Verlag. ISBN: 9783944101767.
URL: <https://slub.qucosa.de/api/qucosa%3A35827/attachment/ATT-0/>.
- Neumair, Simon-Martin (2018). „Definition: geografisches Informationssystem (GIS)“.
In: *Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH*.
URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/geografisches-informationssystem-gis-36424> (besucht am 27.02.2021).
- Optigrün, Hrsg. (2021).
Gründach-Systeme & Regenwassermanagement | Optigrün Dachbegrünungen.
URL: <https://www.optigruen.de/> (besucht am 15.01.2021).
- Pätzold, Simon (2019). „Dachbegrünung in Würzburg: GIS-basierte Potentialanalyse als Planungsgrundlage im städtischen Begrünungsinstrumentarium“.
Masterthesis. Würzburg: Julius-Maximilians-Universität Würzburg.
- Paull, Naomi J.; Krix, Daniel; Torpy, Fraser R.; Irga, Peter J. (2020). „Can Green Walls Reduce Outdoor Ambient Particulate Matter, Noise Pollution and Temperature?“
In: *International journal of environmental research and public health* 17.14, S. 1–19.
DOI: 10.3390/ijerph17145084.
- Pfoser, Nicole (2016). „Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung“.
Dissertation. Technische Universität Darmstadt.
- Pfoser, Nicole; Jenner, Nathalie; Henrich, Johanna; Heusinger, Jannik; Weber, Stephan (2013). *Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen*.
URL: <https://www.irbnet.de/daten/rswb/13109006683.pdf>.
- Qin, Hongqiao; Hong, Bo; Jiang, Runsheng (2018).
„Are Green Walls Better Options than Green Roofs for Mitigating PM10 Pollution?“

CFD Simulations in Urban Street Canyons“. In: *Sustainability* 10.8, S. 1–21.

DOI: 10.3390/su10082833.

Rein, Stefan, Hrsg. (2016). *Datenbasis zum Gebäudebestand: Zur Notwendigkeit eines besseren Informationsstandes über die Wohn- und Nichtwohngebäude in Deutschland*.

Bd. 2016,9. BBSR-Analysen kompakt. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). ISBN: 978-3-87994-752-2.

Ruhr, Regionalverband (2021). *Regionales Gründachkataster*.

URL: <https://www.rvr.ruhr/themen/oekologie-umwelt/startseite-klima/gruendachkataster/> (besucht am 23.01.2021).

Rutledge, Kim; Ramroop, Tara; Boudreau, Diane; McDaniel, Melissa; Teng, Santani; Sprout, Erin; Costa, Hilary; Hall, Hilary; Hunt, Jeff (2011). *Urban heat island*.

Hrsg. von National Geographic.

URL: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/urban-heat-island/> (besucht am 09.01.2021).

Spektrum, Hrsg. (2014). *Mäander*.

URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/maeander/4867> (besucht am 05.01.2021).

Spektrum, Hrsg. (2018a). *Hydrokultur*.

URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/hydrokultur/33077> (besucht am 21.02.2021).

Spektrum, Hrsg. (2018b). *Ökologische Nische*.

URL: https://www.optigruen.de/fileadmin/999-archiv/Sonstige_Broschueren/Frauenhofer_IBP_Bericht_HTB_13-2013.pdf (besucht am 14.01.2021).

Spektrum, Hrsg. (2018c). *Phototropismus*.

URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/phototropismus/51386> (besucht am 16.01.2021).

Tudiwer, David; Korjenic, Azra (2017).

„The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade“.

In: *Energy and Buildings* 135, S. 10–19 /1–23. ISSN: 0378-7788.

DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.11.023.

Tudiwer, David; Vertal', Marián; Korjenic, Azra; Čakyová, Katarína (2019).

„Abbildung der wärmedämmenden Wirkung eines fassadengebundenen

- Begrünungssystems in einem Simulationsmodell“. In: *Bauphysik* 41.3, S. 155–161. ISSN: 0171-5445. DOI: 10.1002/bapi.201900009.
- Umberto Berardi; AmirHosein GhaffarianHoseini; Ali GhaffarianHoseini (2014). „State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs“. In: *Applied Energy* 115, S. 411–428. ISSN: 0306-2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.047. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913008775>.
- Umweltbundesamt, Hrsg. (2020). *Feinstaub*. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/feinstaub> (besucht am 16.01.2021).
- UN, Hrsg. (2019). *World Urbanization prospects 2018: Highlights*. New York. URL: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>.
- Vertiko, Hrsg. (2021). *Vertikalbegrünungskonzepte*. URL: <https://www.vertiko.de/> (besucht am 16.01.2021).
- Werner, Dieter; Pommer, Georg; Danzinger, Kurt; Pomper, Stephan (2018). *Studie zum Thema "Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen"*. Hrsg. von Magistratabteilung 39, Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien. Wien.
- Westermann, Robert; Bründlinger, Thomas; Krieger, Oliver; Müller, Carolin (2019). *dena-Gebäudereport Kompakt 2019 "Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand"*. Hrsg. von Deutsche Energie-Agentur GmbH. URL: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publicationen/PDFs/2019/dena-GEBAEUDEREPORT_KOMPAKT_2019.pdf.
- Wißmann, Imke; Middendorf, Vera; Schulz, Matthias; Veser Susanne (2019). „VertiKKA - Multifunktionale Fassadenbegrünungsmodulare für die Städte der Zukunft“. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 12, S. 989–994. URL: https://www.vertikka.de/fileadmin/images/03_Aktuelles/PDF/2019_66_Nr12_Korrespondenz_Abwasser_Abfall__2019_VertiKKA.pdf.
- ZAE Bayern, Hrsg. (2018). *Messungen des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) an Vertiko-Begrünungselementen: Siehe Anhang 4*. Würzburg.
- ZinCo, Hrsg. (2021). *Leben auf dem Dach*. URL: <https://www.zinco.de/> (besucht am 26.02.2021).

Anhang

- | | |
|----------|--|
| Anhang 1 | Transkribiertes Telefongespräch zu Fassadenbegrünungen der Vertiko GmbH |
| Anhang 2 | Transkribiertes Telefongespräch zu hydroponischen Gebäudebegrünungen der GKR Germany |
| Anhang 3 | Email-Verkehr zu Dach- und Fassadenbegrünungen von der Helmut Haas GmbH |
| Anhang 4 | Messungen des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) an Vertiko Begrünungselementen |

Anhang 1: Transkribiertes Telefongespräch zu Fassadenbegrünungen der Vertiko GmbH

Interviewter: Kilian Lingen, Forschungs- und Entwicklungsbereich der Vertiko GmbH

Interviewer: Clea Kummert

Datum: 13.01.2021

Dauer: 50 Minuten

Clea Kummert: Vertiko führt sowohl bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen als auch wandgebundene Fassadenbegrünungen mit einem Living-Wall-System. Welche der Systeme für Fassadenbegrünungen werden am häufigsten verkauft bzw. realisiert?

Kilian Lingen: Wir merken inzwischen merken, dass gerade die Begrünung mit Kletterpflanzen eine immer stärkere Nachfrage erfährt. Das hat vor allem den Hintergrund, dass man dort einen geringeren Materialaufwand und damit verbunden einen geringeren Kostenaufwand hat. In den letzten Jahren tut sich viel was politische Förderungen und Forderungen in verschiedenen Städten in Deutschland angeht. Bei Dachbegrünungen gibt es schon länger Auflagen, zum Beispiel, dass Gebäude einen gewissen Anteil an Dachbegrünungen aufweisen müssen. Dadurch hat sich die Dachbegrünung dann sehr stark entwickelt. Eine ähnliche Richtung schlägt jetzt auch die Fassadenbegrünung ein. Wenn jetzt ein Auftraggeber oder eine Auftraggeberin die Vorgabe hat, dass eine Fassadenbegrünung umgesetzt werden muss, dann sucht der Auftraggeber, die Auftraggeberin erstmal nach einer möglichst kostengünstigen Möglichkeit das umzusetzen. Im Gegensatz dazu, wenn jetzt die Motivation eines Auftraggebers einer Auftraggeberin intrinsisch ist, also Interesse daran besteht das Bauwerk aufwerten zu wollen, dann ist eben auch eine flächige Konstruktion in Form von einer Living Wall interessant. Rein flächenmäßig ist es so, dass eine Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen stark zunimmt.

Die living walls sind viel eindrücklicher, man hat einfach ein ganz anderes architektonisches Element. Kletterpflanzen hingegen kennt man schon von Gebäuden aus dem Stadtbild. Gerade wenn also ein Statement gemacht werden soll an den Objekten, ist eine living wall etwas viel Beliebteres. Rein mengenmäßig wird sich das in den nächsten Jahren, meiner Einschätzung nach, Richtung Kletterpflanzen verschieben. Wobei insgesamt der Trend so ist, dass die Nachfrage nach Fassadenbegrünungen deutlich steigt.

Clea Kummert: Gibt es zu der Einschätzung Zahlenangaben seitens Vertikos?

Kilian Lingen: Von uns aus dem Unternehmen nicht. Das ist jetzt wirklich ein Eindruck, den wir haben. Der BuGG hat dahingehend teilweise Daten. Der könnte dir weiterhelfen, wenn du da einen Eindruck gewinnen willst.

Clea Kummert: Vertikos Begrünungen mit Moosmatten sind für Dächer. Wenn Moose an Fassadenbegrünungen realisiert werden sollen, werden die dann in die living walls integriert?

Kilian Lingen: Ja und nein. Das haben wir eine Zeit lang gemacht, allerdings steckt bei Moosen der Teufel im Detail. Moose haben rein physiologisch, also von ihrer Wuchsstrategie, damit ein Problem, wenn Sie senkrecht sind. Staudenpflanzen, die wir sonst in der living wall verwenden, funktionieren wie ganz normale Pflanzen. Das heißt sie haben ein Wurzelsystem und wurzeln in dieses Systems substrat hinein, wo das Wasser und die Nährstoffe sind. Die wachsen also klassisch wie in einem Garten. Moose sind keine Gefäßpflanzen. Das heißt sie nehmen Wasser und Nährstoffe direkt über die Pflanzstruktur auf. Sie müssen Wasser und Nährstoffe also von oben in den Vegetationskörper hineinbekommen. In der absoluten Senkrechten kriegen die Moose also keinen oder kaum Regen ab. Dies ist auch gut in der Natur zu erkennen. Es gibt bislang keinen Anbieter von Fassadenbegrünungssystemen, die wirklich Fassadenbegrünungen mit Moosen langfristig umsetzen konnten. Ein Startup aus der Uni Kaiserslautern hatte dahingehend einen sehr spannenden Ansatz. Sie haben mit speziellen Betonmischungen gearbeitet, wo es um eine Spontanansiedlung von Moosen ging. Dabei wurden natürliche Strukturen abgebildet, die die Ansiedlung von Moosen begünstigen. Das Startup hat drei Jahre an dem System entwickelt, aber hatte auch da Schwierigkeiten.

