

BBSR-
Online-Publikation
57/2024

Low-Tech-Green Fassadenbegrünung

Quantifizierung von Aufwand und Ertrag von begrünten Fassaden

von

Dr. Hans Drexler
Prof. Dr. Nicole Pfoser
Kilian van Lier
Joost Hartwig
Niall Fitzgerald



Low-Tech-Green Fassadenbegrünung

Quantifizierung von Aufwand und Ertrag von begrünten Fassaden

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-21.51

Projektlaufzeit: 08.2021 bis 12.2023

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuerin

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Verena Kluth
verena.kluth@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

DGJ Architektur GmbH, Frankfurt am Main
Dr.-Ing. Dipl. Arch. ETH Hans Drexler (Projektleitung)
frankfurt@dgj.eu

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU), Nürtingen
Prof. Dr.-Ing. Nicole Pfoser
nicole.pfoser@hfwu.de
Kilian van Lier, M. Sc.
kilian.vanLier@hfwu.de

ina Planungsgesellschaft mbH, Darmstadt
Dipl.-Ing. Joost Hartwig
hartwig@ina-darmstadt.de
Niall Fitzgerald, M. Sc.
fitzgerald@ina-darmstadt.de

Lektorat

DGJ Architektur GmbH, Frankfurt am Main
Dr. Isabelle Drexler

Stand

Dezember 2023

Satz und Layout

DGJ Architektur GmbH, Frankfurt am Main

Bildnachweis

Titelbild: DGJ Architektur GmbH
Liste der Fotografinnen und Fotografen: siehe S. 134

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Drexler, Hans; Pfoser, Nicole; van Lier, Kilian; Hartwig, Joost; Fitzgerald, Niall, 2024: Low-Tech-Green Fassadenbegrünung: Quantifizierung von Aufwand und Ertrag von begrünten Fassaden. BBSR-Online-Publikation 57/2024, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	8
Forschungsgegenstand	12
Forschungslücke	12
Kernthese	12
Evaluierung und Quantifizierung	14
Forschungsfragen	14
Methodisches Vorgehen	14
Architektur, Konstruktion und Technik (DGJ Architektur)	14
Vegetation und mikro-ökologische Wirkung (HfWU)	15
Parametrisierung, Evaluation und Simulation (INA).....	15
Teststände: Validierung durch Messung / Anpassung der Rechenmodelle (DGJ und INA und HfWU)	15
Stand der Technik: Betrachtung von Fassadenbegrünung	17
Historische und aktuelle Verwendung	17
Wirkungsweisen von Fassadenbegrünung	18
Gebäudeoptimierung.....	20
Umfeldverbesserung	22
Schlussfolgerung: Verbesserung der Umwelt durch Fassadenbegrünungen	23
Formen der Fassadenbegrünung.....	24
Bodengebundene Fassadenbegrünung.....	24
Wandgebundene Begrünung	26
Mischformen	29
Bautechnische Anforderungen	29
Wandaufbau.....	30
Fußpunkt	32
Horizontale Vegetationsfläche	33
Kletterhilfen.....	34
Nachträglich montierte Begrünung	36
Holzbau	37
Holzschutz	37
Möglichkeiten der Begrünung bei Holzkonstruktionen	38
Pflanzsystem	40
Baurechtliche Parameter	42
Planungsrechtliche Aspekte	42
Bauaufsichtliche Aspekte	42