Wir arbeiten auch an einer Lösung und haben dazu auch erste Testanlagen. Wir arbeiten mit einer Lamellenstruktur, sodass die Moose immer leicht schräg gestellt sind und die Exposition günstiger ist. Aber auch da haben wir noch keine Langzeiterfahrungen. Daher können wir zurzeit nur sagen, dass es auf Dächern an geeigneten Standorten funktioniert, aber für Fassadenbegrünungen sind allgemein noch Erfahrungswerte notwendig.

Clea Kummert: Bis zu welchen Dachneigungen können die Begrünungen mit Vertikos Moosmatten ausgeführt werden?

Kilian Lingen: Das kann im Prinzip auf Dächern mit Dachneigungen bis 80° gehen. Viel mehr hängt die mögliche Durchführung von Moosbegrünungen von den Standortbedingungen ab; wie hoch ist die Sonnenexposition, wie hoch ist der Niederschlag. Das sind die Faktoren die ausschlaggebend sind.

Clea Kummert: Gibt es Referenzwerte inwieweit Fassadenbegrünungen eher an Neubauten oder Bestandsgebäuden durchgeführt werden?

Kilian Lingen: Dazu führen wir auch keine Dokumentationen. Während meiner einjährigen Tätigkeit in der Projektleitung habe ich den Eindruck bekommen, dass sich das mehr oder weniger in Waage hält. Häufig werden im Zuge von Renovierungs- und Restaurierungsarbeiten Fassadenbegrünungen durchgeführt. Bei Neubauten werden Begrünungen inzwischen häufig aufgrund von Förderprogrammen durchgeführt. Bei Neuentwicklungen von Quartieren gibt es teilweise auch bestimmte Auflagen, dass ein bestimmter Prozentsatz der Fassaden begrünt sein muss.

Wir im Unternehmen haben bislang keine Kapazitäten, um uns auf statistische Auswertungen zu konzentrieren. Die Nachfrage ist momentan so hoch, dass es für uns einfach keinen Sinn ergibt in dem Bereich zu arbeiten.

Clea Kummert: Vertikale flächige Begrünungen können vorkultiviert oder auch z.B. mit Saatgutmischungen ausgeführt werden. Gibt es eine Begrünungsvariante, die häufiger zur Anwendung kommt?

Kilian Lingen: Wir arbeiten gar nicht mit Saatgutmischungen. Unser System hat einzelne Pflanztaschen, die ausgebildet werden. Wir können das System auch modular aufbauen. Dabei kultivieren wir einzelne Module vor und bringen diese im Anschluss an. In der Praxis ist es so, dass das so gut wie gar nicht nachgefragt wird. Wenn wir das System vor Ort anbringen und bepflanzen, haben wir Stauden, die mindestens schon 20 bis 40 cm hoch sind, sodass man relativ schnell ein optisch attraktives Bild hat. Je nachdem wann man im Jahresverlauf pflanzt, hat man relativ schnell eine flächendeckende Begrünung. Bei einer Bepflanzung im zeitigen Frühjahr, wo die Wachstumsperiode anfängt, kann man davon ausgehen, dass die Pflanzen drei Monate später so stark im System hängen wie bei vorkultivierten Modulen. Demnach ist dieser Benefit, den man bei Modulen hat binnen kürzester Zeit aufgehoben. Daher ist es, zumindest bei unseren Systemen, wirtschaftlicher, wenn die Konstruktion vor Ort gebaut und bepflanzt wird.

Clea Kummert: Das heißt, die Investitionskosten modularer Begrünungen sind höher?

Kilian Lingen: Genau. Von der Konstruktion ist es aufwendiger, weil man viele kleine Module fertigen muss. Man hat im Arbeitsablauf also immer Arbeitsschritte, die unterbrochen werden. Wenn wir die Konstruktion direkt an der Fassade durchführen, können wir die Gesamtfläche konstruktiv an einem Stück durchziehen. Das ist vom Arbeitsprozess deutlich einfacher und schneller, was die Kosten senkt.

Die meisten anderen Anbieter führen Fassadenbegrünungen in modularer Bauweise aus und haben dabei immer ein bestimmtes Raster, das eingehalten werden muss. Wir haben den Vorteil mit der Konstruktion individuell auf die Architektur eingehen zu können. Wir können also exakt Fugenverläufe oder z.B. Rundungen mit aufnehmen.

Clea Kummert: Werden vermehrt großflächige Fassaden, z.B. an Industrie oder Gewerbegebäuden, begrünt oder hält sich das die Waage mit Fassaden von bspw. Wohnhäusern, bei denen viele Fensterausparungen beachtet werden müssen?

Kilian Lingen: Das hält sich auch mehr oder weniger die Waage. Gerade bei großen Flächen, wie Hallenwänden, wird gerne mit Kletterpflanzen gearbeitet. Bei großen Flächen erzeugen living walls durch den materiellen Aufwand schnell deutlich höhere Kosten. Bei living walls haben wir eine zusätzliche Fassadenhülle. Wir haben also eine vorgehängte, hinterlüftete Aluminium-Cobond-Fassade, die als Vorkonstruktion vor die Primärfassade gehängt wird. Dort kommt dann unser Pflanzenträger drauf.

Die flächenmäßig größte living wall, die wir bisher an einem Gebäude hergestellt haben beträgt 800 Quadratmeter. Dabei wurde das Gebäude komplett eingeschlossen. Ansonsten kann man ab 100 m² von einer großen Fassadenfläche sprechen.

Clea Kummert: Arbeitet Vertiko mit Gärtnerbetrieben zur Vorkultivierung der Pflanzen zusammen?

Kilian Lingen: Genau. Wir arbeiten mit einem speziellen Substrat. Herkömmliche Erde ist nicht ausreichend strukturstabil. Das heißt, dass sie von den Pflanzen mit der Zeit abgebaut wird. Zimmerpflanzen müssen in bestimmten Abständen umgetopft werden, damit die frische Erde wieder ein entsprechendes Milieu darstellt. Da dieser Vorgang bei einer living wall nicht möglich ist, müssen wir mit einem speziellen Substrat arbeiten, das dauerhaft strukturstabil ist und die Lebensbedingungen für die Pflanzen ideal hält. Da arbeiten wir mit Gartenbaubetrieben, die die Pflanzen dann wahlweise schon in diesem Spezialsubstrat vorkultivieren.

Clea Kummert: Ist das Substrat, das Vertiko verwendet für alle Systeme gleich?

Kilian Lingen: Das Substrat variiert zwischen der living wall outdoor und dem Innenbereich. Bei Kletterpflanzen ist es komplett anders; die können bei vorhandenem Bodenstandort teilweise direkt in den Boden gesetzt werden. Wenn es sich um eine Begrünung im städtischen Bereich handelt, werden teilweise extra solche Bodenstandorte hergestellt. Das heißt der Boden wird aufgebrochen und ein spezielles Pflanzquartier wird in den Boden eingelassen. Die Ausführung dieser erfolgt nach den Richtlinien der FLL. Darunter sind auch Vorgaben und Anforderungen an das Substrat. Diese Leistung führen wir aber nicht selber aus. Falls kein Bodenstandort vorhanden ist, werden Pflanzgefäße eingesetzt, die wir mit den Substraten befüllen.

Clea Kummert: Die Ausführung bodengebundener Fassadenbegrünungen sind wahrscheinlich in der Höhe begrenzt. Bis zu welcher Höhe führen Sie solche Begrünungen durch?

Kilian Lingen: Bei rein bodengebundenen Begrünungen können Kletterpflanzen, wie die Wisteria (Blauregen), Höhen von 30 m erreichen. Der Blauregen ist von der Wuchsstrategie ein so genannter Starkschlinger. Kletterpflanzen haben verschiedene Strategien zu klettern. Der Efeu z.B. hat Haftscheiben, mit denen er sich an der Fassade festkrallt und so hinaufklettert. Dadurch kann es allerdings auch zu Beschädigungen der Fassade kommen. Bei Pflanzen, die sehr hochklettern, sind

eben diese Kletterstrukturen sehr stark ausgebildet, weil sie die in der Natur brauchen, um die Höhen zu erreichen. Das birgt die Gefahr, dass dadurch Schäden an der Bausubstanz entstehen. Deswegen arbeiten wir nur in bestimmten Situationen, wenn die Bausubstanz dies hergibt, mit Kletterpflanzen, die so hochwachsen, sodass langfristig keine Gefahr vor solchen Schäden besteht. Dementsprechend sind wir bei Pflanzen, von denen keine Gefahr einer Schädigung der Bausubstanz ausgeht, bei i. d. R. 15 m Höhe am Limit. Um höhere Fassaden begrünen zu können, befestigen wir z. B. Pflanztröge auf der entsprechenden Höhe mit Hilfe von Konsolen an der Wand. So können auch weitere Geschosse begrünt werden.

Clea Kummert: Mit welchen Lastannahmen sind bei Kletterpflanzen grob zu rechnen?

Kilian Lingen: Da gibt es eine sehr große Varianz. Das hängt ganz stark von der Art der Pflanzen und wie viel Biomasse diese aufbauen ab. Von der FLL gibt es eine Richtlinie zu den Lasten der Pflanzen, wo eine Tabelle zu finden ist, die zu den jeweiligen Kletterpflanzenarten Flächengewichte angibt. Die Spanne liegt schätzungsweise zwischen 3 und 30 kg/m². Das ist die reine Last der Biomasse. Hinzu kommen erhöhte Schnee- und Windlasten, weil die Pflanzen im Winter zusätzlich Eis und Schnee ansetzen können und durch ihr relativ geschlossenes Blattwerk mehr Wind aufnehmen können.

Clea Kummert: Sind bei bodengebundenen Fassadenbegrünungen künstliche Bewässerungen erforderlich?