Brandschutz	42
Kosten.....	43
Investitionen	43
Platzbedarf.....	43
Wartung, Pflege und Unterhalt	44
Nutzen, Return und Einsparung.....	45
Qualitativer Vergleich.....	46
Vergleichsobjekte	46
Zusammenfassung: Fassadengrün als integraler Bestandteil der Architektur	47
Best Practice	49
Stadthaus M1, Freiburg	49
Studentenwohnheim TUM, Garching	52
Stücki Einkaufszentrum, Basel.....	54
Bosco Verticale, Madrid	55
Caixa Forum, Madrid.....	57
MA48, Wien	58
Entwicklung: Verschattende Begrünung	59
Integrierte Begrünung	61
Überlagernde Begrünung.....	62
Bodengebundene Begrünung an leitbarem Bewuchs.....	62
Aufgesetzte / vorgesetzte Begrünung.....	62
Distanzbegrünung.....	63
Gefäße & Bewässerung	64
Wuchskonstruktion	64
Pflanzen	64
Modellvorhaben „WohnWerk“, Mannheim.....	65
Lage und Standort: Sonnenstandsanalyse	68
Klimadaten für das Modellprojekt Mannheim.....	69
Nutzungskonflikt.....	71
Planungs- und nachbarschaftsrechtliche Umfeld-Bedingungen des Modellprojekts	73
Chancenklärung eines energetischen / ökologischen Begrünungseinsatzes	74
Budget	74
Die Teststände für das Modellvorhaben „WohnWerk Mannheim“	75
Versuchskonzeption	75
Ziel der Teststände	77
Entwicklung der Bepflanzung der Teststände.....	78

Mittelverwendung.....	80
Ergebnis der Teststände.....	80
Ergebnisverwendung.....	82
Ergebnisse der messtechnischen Untersuchung hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes.....	83
Ergebnisse der Modellparametrierung	84
Ergebnisse der Ermittlung von Abminderungsfaktoren der Solarstrahlung durch die Verschattung am Modellprojekt.....	85
Identifikation und Einfluss von Eingangsparametern der Verschattung und deren Wirkung auf den sommerlichen Wärmeschutz sowie die Gebäudeenergiebilanz.....	86
Fazit zur Verschattungswirkung der Pflanzen	88
Funktionaler und gestalterischer Anspruchs	89
Planung und Umsetzung	91
Technische Detailplanung.....	91
Vorbereitung der Ausschreibung und Ausschreibung	93
Projektverlauf	95
Arbeitspakete und Meilensteine.....	95
Erkenntnisse und Erlerntes	96
Ökonomischer Vergleich: Variantenvergleich Prototyp Mannheim	96
Architektonische und konstruktive Integration.....	99
Wie lassen sich die technischen und baulichen Bauweisen zur Begrünung von Fassaden vereinfachen?.....	99
Bewässerungssysteme, Mess- und Regeltechnik	99
Low-Tech-Fassadenbegrünung: Mitwirkung der Nutzerinnen und Nutzern.....	100
Partizipativer Prozess und Eigenverantwortung von Nutzerinnen und Nutzern	101
Wie lassen sich die Vorteile der Begrünung vor Glas quantifizieren?.....	101
Welche Eingangsparameter können für Fassadenbegrünungen bei der Berechnung und Simulation der Temperaturverläufe im Gebäude, insbesondere für die Verschattung, abgeleitet werden?	101
Welche Abminderungsfaktoren können im Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108 oder in der Energiebilanz nach DIN V 18599 angesetzt werden?	101
Optimierung im experimentellen Prozess	102
Extremhitze	102
Mitwirkende	103
Autorinnen und Autoren	103
Weitere Mitwirkende	103
Projektpartner und weitere Fördermittelgeber	103
Kurzbiographien	104
Literaturverzeichnis.....	105
Abbildungsverzeichnis	107

Liste der Fotografinnen und Fotografen:.....	111
Tabellenverzeichnis.....	112

Kurzfassung

Die Fassadenbegrünung hat zahlreiche Vorteile: Die Anwendung vor Fenstern/Glasfassaden kann durch die Verschattungsleistung und Verdunstungskühlung der Pflanzen zu einer Verringerung der sommerlichen Überhitzung führen. Die Vegetation bietet zudem Lebensraum und Nahrung für Insekten und Vögel und unterstützt die Artenvielfalt. Das städtische Mikroklima wird positiv beeinflusst. Trotz der Vorteile kommen bei Bestands- und Neubauten begrünte Fassaden nur selten zum Einsatz, wegen hoher Kosten in Erstellung und Betrieb und wegen der fehlenden Quantifizierung der positiven Effekte.

Das vorliegende Projekt hatte zum Ziel, ein einfaches, wartungsarmes wandgebundenes System zur Begrünung von Gebäudefassaden zu entwickeln, das im verdichteten innerstädtischen Bereich einen Beitrag zur Gebäudeoptimierung, insbesondere dem sommerlichen Wärmeschutz, sowie zur Umfeldverbesserung (Verbesserung des Mikroklimas als Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel, wasserwirtschaftliche Aspekte, städtebaulich/freiraumplanerische Aspekte, naturschutzfachliche Aspekte) leistet.

Dieses Ziel konnte erfolgreich erreicht werden. Das Projekt stellt einen neuen, praxisorientierten Ansatz zur Fassadenbegrünung vor und hat dafür eine „Low-Tech“-Bauweise entwickelt, die am Beispiel eines konkreten Prototypen-Gebäudes angewendet wird. Dieses Gebäude befindet sich im repräsentativen Umfeld einer typischen Anwendungssituation: Einem fünfgeschossigen Mehrfamiliengebäude, das direkt neben dem Gelände der Bundesgartenschau 2023 in Mannheim errichtet wurde. Da im Zuge der Forschung die genaue Umsetzung und der Erfolg unterschiedlicher Varianten und Anwendungsmethoden erarbeitet und erprobt wurden, handelt es sich um einen experimentellen Entwicklungsansatz. Der Anwendungsfall ist integraler Bestandteil des Vorgehens. Gleichzeitig sind aber auch die Erkenntnisse der Systementwicklung über den Einzelfall hinaus übertragbar.

Zur Vorbereitung und erfolgreichen Umsetzung in die Praxis arbeitete das Forschungsteam mit Testständen für das Begrünungssystem, in denen unterschiedliche Einbausituationen sowie Bepflanzungen erprobt und für die Anwendung optimiert wurden. Methodisch hat das Forschungsteam die interdisziplinäre Vorgehensweise der angewandten Bauforschung gewählt, die sich aus den Disziplinen Architektur, Landschaftsarchitektur und Bauphysik speist und so in der Lage ist, den Forschungsgegenstand durch die Synergie verschiedener Perspektiven möglichst umfassend zu beleuchten und optimale Lösungen für die praktische Umsetzung zu finden.

Kernthese ist dabei, dass eine sogenannte „Low-Tech“-Bauweise, die mit einfachen baukonstruktiven und physikalischen Grundprinzipien arbeitet, robuster und nachhaltiger zu betreiben ist als die aktuell am Markt verfügbaren, komplexen High-Tech-Lösungen für eine Fassadenbegrünung.

Ein einfach konstruiertes, aber dafür robustes und verlässlich funktionierendes System mit passiver Technologie zahlt nicht nur auf Kostenschonung und nachhaltige Nutzbarkeit ein, sondern leistet durch seine Verschattungswirkung und die damit einhergehende Verringerung von Überhitzung des Gebäudes einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz. Durch die flexiblen Implementierungsvoraussetzungen kann es sowohl bei Neubauten als auch Bestandsgebäuden eingesetzt werden. Die im Verhältnis geringeren Aufwände senken die Hemmschwelle von potentiellen Nutzerinnen und Nutzern, die mit der Entscheidung für eine solche Bauweise einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Die zentrale Forschungsfragen waren:

- Wie lassen sich die technischen und baulichen Bauweisen zur Begrünung von Fassaden vereinfachen?
- Wie kann eine Begrünung der Fassaden auch vor den verglasten Flächen von Gebäuden zuverlässig eingesetzt werden?
- Wie lassen sich die Vorteile der Begrünung – insbesondere in Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz - vor Glas quantifizieren?