Kilian Lingen: Das ist standortabhängig. Häufig kann bei bodengebundenen Varianten darauf verzichtet werden. Gerade im innerstädtischen Raum ist immer eine zusätzliche Bewässerung vorzusehen, damit eine Wasserversorgung gesichert ist. Bodenquartiere haben nach FLL Richtlinien ein gewisses Pflichtvolumen, um einen entsprechenden Wurzelraum zur Verfügung zu stellen und eine ausreichende Wasserkapazität herzustellen. Bei Trockenjahren ist es allerdings schon sinnvoll eine Bewässerung installiert zu haben.

Bei dem wandgebundenen System gestaltet sich die Wasserversorgung problematischer, da wir nur sehr wenig Substrat haben. Das hat den Hintergrund, dass ein wandgebundenes System äußerst leicht bleiben muss. Es braucht eine intensive Bewässerungsplanung in diesem System. Außerdem muss sehr exakt mit einer Nährstofflösung gearbeitet werden.

Gerade im innerstädtischen Bereich treten extreme Hitzeinseln auf. Hierzu haben wir in Freiburg gerade erst eine Machbarkeitsstudie entwickelt, anhand der prognostiziert wird wie Stadtteile sich im Laufe der nächsten 30 Jahre entwickeln werden. Dort sieht man, dass es im innerstädtischen Bereich immer wieder zu starken Aufheizungen, von teilweise lokalen Temperaturerhöhungen von bis zu 10°C, kommt. Pflanzen in solchen Bereichen haben dann natürlich auch einen deutlich höheren Wasserverbrauch.

Eine Pflanze braucht bis zu 10 Jahre, um eine Fassade einzunehmen. Bei einer gewissen Größe hat sie natürlich auch einen bestimmten Wasserbedarf, der gedeckt werden muss. Wenn dieser nicht sichergestellt ist und es zu einem Ausfall der Pflanze kommt, bedarf es einen extrem langen Zeitraum und erheblichen Pflegeaufwand, bis die Fassade wieder entsprechend begrünt ist.

Clea Kummert: In den Informationen zu den einzelnen Begrünungssystemen von Vertiko sind ebenfalls die Vorteile von Begrünungen aufgelistet. Kommt es bei Dachbegrünungen mit Moosmatten, trotz geringer Aufbauhöhe und Fehlen des Substrats zu dämmenden Effekten?

Kilian Lingen: Dazu haben wir keine Untersuchungen. Wir haben Untersuchungen zu der dämmenden Wirkung von unseren living walls und auch zu extensiven Dachbegrünungen gibt es welche. Da sind

die dämmenden Effekte aber primär abhängig von der Schichtdicke des Substrats. Bei den Moosmatten wird es vermutlich einen leichten Effekt geben. Wie hoch der letztendlich ist, ist schwer zu sagen. Der dämmende Effekt kommt ja dadurch zu Stande, dass das Substrat ein Luftpolster bildet, was zu einer Isolation führt. Der primäre Effekt von Moos wird wahrscheinlich eher im Sommer da sein, denn das Moos verhindert die Aufheizung von Bitumenbahnen und reduziert dadurch die starke Aufheizung der Gebäude.

Clea Kummert: Wie viel Zeit nimmt die Planung von Fassadenbegrünungen ein?

Kilian Lingen: Das hängt ganz stark davon ab, wie detailliert die Planung sein muss. Wenn bspw. Eine rohe Betonwand ohne Dämmung und Putz mit einer living wall oder Kletterpflanzen begrünt werden soll, dann beträgt die Planung zwei bis drei Tage. Bei Wänden mit komplexen Details wie Randeinfassungen, Fenster- und Balkonaussparungen, Leitungsverlegungen für Zu- und Abwasser, ist der Planungsaufwand natürlich viel höher. In der Regel dauert die Planungsphase ca. Zwei Wochen. Die Planung umfasst bei uns die Abstimmung mit Fassadengewerken, Bewässerungsplanungen, Brandschutzgutachtern und statischen Vorgaben. Deshalb bieten wir mittlerweile eine Vorplanung auf Basis der Entwurfspläne der Architekten an, die an die anderen Gewerke weitergegeben wird, sodass die Planung abgestimmt werden kann. Im Anschluss kann dann ziemlich schnell mit der Werkplanung begonnen werden. Ganz oft zieht sich die Planung nicht an einem Stück durch, sondern es verzögern sich die Projekte, weil andere Gewerke doch länger brauchen. Ganz häufig kommt es zu Komplikationen, wenn die Unterkonstruktion nicht von uns, sondern einem anderen Gewerk kommt. Dann muss immer wieder Rückabgestimmt werden, wodurch es oft zu sehr starken Verzögerungen kommt. Unser Gewerk ist bei Neubauten immer eins der aller letzten, wodurch wir von den ganzen anderen Gewerken abhängen.

Clea Kummert: Sind die Begrünungen problemlos auf allen Fassaden ausführbar?

Kilian Lingen: Prinzipiell ja. Es gibt keine Situationen, wo wir sagen: das geht gar nicht. Wir können eigentlich immer mit irgendwelchen baulichen Maßnahmen auf den Bestand eingehen, egal ob dort ein Putz drauf ist, oder nicht. Wenn man aus statischen Gründen gar nicht mit der Bestandskonstruktion arbeiten kann, kann man auch vorgestellte Konstruktionen errichten, die den Lastabtrag leisten. Man kann also eigentlich immer auf die baulichen Gegebenheiten eingehen. Das größte Hindernis ist momentan noch der Brandschutz bzw. die Brennbarkeit der Pflanzen. Da gibt es bei Fassadenbegrünungen für hohe Gebäude noch kaum Erfahrungswerte, weil die Begrünung einfach noch keine lange Tradition hat. Die Zulassung der Begrünungen hängt dann individuell von dem Brandschutzgutachter ab. Zu Brandschutzverordnungen gibt es bisher keine genauen Richtlinien für Fassadenbegrünungen. Da arbeitet die Forschung gerade dran. Bei so großen Projekten, wie dem Arabellapark in München werden eigene Brandversuche durchgeführt. Das hängt aber vom Auftraggeber ab.

Clea Kummert: Welche Erfahrungen mit Projektabwicklungen hat Vertiko gemacht? Treten bspw. Schwierigkeiten mit anderen Gewerken auf?

Kilian Lingen: An und für sich nicht, weil die Basiskonstruktion der living wall auf einer vorgehängten, hinterlüfteten Fassade basiert. Das heißt dort kann die Statik ganz einfach berechnet werden. Da gibt es ausreichend Erfahrungswerte. Wo es schwieriger wird mit der Statik ist bei Kletterhilfen für Kletterpflanzen, weil es auch dort nicht so viele Erfahrungswerte und kaum statische Berechnungen

gibt. Da haben wir auch, vor allem in den letzten zwei Jahren viel dran gearbeitet, um dort für uns eine bessere Standardisierung zu bekommen.

Clea Kummert: Welche Referenzgebäude zeigen die Arbeit von Vertiko?

Kilian Lingen: Bezüglich Moosdächer kommt mir spontan die Internationale Gartenausstellung in Berlin 2016 in den Kopf. Da wurde auf dem Parkgelände eine Seilbahn gebaut und die beiden Seilbahnstationen wurden von uns mit living walls ausgestattet. Eine der Stationen haben wir auch mit einem Moosdach ausgestattet. Wir haben ganz viele Anfragen für große Industriehallen, da wurde bislang aber kein einziges Projekt ausgeführt. Bei diesem Thema kommen ganz häufig Unsicherheiten auf. Ein Auftraggeber, der eine solche Industriehalle baut, muss eine bestimmte Kompensationsmaßnahme durchführen, weil Grünland bebaut wird und dann wird in der Regel eine extensive Dachbegrünung vorgegeben. Diese kann bestimmte Wassermengen aufnehmen. Da gibt es Erfahrungswerte und Abflussbeiwerte und genau das gibt es für Moosmatten nicht. Das ist der Punkt, an dem diese Projekte oft scheitern, sodass sie nicht umgesetzt werden. Solche Werte müssen noch erarbeitet werden damit sich diese Begrünungsform im großen Maßstab durchsetzt und als Kompensationsmaßnahme akzeptiert wird.

Dazu muss ich allerdings auch sagen, dass Moosmatten kein Ersatz für eine echte Dachbegrünung sind, wenn ich mir das bspw. aus Biodiversitätsgründen anschau. Die Feinstaubbindung bei Moosen beruht vor allem auf mehr oder weniger einer Untersuchung des Herrn Frahm, der damals an Moosen geforscht hat. Es stimmt, dass Moose natürlich viel Feinstaub binden. Sie binden Staubpartikel aus der Luft an ihrer Blattoberfläche, weil sie keine Nährstoffe aus dem Boden entnehmen können. Aber Moose haben keinen unglaublich starken Biomasseaufbau. Es gibt Untersuchungen wo Sedumarten mit Feinstaub bestäubt werden. Dabei zeigen Messungen zwar, dass Moose Feinstaub über ihre Oberfläche binden, aber andere Systeme können auch relativ viel Feinstaub über das Substrat binden. Moose als Wunderwaffe gegen Feinstaub in den Innenstädten sehe ich sehr kritisch.

Begrünungen mit Moosmatten sind sinnvoll für Dächer, die ein geringes Traglastvermögen haben. Bei extremer Exposition können unter Umständen aber auch Sedumarten besser geeignet sein. Ein spannendes Forschungsprojekt befasst sich mit der Kombination von Moosen und Sedumarten und inwieweit sich die Pflanzen gegenseitig unterstützen.

Clea Kummert: Gibt es noch andere Forschungsprojekte von Vertiko?

Kilian Lingen: Neben Forschungen zum Brandschutz arbeiten wir daran den konstruktiven Part nachhaltiger zu gestalten. Das bezieht sich zum Beispiel auf die Aluminium-Cobond Fassade.

Clea Kummert: Vielen Dank für das Gespräch!

Anhang 2: Transkribiertes Telefongespräch zu hydroponischen Gebäudebegrünungen der GKR Germany

Interviewter: Tobias Fürst, Projektleiter bei der GKR Germany

Interviewer: Clea Kummert

Datum: 22.12.2020

Dauer: 30 Minuten

Tobias Fürst: Als kurzes Hintergrundwissen: Ich betreue von der Akquise bis zur Ausführung Klein- und Großprojekte sowie Forschungsprojekte.