- Welche Eingangsparameter können für solche Fassadenbegrünungen bei der Berechnung und Simulation der Temperaturverläufe im Gebäude, insbesondere für die Verschattung, abgeleitet werden?
- Welche Abminderungsfaktoren können für unterschiedliche Bepflanzungen im Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108 oder in der Energiebilanz nach DIN V 18599 angesetzt werden?

Die Forschungsaufgabe wurde insgesamt in vier Arbeitspakete aufgeteilt:

- Paket 1 (Grundlagen und Systementwicklung),
- Paket 2 (Parametrisierung, Evaluation und Simulation),
- Paket 3 (Prototypen Tests),
- Paket 4 (Auswertung der Teststände und Verallgemeinerung durch Parameterstudie).

Im Verlauf des Forschungsprojekts hat sich die erarbeitete Bauweise im Anwendungsfall als erfolgreich implementierbar erwiesen. Der bisher seitens der Wissenschaft ausstehende rechnerische Ansatz zum Nachweis der effektiven Verschattungswirkung von Fassadenbegrünung konnte erbracht werden. Die Quantifizierung der positiven Effekte bietet nun eine mögliche Planungsgrundlage für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 in weiteren Projekten mit ähnlicher Zielsetzung.

Aufgrund der begrenzten Laufzeit des Forschungsprojekts war noch keine Langzeitbetrachtung des Einsatzes der erarbeiteten Bauweise möglich, da der Prototyp in Mannheim zu Beginn des Jahres 2023 gerade erst fertiggestellt war. Um einen umfänglichen Eindruck seiner Belastbarkeit zu erhalten, müssten für die weiteren Forschungen Umsetzungsfälle mit anderen, vom vorliegenden Anwendungsfall abweichenden Bedingungen erprobt werden. Dafür liefern die hier vorliegenden Ergebnisse eine gute Grundlage.

Der vorgestellte Prozess sieht eine enge Einbeziehung der Nutzerinnen und Nutzer bei der Implementierung und weiterführenden Pflege vor. Möglich wurde dies, weil DGJ Architektur, die die technische Detailplanung der Bauweise übernahmen, auch den architektonischen Entwurf, die Planung und Umsetzungsbegleitung des kompletten Wohngebäudes in Mannheim durchführten. Eine enge Abstimmung war daher im Rahmen der ohnehin notwendigen Abstimmungsrunden zwischen Architektin oder Architekt, Bauherrschaft und in diesem Fall auch den Bewohnerinnen und Bewohnern pragmatisch umsetzbar. Dies kann nicht in jedem zukünftigen Anwendungsfall vorausgesetzt werden. Umso mehr sei an dieser Stelle die Wichtigkeit einer ausführlichen Kommunikation und Einführung zur Konstruktion und zur weiterführenden Pflege und dem Erhalt der Anlage mit zukünftigen Anwenderinnen und Anwendern betont. Dieser Erfolgsfaktor sollte nicht unterschätzt werden.

Eine praxisorientierte Anhandgabe stellt den ökonomischen Vergleich der Varianten des Prototyps in Mannheim zu Beginn des Kapitels „Erkenntnisse und Erlerntes“ dar, in dem konkrete Kosten für unterschiedliche Ausprägungen der Fassadenbegrünung des Prototyps gegeneinander abgeglichen werden. Dabei ist ein wesentliches Erkenntnis, dass man bei einer guten Beurteilung insbesondere der Nachhaltigkeitsaspekte von Fassadenbegrünungen nicht ausschließlich von den initialen Investitionskosten ausgehen sollte. Mögliche Einsparungen durch geringe Implementierungskosten können leicht durch langwirkende Ausfallrisiken neutralisiert oder überboten werden. Außerdem sollten – jeweils am individuellen, konkreten Projekt abgeglichen – insbesondere die qualitativen Vorteile (Verschattung, Mikroklima) eingepreist werden. Eine Fassadenbegrünung sollte im Idealfall von Beginn an Teil der Planung und Kalkulation eines Bauprojekts sein.