Hydro-Profi-Line ist ein Vegetationsprinzip – ein Begrünungssystem. Das kann man in Kübeln und genauso flächig einsetzen, drinnen wie draußen, horizontal und vertikal. Dieses Prinzip aus Substratfreiem Wurzelvegetationsraum, aufgehängten Pflanzen mit viel Sauerstoff und Luft außen herum, einer Systemscheibe und einer Klimakammer, die sich unterhalb der Systemscheibe formt, lässt sich wie gesagt beliebig einsetzen. Es löst, unabhängig von der Pflanzenart, immer das Feinwurzelwachstum aus. Das löst eigentlich viele der Probleme, die man bei der Bauwerksbegrünung hat. Uns geht es darum, dass sich die Begrünung immer möglichst einfach, robust und so gut es geht in dem künstlichen Umfeld von Gebäuden oder versiegelten Flächen fast bis zur Autarkie hin umsetzen lässt. Also mit möglichst wenig menschlichen Eingriffen realisierbar ist. Natürlich ist es ein künstliches Umfeld und lässt sich nicht ganz ohne Pflege und Unterhalt realisieren. Aber wenn wir jetzt lauter Gebäude, Städte und Plätze intensiv begrünen wollen, können Sie sich vorstellen was das für einen enormen Sanierungsaufwand nach sich ziehen kann, wenn nicht von vornherein auf das Gelingen und eine gewisse Robustheit geachtet wird. Ansonsten bleibt das Thema etwas für Einzelobjekte und verpasst die Chance Mainstream zu werden. Nichtsdestotrotz ist das Thema der Bauwerksbegrünung momentan der sichtbarste Teil im ganzen Wandel in der Architektur zu nachhaltigem Bauen. Also ist es unglaublich wichtig, dass das funktioniert.

Clea Kummert: Gibt es Referenzgebäude, an denen das Gebäudebegrünungssystem schon installiert wurde?

Tobias Fürst: Ein erstes Großprojekt, wo diese Systeme von uns jetzt eingesetzt wurden, ist z.B. das Immergrün in Berlin (TH 62) von Zanderot Architekten. Das ist ein Projekt bestehend aus 6 Wohngebäuden, das diesen Sommer realisiert wurde. GKR als Firma selber ist kein ausführender Betrieb. Wir sind Systementwickler und Produzent und die Begrünung wurde von einem lokalen Gärtner realisiert. Das ist ein großes Projekt, was realisiert wurde, aber im Prinzip mit ganz einfacher Technik. Es handelt sich um Standardaufstellgefäße mit integriertem Hydro Profi Line Begrünungssystem, die dort eingesetzt wurden. Sie sind nicht baulich integriert. Die Aufstellgefäße stellen fast zweieinhalb Kilometer vertikale Begrünung dar. In der Projektbeschreibung heißt es vertikale Gärten. Im Prinzip sind es Aufstellgefäße auf Balkon und Terrassen. Das ist wahrscheinlich auch die größte Bauwerksbegrünung im Wohnungsbau in Deutschland seit dem Olympischen Dorf 72 in München.

Wir bauen oder planen derzeit viele Projekte mit integrierter Begrünung auch mit Großgehölzen mit 25 Zentimeter Stammdurchmesser, das sind dann 80 Zentimeter Stammumfang, integriert mit Intensiv- und Extensivbegrünungen. Ein Projekt, das im Frühjahr in der Nähe von Frankfurt realisiert wird, ist wahrscheinlich am interessantesten für Landschaftsarchitekten, um den Anwendungsfall wirklich zu sehen. Prinzipiell sieht man das Vegetationssystem von außen nicht, unabhängig, ob es sich um Gefäße oder flächige Begrünungen handelt. Das Gebäude befindet sich gerade in der Fertigstellung und soll bis Q1 fertiggestellt sein. Die Ausführung der Begrünung erfolgt im März.

Clea Kummert: Sie hatten erwähnt, dass Landschaftsgärtner die Begrünung ausgeführt haben. Muss da eine besondere Ausbildung vorhanden sein oder müssen spezielle Schulungen stattfinden, damit Begrünungen auf hydroponischer Basis ausgeführt werden können?

Tobias Fürst: Das Thema Pflanzen scheint bei der Ausbildung und in der Praxis bei vielen Landschaftsgärtnern vernachlässigt und wird jetzt gerade wieder wichtiger. Wir erwarten für unser System von eben ausführenden Betrieben, dass an einer Zertifizierungsschulung teilgenommen wird, weil man sonst im Detail Kleinigkeiten falsch machen kann, und zwar mit großer Wirkung auf das Ergebnis. Unser System ist 12 Jahre entwickelt und erprobt worden. Man kann es nachvollziehen, wenn man sich damit beschäftigt.

Der ausschlaggebende Vorteil des Systems ist, dass es ca. 30 bis 50 % leichter ist, als herkömmliche Systeme und trotzdem wachsen die Pflanzen gesund. Das Problem in der Bauwerksbegrünung ist der Wurzelraum. Der wird irgendwann durch das anhaltende Wurzelwachstum dicht und um das zu kompensieren wird bisher mit größeren Substrataufbauten gearbeitet. Das ist aber auf einem Gebäude nur in einem gewissen Maß tragbar. Deswegen gehen wir den Weg, dass die Aufbauten, durch diesen hohen Luftanteil unterhalb der Vegetationsfläche, wesentlich leichter werden. Dadurch ergibt sich auch eine ganz einfache Bewässerungstechnik, weil man keine Feinverteilung von oben an die Pflanzen heran braucht, sondern das Wasser verteilt sich von unten von alleine. Das macht das System faszinierend bezüglich Bewässerung. Dann kommt ein anderer Aspekt dazu, nämlich die Begrünung möglichst wartungsfrei zu unterhalten. Unterhalb dieser Vegetationsdecke, also unter der Systemscheibe wird das verdunstete Wasser aufgefangen, kondensiert und regnet wieder in das Pflanzenbecken ab. Dadurch ist der Wasserverbrauch schlussendlich um die Hälfte bis 80 Prozent reduziert. Wenn man jetzt Kübel aufstellt, kommt man mit einmaligem Auffüllen bis zu zwölf Wochen weit, zum Teil sogar auch länger - abhängig vom Aufstellort, der Pflanzen und den Wetterverhältnissen. In München wurden Musterbeete mit intensiver Begrünung sowie begehbaren Rasen- oder Wiesenflächen auf unserem Gelände 2020 überhaupt nicht mehr zusätzlich gegossen. Der Niederschlag hat gereicht. Mechanisch ist das Prinzip einfach, aber da stecken über 40 Jahre Know-how zu Pflanzen und 10 Jahre Entwicklungszeit hinter, um das alles so aufeinander abzustimmen, dass es funktioniert.

Clea Kummert: Gilt der Vorteil der Gewichtsreduzierung primär bei Intensivbegrünungen oder auch bei Extensivbegrünungen?

Tobias Fürst: Da muss man bei der Extensivbegrünung differenzieren was man miteinander vergleicht. Es gibt diese Minimalbegrünung, die quasi so gut wie gar kein Substrat enthält, die angesät wird und nach einem halben Jahr mit Ausnahme von ein paar Pflänzchen auch eigentlich tot ist. Das ist nicht das, mit dem man sich messen möchte und auch nicht das Ziel des ganzen Themas Bauwerksbegrünung. Das Ziel ist eine vernünftige Extensivbegrünung mit einigen Zentimetern Substrataufbau, die natürlich wassergesättigt betrachtet werden muss. Das freie Wasserreservoir unter unserer Begrünung wird dabei ähnlich viel wiegen, wie das Wasser in herkömmlichen Aufbauten. Das hängt dann von der Detailplanung ab und was ich miteinander vergleiche; eine vernünftige konventionelle oder die minimal konventionelle Extensivbegrünung mit unserem System.

Clea Kummert: Auf der Website ist angegeben, dass die Gebäudebegrünung eine schallisolierende Wirkung hat. Gibt es Messergebnisse, die diese belegen?

Tobias Fürst: Das ist im Prinzip systemunabhängig, deswegen erheben wir dazu keine Messungen. Da muss man sich durch die Literatur durchforsten und schauen was z. B. Professorin Nicole Pfoser dazu veröffentlicht hat oder, ob der Bundesverband Bauwerksbegrünung Quellenangaben dazu bietet.

Clea Kummert: Das heißt, alle anderen positiven Aspekte entnehmen Sie auch den allgemeinen Eigenschaften von Bauwerksbegrünungen?

Tobias Fürst: Ja klar, alles oberhalb der Vegetations- bzw. der Wurzelebene ist im Prinzip allgemeingültig. Alle Pflanzen weisen eine CO₂-Bindung auf, wobei man die bei der Bauwerksbegrünungen nicht in den Vordergrund rücken sollte. Wenn man es komplett bilanziert, weiß ich nicht, ob die Pflanzen jemals genug CO₂ binden, um den CO₂-Gehalt auszugleichen, der für die Schaffung der Gegebenheiten der Pflanzen benötigt wird. Das Ziel von Begrünungen sind die Wirkung auf Biodiversität, Kühlung der Stadt, Schallabsorption, Regenwasserrückhalt, Entlastung der Kanalisation, Aufenthaltsqualität und psychologische Effekte. Das ist allen Pflanzen gemein. Grundprämisse dafür ist aber, dass die Vegetation gut und pflegeleicht funktioniert. Das ist eben dieser Bereich, der unterhalb stattfindet, nämlich im Wurzelbereich. Dort findet die Wasser- und Sauerstoffversorgung statt.

Natürlich spielt CO₂ auch eine Rolle, wenn wir uns mit Tragwerksplanung beschäftigen. Wenn wir die Vegetation ca. 50 % leichter machen können, hat das natürlich auch wieder Auswirkung auf die Statik und die statischen Anforderungen und dadurch auf den Anteil an Zement und Stahl, den man für die Tragwerksplanung verwenden muss.

Clea Kummert: Ja, das stimmt. Gibt es eigentlich bei den Dachbegrünungssystemen eine Funktion, die Niederschlagswasser zurückhält und damit die Stadtentwässerung entlastet?

Tobias Fürst: Ja unbedingt! Was wir möchten, ist eine frei regulierbare Wasserhöhe. Wir haben standardmäßig in unseren Pflanzbecken eine Anstauenebene, die zwischen 10 und 20 cm variieren kann. Das ist freies Wasser, das auch komplett absenken kann. Nach drei bis fünf Monaten hat man erreicht, dass die Pflanzen mit ihren Wurzeln aus den Pflanzkörben ins Wasser hineinwachsen und dann kann jeder Zentimeter, der quasi nicht gefüllt ist – äquivalent zu Substraten – mit Wasser gefüllt werden. Bei uns bedeutet wassergesättigt quasi ein maximaler Wasserstand. Wenn ich das System jetzt nicht mehr 100 % wassergesättigt habe, dann habe ich mit jedem Zentimeter, den der Wasserstand runtergeht, 10 L/m² zusätzlichen Regenwasserrückhalt. Das Ganze kann man natürlich steuern. Ich kann einen ganz einfachen steuerbaren Überlauf einstellen, der sich auf einen bestimmten Wasserstand einfährt und vor Starkregenereignissen bspw. Wasser ablässt. Wenn dann der Starkregen kommt, kann ich das Wasser wieder aufnehmen. Die Regulierung erfolgt mit einfachster Technik, die man mit einer App steuern oder mit Wetterdaten koppeln kann. Das ist dann Teil der Einzelobjektplanung.

Clea Kummert: Sind die Dachbegrünungen wie z. B. die Varianten mit Rasen begehbar?

Tobias Fürst: Ja natürlich, man muss da ja Rasenmähen oder Rückschnitt auf der Wiese machen und Unkraut beseitigen. Diesen flächigen Vegetationen bzw. Rollvegetationen, wie Sedum, Rasenflächen und Kräuterwiesen bestehen aus einem durchlässigen Gitter, was abständig zum Boden gehalten und in bestimmten Abmessungen ausgeführt wird. Je nach Detailplanung, ist das bspw. 5 cm hoch, dann folgt 3 cm Drainagegranulat und dann die Rollvegetation. Das heißt aufsummiert beträgt der Aufbau 8 bis 10 cm. Der Wasserstand geht maximal bis in diese Drainage rein, also beträgt der Wasserstand maximal 8 cm, das sind ca. 80 Liter pro Quadratmeter wassergesättigt. Bei einer Kombination von Extensiv- und Intensivbegrünung teilen sie sich das gleiche Wasserbecken. Dann ist nur der Abstandshalter ein bisschen höher, weil ansonsten die Rollvegetation zu tief im Wasser hängen würde.

Clea Kummert: Worauf bezieht sich das Patent des Systems genau?

Tobias Fürst: Das Patent erstreckt sich über die Klimakammer, die Systemscheibe obendrauf und den abgeschlossenen Wurzelvegetationsraum aus Luft und Wasser. Es ist auch ein erweitertes Patent über den ganzen Wasserkreislauf. Von der Dachentwässerung geht das Wasser über einen Überlauf in die Fassadenbegrünung, Balkonbegrünung oder eine Ebene tiefer. Dann geht es von dort, weil das System im Prinzip einfach über die Schwerkraft arbeitet, in eine Zisterne und aus der Zisterne schließe ich diesen ganzen Kreislauf mit einer Pumpe. Also habe ich nur ein technisches Bauteil für den Kreislauf.

Clea Kummert: In welchem Kostenbereich pro Quadratmeter befindet man sich ungefähr?

Tobias Fürst: Das ist überhaupt nicht angebbbar, weil das ganz stark von der Detailplanung abhängt. Bauwerksbegrünungen auf Terrassen, Balkonen oder Dachflächen mit punktuellen Gefäßen, wie Beeten und Becken, weisen ganz andere Kosten auf, als wenn ich bspw. die Attika und Dachabdichtung als Becken verwende. Da muss man ganz stark differenzieren. Auch wo ich bei den Kosten ansetze ist relevant. Gehört die Tragwerksplanung mit zu den Kosten für die Bauwerksbegrünung, sind wir wesentlich günstiger als alle anderen. Deswegen will ich da auch keinen Eurobetrag nennen. Natürlich sind Kunststoffaufbauten auch günstiger, als wenn wir mit Edelstahl arbeiten. Aber in der Summe der Betrachtungen, auch was Ausführungszeit (schnellere Bepflanzung, weniger Material, das angeschafft werden muss) angeht, ist es im Prinzip auf Augenhöhe. Was den Unterhalt angeht wird es auf Dauer sogar günstiger, weil ich weniger Verunkrautung, weniger mechanische und technische Bauteile, eine ganz einfache Bewässerung und keine Ausfälle der Bewässerung habe. Selbst wenn die Bewässerung doch mal ausfällt, habe ich keinen Vertrocknungsausfall der Vegetation, da der Wasseranstau im Fall von Fassadenbegrünungen bspw. in der Regel 2 bis 6 Wochen reicht. Der Austausch vertrockneter Vegetation gehört zu einer Vollkostenbetrachtung am Ende mit dazu und deswegen ist es ganz schwer, da Eurobeträge nebeneinander zu legen. Wenn man ein konkretes Begrünungsvorhaben hat, kann man das kostentechnisch vergleichen. Ansonsten ist die Gefahr alles durcheinander zu werfen viel zu groß, um einen Eurowert zu nennen.

Clea Kummert: Sie haben vorhin noch erwähnt, dass eine Bewässerung nicht erforderlich ist. Worin bestehen dann die Pflegemaßnahmen?

Tobias Fürst: Zum Thema Bewässerung: man braucht natürlich einen Wasserzulauf oder eine Gießkanne. Wir sind in München mit dem Niederschlag ohne Zisterne Regenwasser autark. Das hängt

aber natürlich von Region und Wetterverlauf ab. Für Trockenperioden braucht man daher einen Wasserzulauf in Form eines Gebäudeanschlusses und eine Möglichkeit der Düngerzugabe. Zu den sonstigen Pflegemaßnahmen gehören Düngung (Einziges Voraussetzung bei uns ist, dass es sich um anorganische Dünger handeln sollte. Es wird momentan aber auch mit organischen Düngern experimentiert.), Frühjahrs- und Herbstrückschnitte, Kontrollen, um Schädlingsansiedlungen zu vermeiden, Verunkrautung (stark reduziert, weil es weniger Fläche gibt, auf der sich Unkraut ansiedeln kann) entfernen.

Clea Kummert: Bei Fassadenbegründungssystemen kann man die einzelnen Pflanzen leicht austauschen. Wenn auf dem Dach Vegetationsmatten in Form von Rasen verlegt werden, gestaltet sich das schwieriger, oder?

Tobias Fürst: Da muss man dann Stücke ausschneiden und auswechseln. Aber das geht auch noch verhältnismäßig einfach. Der Punkt ist, dass wir nie dieses Verwachsen von System und Pflanzen miteinander haben. Das ist ganz wichtig, denn das Austauschen von Pflanzen auf dem Gebäude, gerade bei Intensivbegrünungen, ist der Punkt, wo es richtig teuer wird. Die Pflanzen herkömmlicher Begrünungen sind so eng miteinander verwachsen, dass man sie nicht mehr voneinander getrennt kriegt, ohne die Nachbarpflanze zu beschädigen. Ein punktueller Austausch ist mit unserem System auch nach Jahren noch möglich. Das ist ganz wichtig für einen langfristigen Unterhalt.

Clea Kummert: Werte für zusätzliche Lastannahmen sind natürlich auch unterschiedlich, je nach System. Wie viel wiegt z.B. der reine Systemaufbau ohne Vegetation?

Tobias Fürst: Ein Beispiel: Wenn ich eine Intensivbegrünung habe und die Attika als Becken nutze, liegt das System bei ca. 30 bis 40 kg/m². Da habe ich dann eine Edelstahlscheibe mit Stützfüßen. In dieser Scheibe hängen die einzelnen Kulturtöpfe, ein sinnvolles Maß sind 12 Liter Kulturtöpfe. Da würden dann 9 Stück reinpassen. Die sind dann mit dem Wurzelballen von ganz normalen Baumschulpflanzen bestückt. Wenn unten und außenherum noch Platz ist, kommt noch ein Drainagegranulat (Hydro Profi Line Zeoponic) hinein. Das Gewicht entspricht in Summe wassergesättigt fast eins zu eins dem Volumen. Wenn man jetzt konservativ rechnen würde, würde man 1,5 annehmen. Dann haben wir ca. 10 cm Wasserhöhe, also 100 L/m². Die Pflanzentöpfe und das Abdeckmaterial (Zierkies, Lavasplitt o. ä.) mit circa 50 kg/m² kommen dann hinzu, sodass Intensivbegrünungen konservativ gerechnet bei 300 bis 400 kg/m² liegen. Das ist in Summe wesentlich leichter, denn für die Pflanzengröße, die in 12 Liter Töpfe passen, benötige ich mindestens 40 bis 50 cm Substrataufbau, der wassergesättigt ist. Wassergesättigt wiegen Intensivsubstrate 1,1 bis 1,5 Tonnen pro Kubikmeter. Das heißt, bei einem halben Kubikmeter liegt man schon bei 550 bis 750 kg. Es ist ein Trugschluss anzunehmen, dass das Wasser schwerer ist als nasse Erde.

Clea Kummert: Vielen Dank für das Gespräch!

Anhang 3: Email-Verkehr zu Dach- und Fassadenbegrünungen von der Helmut Haas GmbH

Ansprechpartner: Patrick Behnert, Bereichsleitung Bauwerksbegrünung

Interviewer: Clea Kummert

Datum: 18.01.2021

Clea Kummert: Welche Ihrer Systemaufbauarten für Fassadenbegrünungen werden am häufigsten verkauft / realisiert?

Patrick Behnert: Fassadenbegrünungen werden in unserer Tätigkeitsregion wenig nachgefragt und noch weniger realisiert. Eine wandgebundene Fassadenbegrünung findet praktisch nicht statt. Die bodengebundene Fassadenbegrünung hingegen wird nachgefragt und wir haben im letzten Jahr das neue Parkhaus an der Fähranlegestelle in Meersburg begrünt. Die Dächer wurden extensiv begrünt und die Fassade hat Edelstahlseile bekommen, die wir mit Kletterpflanzen bepflanzt haben.

Clea Kummert: Welche Ihrer Systemaufbauarten für Dachbegrünungen werden am häufigsten verkauft / realisiert?