Abstract (Deutsch)

Die konventionellen, wandgebundenen Bauweisen zur Fassadenbegrünung haben eine Reihe von Nachteilen, die einem breiten Einsatz im Wege stehen: Sie sind kostspielig in der Herstellung. Bisher war außerdem die Berücksichtigung im Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108:2013 anhand solcher gängiger Anlagen nicht möglich. Sie sind zudem hinsichtlich der Aspekte der Kreislaufwirtschaft nicht optimiert. Der Unterhalt (Pflege, Wartung, Ver- und Entsorgung) dieser gebräuchlichen Bauweisen ist arbeitsintensiv und mit hohen Kosten verbunden. Die hier vorgestellte Bauweise kann diese Nachteile weitgehend ausgleichen.

Die Begrünung von Gebäude-Fassaden hat zahlreiche Vorteile: Die Anwendung vor Fenstern/Glasfassaden kann durch die Verschattungsleistung und Verdunstungskühlung der Pflanzen zu einer Verringerung der sommerlichen Überhitzung führen. Die Vegetation bietet zudem Lebensraum und Nahrung für Insekten und Vögel und unterstützt die Artenvielfalt. Das städtische Mikroklima wird positiv beeinflusst. Trotz dieser offensichtlichen Vorteile kommen bei Bestands- und Neubauten begrünte Fassaden nur selten zum Einsatz. Grund dafür sind häufig eben jene hohen Kosten in Erstellung und Betrieb.

Für einen vermehrten Einsatz von begrünten Fassaden sind einfache, kostengünstige Bauweisen notwendig, die unabhängig von der Konstruktion des Gebäudes eingesetzt werden können. Der vorliegende Ansatz hat für eine solche Bauweise im Prototypen die positiven Effekte – im Falle des Forschungsvorhabens die Wirkung als Verschattungssystem – quantifiziert, so dass sie als Teil des Energiekonzepts berücksichtigt und bei dem Nachweisverfahren rechnerisch eingesetzt werden können (Reduktion Energiebedarf, Materialschutz/Materialökonomie, Beitrag zum Klimaschutz, wasserwirtschaftliche Aspekte, städtebaulich/freiraumplanerische Aspekte, naturschutzfachliche Aspekte).

Darin besteht der wesentliche Fortschritt der vorliegenden Forschung: Die Schaffung einer quantitativen Grundlage für den Effekt der Verschattung durch Fassaden-Begrünung. Der hier vorgestellte Rechenansatz kann für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 angesetzt werden und führt so, wissenschaftlich belegt, den Nachweis für die verschattende Wirkung von Fassadenbegrünungen.

Abstract (English)

The conventional, wall-bound construction methods for façade greening have a number of disadvantages that stand in the way of widespread use: They are expensive to produce. Until now, it has also not been possible to take them into account in the verification for summer thermal insulation according to DIN 4108:2013 using such common systems. Moreover, they are not optimised with regard to the aspects of recycling management. The maintenance (care, supply and disposal) of these construction methods is labour-intensive and associated with high costs. The construction method presented here can largely compensate for these disadvantages.

The greening of building façades has numerous advantages: The application in front of windows/glass façades can lead to a reduction in summer overheating due to the shading capacity and evaporative cooling of the plants. The vegetation also provides habitat and food for insects and birds and supports biodiversity. The urban microclimate is positively influenced. Despite these obvious advantages, green facades are rarely used in existing and new buildings. The reason for this is often the high costs of construction and operation.