Patrick Behnert: Ganz klar die extensive Dachbegrünung. Wir sind Systempartner der Optigrün AG und bauen ausschließlich Produkte dieses Herstellers ein. Am häufigsten bauen wir eine Dachbegrünung mit RMS 300 Schutzlage, FKD 25 Drainageplatte, FIL 105 Filtervlies und 8 cm Substrat E-leicht ein. Begrünt wird das Ganze vorzugsweise mit einer Trockenansaat aus Kräutern und Sedumsprossen. Im letzten Jahr haben wir auf Kundenwunsch erstmalig auch Biodiversitätssaatgut und wild einheimisches Saatgut verwendet.

Clea Kummert: Wie viel m² Dach- bzw. Fassadenfläche werden von Ihnen jährlich realisiert? Können Sie dahingehend auch Angaben zu den einzelnen Systemaufbauten machen?

Patrick Behnert: extensive Dachbegrünung ca. 28.000 m² pro Jahr, einfach intensive Dachbegrünung ca. 2.000 m² pro Jahr, intensive Dachbegrünung ca. 500 m² pro Jahr. Fassadenbegrünung sehr stark schwankend. Es gibt Jahre ganz ohne Fassadenbegrünung und es gibt Jahre mit 1 - 3 Projekten.

Clea Kummert: Welche Begrünungssysteme sind am aufwendigsten zu realisieren und warum?

Patrick Behnert: am aufwendigsten sind intensive Dachbegrünungen, weil hier neben den Dachbegrünungsprodukten auch ein breites Spektrum an Pflanzen eingesetzt werden und auch Wege, Plätze und Aufenthaltsräume auf dem Dach geschaffen werden. Man kann es mit einem Hausgarten vergleichen und das auf dem Dach. Daneben sind auch die Retentionsdächer anspruchsvoll, weil hier die Verringerung des Abflusses in der Gesamtbetrachtung des gesamten Hochbaus betrachtet und berechnet wird.

Clea Kummert: Worauf kommt es bei einer langlebigen Fassadenbegrünung an?

Patrick Behnert: hier kommt es auf die richtige Auswahl geeigneter Pflanzen in Verbindung mit Standort, Kletterhilfe und verfügbarem Raum an. Ein weiterer sehr wichtiger Faktor ist wie auch bei der Dachbegrünung die regelmäßige fachgerechte Pflege. Diese muss mindestens 1-2 Mal jährlich stattfinden. Grundsätzlich sind im mittel- und nordeuropäischen Raum aus meiner Sicht die bodengebundenen Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen den wandgebundenen Systemen klar vorzuziehen.

Clea Kummert: Wie ist das Verhältnis von Fassadenbegrünungen auf Neubauten zu Fassadenbegrünungen auf Bestandsgebäuden?

Patrick Behnert: An Neubauten werden Fassadenbegrünungen häufiger angefragt.

Clea Kummert: Gibt es Referenzgebäude, die Ihre Gebäudebegrünungen veranschaulichen?

Patrick Behnert: ja, hier z.B. das Parkhaus Fähre Meersburg. Leider ist es häufig schwierig für externe Personen auf die Dächer zu kommen, zudem sind die Dächer von unten nicht einsehbar. Einen schönen Dachgarten haben wir 2019 auf einer Dachfläche des Krankenhauses in Wangen realisiert. Hier kenne ich aber den Pflegezustand nicht, weil die Dachfläche nicht von uns gepflegt wird.

Clea Kummert: Des Weiteren interessiert mich welche Vegetationsvarianten am gefragtesten sind. Werden vorzugsweise Saatgutmischungen oder bspw. Vegetationsmatten angefragt und verkauft?

Patrick Behnert: bei der Vegetation wird zu mind. 90 % Saatgut in Form von Sedumsprossen und Kräuter oder Gräsersamen verwendet. Das ist die günstigste Variante die Pflanzen zu etablieren. Vegetationsmatten sind vergleichsweise teuer und kommen fast ausschließlich bei Schrägdächern oder zur Windsogsicherung bei besonders hohen Gebäuden zum Einsatz. Eine weitere Variante sind Flachballenpflanzen, also Pflanzen mit Wurzel in kleinen Töpfen. Im Vergleich zum Saatgut ist das aber auch teurer und die Pflanzung dauert deutlich länger.

Clea Kummert: Können Sie Erfahrungswerte hinsichtlich Projektabwicklungen teilen? Wo treten bspw. schnell Probleme oder Komplikationen auf?

Patrick Behnert: Sehr wichtig ist eine enge Abstimmung zwischen dem beauftragten Dachdecker und der Dachbegrünungsfirma sowie gemeinsam mit dem Planer. Häufige Probleme bereitet sehr häufig auch der Ausführungszeitraum. Es gibt fast kein Projekt, bei dem die Ausführung nicht deutlich später stattfindet als ursprünglich mal von der Projektleitung geplant. Das macht es Ausführungsbetrieben sehr schwer eine Arbeitsplanung durchzuführen die länger als 2 Wochen in die Zukunft reicht. Auch hier muss man ständig im Kontakt mit dem Projektleiter bleiben.

Clea Kummert: Kommt es vor, dass Sie von einer (nachträglichen) Dachbegrünung abraten? Wenn ja, aus welchen Gründen?

Patrick Behnert: das kann vorkommen. Hauptsächlich dann, wenn die Statik nicht ausreichend ist oder wenn es keinerlei Informationen zur statischen Lastreserve des Daches gibt. Ein weiterer Grund kann auch sein, dass das Dach vegetationstechnisch ungeeignet ist, weil z.B. der Dachüberstand den Hauptteil des Daches überdeckt und die Pflanzen so keinen Regen bekommen.

Clea Kummert: Ist Haas auch in die Pflege der Begrünungssysteme involviert, oder beschränken sich die Leistung gegenüber Interessenten auf die Beratung und den Vertrieb von Produkt- und Systemlösungen?

Patrick Behnert: die Pflege von Dachbegrünungen ist ein wichtiger Bestandteil unserer Tätigkeit. Mir persönlich ist diese Leistung zudem sehr wichtig weil die Pflege der entscheidende Faktor ist ob die Dachbegrünung wirklich langfristig ihre vielen positiven Wirkungen auch voll entfalten kann. Gerade auch die Biodiversität kommt ohne gezielte Pflege unter die Räder. Wir beschäftigen aktuell eine ganze Kolonne ganzjährig mit der Pflege von Dachbegrünungen. Es ist auch so, dass nach der Ansaat einer neuen Dachbegrünung zuerst einmal die sogenannte Fertigstellungspflege ausgeführt werden muss. Hierbei müssen wir die Begrünung 1 - 2 Jahre pflegen bis eine Flächendeckende Vegetation von mind. 60 % vorhanden ist. Erst dann ist die Dachbegrünung abnahmefähig. Diese Fertigstellungspflege wird bereits mit dem Neubau der Dachbegrünung ausgeschrieben und von uns angeboten.

Anhang 4: Messungen des Wärmedurchgangskoeffizienten an Begrü- nungselementen

Auftraggeber: Vertiko GmbH

Ausführer: ZAE Bayern

Datum: 11.12.2018

Messungen des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) an Vertikobegrünungselementen

1 Messergebnisse

1.1 Messungen in der Hotbox

Für die erste Messung des Vertiko Elements ohne Substrat und ohne Schlitze ermittelt sich ein U-Wert von $1,45 (\pm 0,07) \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Diese Messung dient als Vergleichsbasis folgender Messungen. Außerdem zeigt die Messung die Eigenschaften eines unveränderten Vertiko Elements auf, sodass Einflüsse der Probevariationen auf den Wärmedurchgang ersichtlich werden.

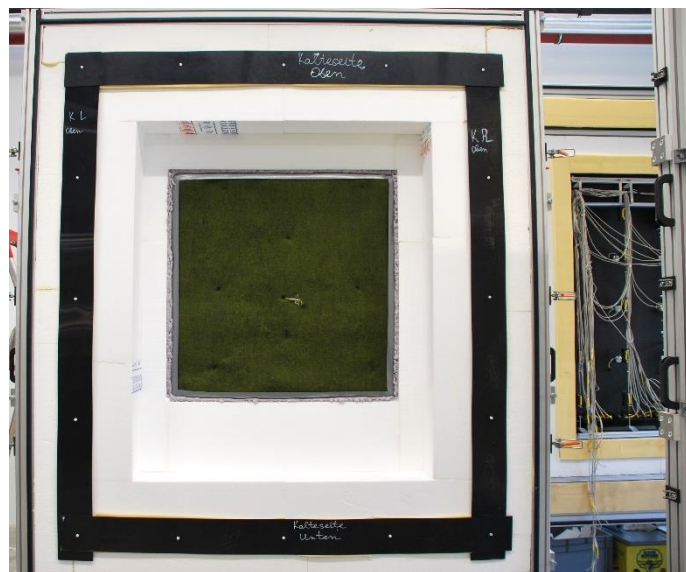


Abbildung 1: Vertiko Element beim Einfahren in die Hotbox ohne Schlitze und ohne Substrat (e. A., ZAE Bayern - Würzburg, 10.04.2018)

Durch das Einschneiden der 15 Schlitze in das obere Deckvlies und das Ausbeulen der leeren Pflanztaschen ist eine deutliche Veränderung des Wärmedurchgangs zum unveränderten Vertiko Element festzustellen. Die Vliestaschen werden händisch ausgebeult, da davon ausgegangen wird, dass das Ausbeulen die Form des begrünenden Vertiko Elements abbildet und es keine großen Unterschiede zum unveränderten Vertiko Element geben wird. Mit einem U-Wert von $1,87 (\pm 0,09) \frac{W}{m^2 \cdot K}$ erhöht sich der Wärmedurchgang um knapp 29 %. Das lässt sich zum einen darauf zurückführen, dass es zu einer turbulenten Strömung an den ausgebeulten Taschen kommt und sich der Wärmeübergang zwischen der

Luft und den Vliesen erhöht. Zum anderen verändert sich der Wärmeübergangswiderstand an der kalten Seite, da die Fläche unebener und rauer ist.



Abbildung 2: Vertiko Element in der Hotbox mit ausgebeulten Pflanztaschen ohne Substrat (e. A., ZAE Bayern - Würzburg, 17.04.2018)

Im nächsten Schritt werden die Vliestaschen mit Beuteln, die mit trockenem Substrat gefüllt sind, bestückt, um die Auswirkungen des trockenen Substrats herauszufinden. Mit einem U-Wert des Vertiko Elements mit trockenem Substrat von $1,83 (\pm 0,09) \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ kann eine geringe Verbesserung von $0,04 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ gemessen werden. Wie auch bei dem vorherigen Messaufbau ist die Erhöhung des U-Wertes im Vergleich zum unveränderten Vertiko Element auf die Änderung der Oberflächenstruktur und somit auf die Änderung des Wärmeübergangswiderstandes sowie der kalten Luft, die schneller an die weiteren Vlies-schichten und die Trägerplatte gelangt, zurückzuführen. Die geringe Verbesserung im Vergleich zur vorherigen Messung begründet sich durch die zusätzliche Dämmwirkung des Substrats.



Abbildung 3: Vertiko Element in der Hotbox mit trockenem Substrat in Pflanztaschen sowie dem Temperatursensor (e. A., ZAE Bayern - Würzburg, 23.04.2018)

Nach der Messung des trockenen Substrats werden die feuchten Substratbeutel in das Vertiko Element eingelegt. Dieser Aufbau repräsentiert die Situation eines frisch bewässerten Vertiko Elements mit feuchtem Substrat. So wird der Unterschied zu dem ausgetrockneten Vertiko Element dargestellt. Das feuchte Substrat im Vertiko Element verursacht einen U-Wert von $1,83 (\pm 0,09) \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Das bedeutet, dass die Feuchte des Substrats keinerlei Einfluss auf den Wärmedurchgang durch das Vertiko Element besitzt.

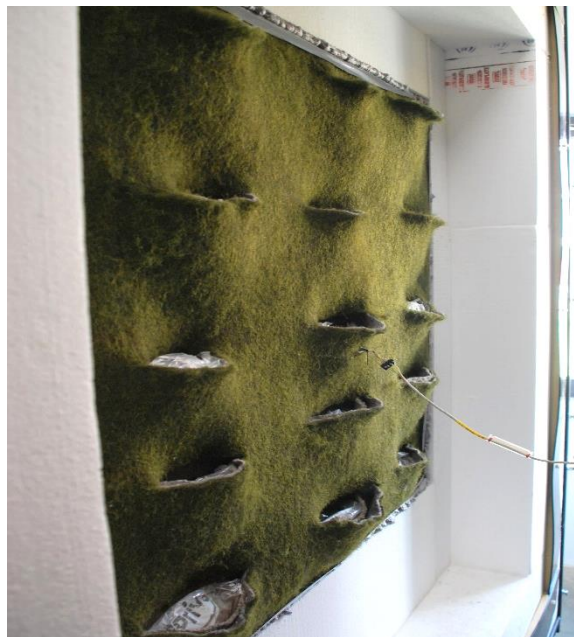


Abbildung 4: Vertiko Element in der Hotbox mit Schlitzten und feuchtem Substrat (e. A., ZAE Bayern - Würzburg, 27.04.2018)

Mithilfe der echten Buchs-Sträußchen werden in der fünften Messung annähernd realistische Bedingungen eines begrünten Vertiko Elements geschaffen. Dadurch sollen beispielsweise Veränderungen der Luftgeschwindigkeiten und -bewegungen abgebildet werden. Ein U-Wert von $1,65 (\pm 0,08) \frac{W}{m^2 \cdot K}$ zeigt eine deutliche Verbesserung zu den zwei vorherigen Messungen. Dieser liegt lediglich ca. 14 % über dem Wert des unveränderten Vertiko Elements. Die Verbesserung des U-Wertes kommt daher, dass die Pflanzen eine Art Isolationsschicht darstellen und die kalte Luft nicht direkt in die Vliestasche und an die dahinterliegenden Vliese sowie die Trägerplatte gelangt.



Abbildung 5: Vertiko Element in der Hotbox mit Schlitzten, feuchtem Substrat und echte Buchssträußchen (e. A., ZAE Bayern - Würzburg, 03.05.2018)

Da ein deutlicher Unterschied zwischen Messung 1 und 2 festzustellen ist, wird in einer letzten Messung das Vertiko Element wieder entleert und die leeren Pflanztaschen an die Trägerplatte angedrückt. So ebnet sich die Oberfläche des Deckvlieses und der einzige Unterschied im Vergleich zur ersten Messung sind die 15 Schlitzte im grünen Deckvlies. Mit $1,49 (\pm 0,07) \frac{W}{m^2 \cdot K}$ verbessert sich der U-Wert mit angedrückten Taschen im Vergleich zur zweiten Messung mit ausgebeulten Taschen deutlich und liegt nur $0,04 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ über dem U-Wert der ersten Messung. Diese Differenz begründet sich durch die Oberflächenveränderung der Schlitzte, denn diese führen zu einer Veränderung der Wärmeübergangswiderstände sowie einer Störung der Isolationsschicht im grünen Deckvlies, wodurch die kalte Luft vereinfacht auf die warme Seite gelangt.



Abbildung 6: Vertiko Element in der Hotbox mit angedrückten Pflanztaschen ohne Substrat (e. A., ZAE Bayern - Würzburg, 09.05.2018)

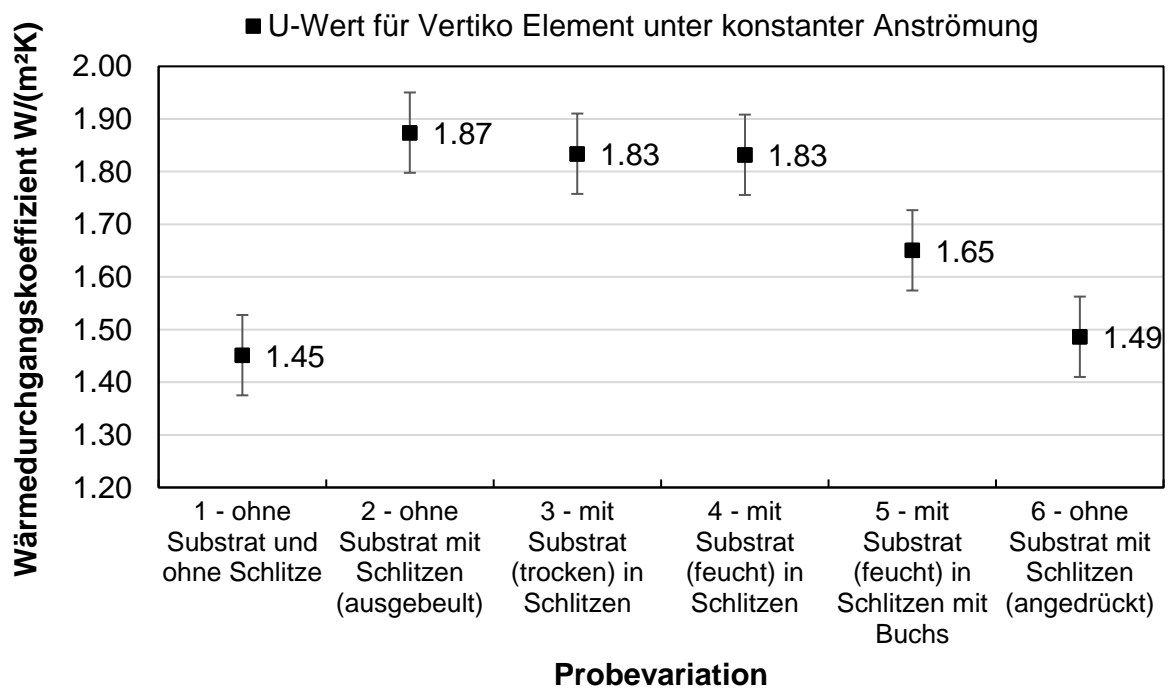


Abbildung 7: Darstellung der U-Werte der einzelnen Versuchsschritte für das Vertiko Element mit einer Messabweichung von $\pm 5\%$

1.2 Messungen in der stationären Einplattenapparatur Lola 5

Tabelle 1: Wärmedurchlasskoeffizient und effektive Wärmeleitfähigkeit der trockenen und feuchten Vliesprobe

Probe	Wärmedurchlasskoeffizient Δ ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	effektive Wärmeleitfähigkeit λ ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)
trocken	2,51	0,043
feucht	10,45	0,167

Der Wärmedurchlasskoeffizient für die trockene Vliesprobe beträgt $2,51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$, daraus resultiert eine effektive Wärmeleitfähigkeit von $0,043 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$. Dieser Wert ist beispielsweise mit Wärmeleitfähigkeiten von Holzfasern, Perlit, Strohballen oder Zellulosefasern vergleichbar. Die feuchte Probe mit einem Wärmedurchlasskoeffizienten von $10,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$ und der daraus berechneten effektiven Wärmeleitfähigkeit von $0,167 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$, lässt sich zu Blähton als Dämmstoff eingliedern.

Die Messungen zeigen, dass die Wärmeleitfähigkeit der trockenen Vliese lediglich einem Viertel der Wärmeleitfähigkeit der feuchten Vliese entspricht. Somit bieten sich die trockenen Vliese als sehr gute Dämmstoffe an. Dies bildet sich bei dem U-Wert der Probevariante 1 ab. Jedoch bildet die höhere effektive Wärmeleitfähigkeit der feuchten Vliese ab, dass sich die wärmedämmende Eigenschaft eines feuchten Vertiko Elements beispielsweise bei Schlagregen oder nach der Bewässerung deutlich verschlechtert.



Abbildung 8: Vliesschichten des Vertiko Elements mit der Kantenlänge 30 cm (e. A., ZAE Bayern - Würzburg, 03.05.2018)

2 Mehrwert der Vertiko Fassadenbegrünung (bauphysikalische Bewertung)

Unsanierete und ungedämmte Außenwände von Altbauten können einen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten von $1,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ bis $2,0 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ besitzen [27]. Bei Neubauten kann die Fassadenbegrünung als zusätzliche Dämmung verwendet werden aber aufgrund der hohen Dämmstandards bei Neubauten ist der Effekt eher gering. Im Folgenden wird aufgezeigt, dass sich durch die Vertiko Fassadenbegrünung der U-Wert verbessert bzw. Dämmmaterial eingespart werden kann.

2.1 Gebäudebestand

Das allgemeine Ziel der Gebäudesanierung und -modernisierung ist es, den energetischen Standard der Wohngebäude an Standards der Energieeinsparverordnung (EnEV) anzugleichen.