In order to increase the use of green façades, simple, cost-effective construction methods are needed that can be used independently of the building's construction. The present approach has quantified the positive effects of such a construction method in the prototype - in the case of the research project, the effect as a shading system - so that they can be taken into account as part of the energy concept and used mathematically in the verification procedure (reduction of energy demand, material protection/material economy, contribution to climate protection, water management aspects, urban planning/open space planning aspects, nature conservation aspects).

This is the essential progress of the present research: the creation of a quantitative basis for the effect of shading through façade greening. The calculation approach presented here can be used for the verification of summer thermal insulation according to DIN 4108-2 and thus scientifically proves the shading effect of façade greening.

Forschungsgegenstand

Forschungslücke

Fassadenbegrünungen stellen einen möglichen Baustein zur Klimaanpassung in verdichteten urbanen Räumen dar. Neben der Verschattung der Gebäude zum sommerlichen Wärmeschutz ist eine Verbesserung des Mikroklimas durch die adiabate Kühlung und eine Biotopfunktion zu nennen. Trotz dieser Vorteile kommen Fassadenbegrünungen selten zum Einsatz. Die derzeit am Markt verfügbaren Bauweisen haben in der Regel folgende Nachteile, die einem breiten Einsatz im Wege stehen:

- Aktuelle, konventionelle Bauweisen sind kostspielig.
- Einzelne Nachweise zur Substituierung technischer Verschattungselemente durch Begrünungen vor verglasten Flächen sind zu validieren.
- Die Berücksichtigung im Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108:2013 ist derzeit nicht möglich.
- Sie sind nicht optimiert hinsichtlich des Aspektes der Kreislaufwirtschaft.
- Der Unterhalt (Pflege, Wartung, Ver- und Entsorgung) wandgebundener Fassadenbegrünungen ist aufwändig und oft mit hohen Kosten verbunden.

Ziel des Projekts war der (teilweise) Abbau dieser Hindernisse. Das Projekt hatte zum Ziel, eine einfache, wartungsarme Bauweise zur Begrünung von Gebäudefassaden zu entwickeln, die im verdichteten Bauwesen einen Beitrag zur Gebäudeoptimierung und Anpassung von Gebäuden und Städten an den Klimawandel leistet. Die positiven Effekte – im Forschungsvorhaben durch die Verschattung – sollten quantifiziert werden, so dass sie als Teil des Energiekonzepts und bei dem Nachweisverfahren berücksichtigt werden können.

Kernthese

Die Anpassung an den Klimawandel und der Rückgang der Arten ist auch in deutschen Städten zur Planungsaufgabe geworden: Acht der neun wärmsten Jahre (seit Beginn der Wettermessung im Jahr 1881) wurden seit dem Jahr 2000 gemessen (Deutsches Klima-Konsortium et al. 2021: 10). 2018 und 2022 waren mit einer Durchschnittstemperatur von 10,5 Grad Celsius die wärmsten seit Beginn der Wetteraufzeichnung in Deutschland (Quelle: Statista). Neben der Anpassung an den Klimawandel ergibt sich die Notwendigkeit, Städte und Gebäude resilient zu gestalten und insbesondere hinsichtlich steigender sommerlicher Temperaturen zu optimieren. Dafür bedarf es effektiver Verschattungsmöglichkeiten, die auch Extremwetterlagen widerstehen.

Der Kühlung der Gebäude und Vermeidung / Verringerung städtischer Hitzeinseln (heat island effect) kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Die aktive Gebäudekühlung von Bestands- und Neubauten ist hier nicht zukunftsweisend, da sie im Sommer zu einem erhöhten Energieverbrauch führt und durch Abwärme den Klimawandel befördert. Sinnvoll ist es, passive Technologien zur Kühlung von Gebäuden (weiter) zu entwickeln, beziehungsweise die Notwendigkeit zur Kühlung von Gebäuden durch einen effektiven Sonnenschutz zu reduzieren. Die Fassadenbegrünung stellt hier eine valide Alternative dar, die zudem auch noch positive Auswirkungen auf das Mikroklima und den Artenschutz entfalten kann.