Für die Bewertung der Fassadenbegrünung im Gebäudebestand wird der zwischen 1969 bis 1978 vorwiegend verwendete Wandaufbau aus Kalksand-Lochsteinen mit einem 4 cm dicken Dämmputz in Betracht gezogen. Der U-Wert der Massivwand im Gebäudebestand berechnet sich aus den Wärmeübergangswiderständen und dem Wärmedurchlasswiderstand, daraus ergibt sich ein U-Wert von $0,65 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (Tabelle 2).

Tabelle 2: Aufbau der Massivwand aus Kalksand-Lochstein mit Dämmputz im Gebäudebestand (Tabelle von oben nach unten \triangleq Gebäude von innen nach außen)

Material	Dicke der Schicht d	Wärmeleitfähigkeit λ	Wärmedurchlasswiderstand R_T	Wärmedurchgangskoeffizient U
	(m)	(W/m · K)	(m ² · K/W)	(W/m ² · K)
Kalkgipsputz	0,01	0,70	0,01	
Kalksand-Lochstein	0,24	0,70	0,34	0,65
Dämmputz	0,04	0,04	1,00	

Wird an der Fassade das begrünte Vertiko Element installiert und der dazugehörige effektive Wärmedurchlasswiderstand $R_{eff} = 0,476 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ zur Berechnung des U-Werts in Reihe geschaltet, errechnet sich ein neuer U-Wert der unsanierten Massivwand mit Vertiko Begrünung von $0,51 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (siehe Tabelle 3, Aufbau 2)).

Die Vertiko Begrünung verbessert den U-Wert der begrünten Wand um ca. 22 % im Vergleich zum U-Wert des Wandaufbaus ohne Begrünung. Die energetische Sanierung wird mittels Wärmedämmverbundsystem durchgeführt. Dazu ist eine Entfernung des Dämmputzes nötig. Anschließend folgt eine 18 cm dicke Holzfaserdämmplatte sowie die

Armierungsschicht inkl. Außenputz mit einer Dicke von 2 cm, die im Folgenden als „Außenputz“ zusammengefasst wird. Die Holzfaserdämmplatte wird verwendet, da diese aus Nadelholz-Sägeresten und somit aus nachwachsenden Rohstoffen besteht. Dieser sanierte Wandaufbau besitzt einen U-Wert von $0,19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (siehe Tabelle 3, Aufbauvariante 3)), welcher besser als die nach EnEV geforderten $0,24 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ ist.

In Kombination des WDVS mit der Vertiko Begrünung (Aufbauvariation 4) ergibt sich ein U-Wert von $0,17 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Das bedeutet, dass sich der U-Wert des WDVS mit der Vertiko Begrünung im Vergleich zum U-Wert des WDVS ohne die Vertiko Begrünung um rund 8 % verbessert. Um mit der Aufbauvariante 4) „Sanierung mit WDVS, mit Begrünung“ auf den gleichen U-Wert der Aufbauvariante 3) „Sanierung mit WDVS, keine Begrünung“ mit $0,19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ zu gelangen, ist eine um ca. 2 cm dünnere Holzfaserdämmplatte nötig. Das bedeutet, dass bei einem Wandaufbau mit einem WDVS und einer Vertiko Begrünung ca. 2 cm der Holzfaserdämmplatte eingespart werden können, um auf den gleichen U-Wert des Wandaufbaus mit WDVS ohne Vertiko Begrünung zu kommen.

Bei der Dämmung mit Vakuumisulationspaneelen (VIP) ergibt sich ein U-Wert von $0,22 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ ohne Vertiko Begrünung und im Gegensatz dazu ein U-Wert von $0,20 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ mit Begrünung (siehe Tabelle 3). Das zeigt den Mehrwert der Begrünung durch einen um 9,5 % verbesserten U-Wert. Bezogen auf den U-Wert der Aufbauvariation 5) kann mithilfe der Vertiko Begrünung theoretisch 0,2 cm der VIP eingespart werden.

Tabelle 3: Übersicht der U-Werte der Massivwand aus Kalksand-Lochstein mit Aufbauvariationen: 1) unsaniert, keine Begrünung, 2) unsaniert, mit Begrünung, 3) Sanierung mit WDVS, keine Begrünung, 4) Sanierung mit WDVS, mit Begrünung, 5) Sanierung mit VIP, keine Begrünung, 6) Sanierung mit VIP, mit Begrünung (Tabelle von oben nach unten \triangleq Gebäude von innen nach außen)

Material	d (m)	λ (W/m · K)	R_T (m ² · K/W)	Aufbauvariation					
				1)	2)	3)	4)	5)	6)
Kalkgipsputz	0,010	0,700	0,014	x	x	x	x	x	x
Kalksand-Lochstein	0,240	0,700	0,343	x	x	x	x	x	x
Dämmputz (alt)	0,040	0,040	1,000	x	x				
Holzfaserdämmplatten (HFD)	0,180	0,038	4,737			x	x		
VIP	0,020	0,005	4,000					x	x
Außenputz (neu)	0,020	0,870	0,023			x	x	x	x
Vertiko begrünt, Substrat feucht	-	-	0,476		x		x		x
Wärmedurchgangskoeffizient U (W/m² · K)				0,65	0,51	0,19	0,17	0,22	0,20

2.2 Neubau

Im Folgenden werden Aufbauvarianten mit Wärmedämmblöcken aus Leichtbetonsteinen, unterschiedlichen Dämmungen und der Verwendung einer Vertiko Begrünung betrachtet sowie der Mehrwert der Begrünung bewertet. Der einfache ungedämmte Massivwandaufbau aus Leichtbetonsteinen besitzt einen U-Wert von $0,36 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (siehe Tabelle 4, Aufbauvariante 1)).

Durch die Installation der Vertiko Begrünung verbessert sich der U-Wert der zweiten Aufbauvariante um ca. 13,4 % und erreicht einen theoretischen U-Wert von $0,31 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Die alleinige Verwendung der Vertiko Begrünung reicht folglich nicht aus, um einen U-Wert nach EnEV Standard zu erreichen. Deshalb wird eine EPS-Dämmplatte mit einer Dicke von 10 cm zur Dämmung bei Aufbauvariante 3) hinzugefügt. Mit dieser zusätzlichen Dämmung ergibt sich ein U-Wert von $0,18 \frac{W}{m^2 \cdot K}$. Wird zusätzlich vor die Dämmung die Vertiko Begrünung angebracht, sinkt der U-Wert weiter auf $0,16 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (siehe Tabelle 4, Aufbauvariante 3) und 4)), wodurch sich eine Verbesserung des U-Werts um ca. 7 % einstellt. Wird nun die mögliche Einsparung an Dämmstoff aufgrund der zusätzlichen Wärmedämmung der Vertiko Begrünung betrachtet, ist festzustellen, dass die Begrünung 1,5 cm der EPS-Platten einsparen kann.

Wird anstatt einer EPS-Platte, ein Vakuumisulationspaneel zur Dämmung verwendet, ergibt sich ein U-Wert von $0,15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ für die Aufbauvariante 5). In Kombination mit der Vertiko Begrünung verbessert sich der Wandaufbau mit dem Vakuumisulationspaneel auf $0,14 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, das ist eine U-Wert Verbesserung von 6 % (siehe Tabelle 4).

Folglich reduziert die Vertiko Begrünung mit ihrem effektiven Wärmedurchlasswiderstand die benötigte Dicke der verwendeten Dämmung. Diese Dämmersparnis kann mehrere Zentimeter betragen (siehe Aufbauvariante 3) und 4)).

Tabelle 4: Übersicht der U-Werte der Massivwand aus Leichtbetonsteinen mit Aufbauvariationen: 1) keine Dämmung, keine Begrünung, 2) keine Dämmung, mit Begrünung, 3) WDVS, keine Begrünung, 4) WDVS, mit Begrünung, 5) Dämmung mit VIP, keine Begrünung, 6) Dämmung mit VIP, mit Begrünung (Tabelle von oben nach unten \triangleq Gebäude von innen nach außen)

Material	d (m)	λ (W/m · K)	R_T (m ² · K/W)	Aufbauvariation					
				1)	2)	3)	4)	5)	6)
Kalkgipsputz	0,010	0,700	0,014	x	x	x	x	x	x
Leichtbetonstein	0,365	0,140	2,607	x	x	x	x	x	x
EPS/Styropor	0,100	0,035	4,000			x	x		
VIP	0,020	0,005	4,000					x	x
Außenputz	0,015	0,870	0,023			x	x	x	x
Vertiko begrünt, Substrat feucht	-	-	0,476		x		x		x
Wärmedurchgangskoeffizient U (W/m ² · K)				0,36	0,31	0,18	0,16	0,15	0,14

Bei einem Wandaufbau mit hoch wärmedämmenden Ziegelsteinen, wie POROTON im Neubau, wird bei einer 36,5 cm dicken Außenwand mit einem U-Wert von $0,21 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ keine zusätzliche Dämmung benötigt (siehe Tabelle 5). Durch die Installation der Vertiko Begrünung an der Fassade verbessert sich der U-Wert von Aufbau 1) auf 2) um rund 8 %. Durch die Verwendung der Begrünung ist eine Verringerung der Dicke der tragenden Massivwand möglich, indem die Wandstärke der Ziegel von 36,5 cm auf die nächst kleinere Wandstärke mit 30 cm verringert und eine Vertiko Begrünung installiert wird. Der U-Wert von Aufbau 4) mit $0,23 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ verschlechtert sich zwar im Vergleich zu Aufbau 2), liegt jedoch noch in der EnEV-Anforderung und spart 6,5 cm der Massivwand durch die Begrünung ein. Die Einsparung an Wandstärke durch Dämmwirkung der Vertiko Begrünung verbessert die Ökobilanz des Gebäudes und reduziert das Materialgewicht auf der Baustelle.

Tabelle 5: Aufbau der Massivwand aus POROTON T8 im Neubau mit jeweils einer Stärke von 36,5 cm und 30 cm (Tabelle von oben nach unten \triangleq Gebäude von innen nach außen)

Material	d (m)	λ (W/m · K)	R_T (m ² · K/W)	Aufbauvariation			
				1)	2)	3)	4)
Kalkgipsputz	0,010	0,700	0,014	x	x	x	x
POROTON-T8	0,365	0,080	4,563	x	x		
POROTON-T8	0,300	0,080	3,750			x	x
Außenputz	0,020	0,870	0,023	x	x	x	x
Vertiko begrünt, Substrat feucht	-	-	0,476		x		x
Wärmedurchgangskoeffizient U (W/m ² · K)				0,21	0,19	0,25	0,23