Kernthese ist, dass derzeit am Markt verfügbare Bauweisen aufwendige und kostenintensive High-Tech-Lösungen sind, deren Komplexität potentiell eine Implementierungshürde darstellt. Die hier entwickelte Bauweise verzichtet im Betrieb auf komplexe technische Versorgungsstrukturen. Es werden vor allem baukonstruktive und physikalische Grundprinzipien eingesetzt, um eine einfache, robuste, wartungsarme Bauweise zu entwickeln.

Ziel des Forschungs- und Entwicklungsprojekts war es, eine kostengünstige Bauweise in Herstellung und Betrieb umzusetzen. Dazu wird der technische Aufwand für die Bewässerung der Pflanzen minimiert. Die

Anlage pumpt Regenwasser zu einer im Gebäude höher gelegenen Zisterne (z.B. auf dem Dach). Die einzelnen Kunststoffgefäße mit den integrierten Kulturtöpfen sind mit einem Wasserzulauf und -ablauf ausgerüstet. Mit einer Pumpe wird Wasser in die Kunststoffgefäße gepumpt, wodurch eine regulierte Anstauhöhe erreicht wird. Die Kulturtöpfe werden in dieser sogenannten Wurzelvegetationskammer mit Wasser, Nährstoffen und Wasser versorgt. Für diesen Aufbau sind nur wenige aktive Komponenten notwendig, was die Anlage energieeffizient und wartungsarm macht.



Abbildung 1 Pflanzkästen und Fassade. [© DGJ Architektur GmbH]

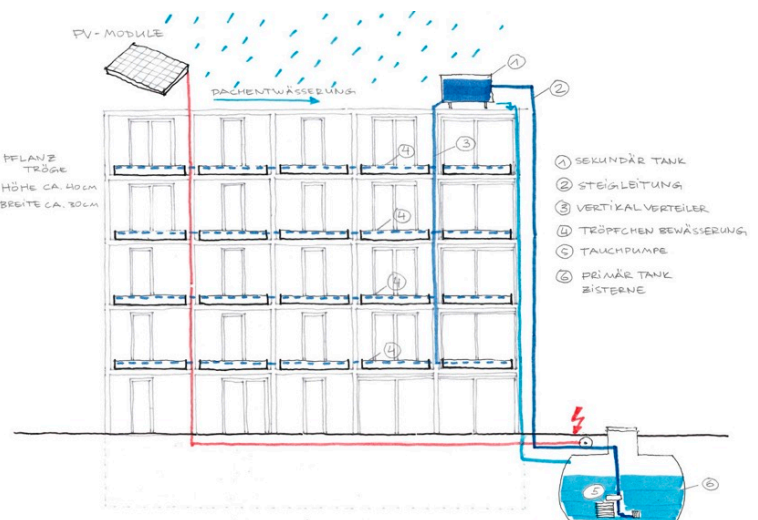


Abbildung 2 Pflanzkästen und Bewässerungsschema. [© DGJ Architektur GmbH]

Die avisierte Bauweise hat folgende Vorteile:

- Sie kann vor geschlossenen aber auch vor verglasten Flächen eingesetzt werden.
- Sie kann mit einfachen Mitteln reproduziert werden.
- Die Pflanzen werden in einfachen, substrathaltenden Kulturtöpfen in das Pflanzgefäß eingehängt. So kann dieses mit geringem konstruktivem Aufwand und minimalen bauphysikalischen Risiken installiert werden.
- Die Bauweise ist anpassungsfähig und kann vor unterschiedlichen Fassaden (Putz, vorgehängte Fassaden, Glas und vieles mehr) zum Einsatz kommen.

Evaluierung und Quantifizierung

Ein wesentlicher erreichter Fortschritt des Projekts ist es, eine quantitative Grundlage für den Effekt der Verschattung einer Verglasung durch die Begrünung erarbeitet zu haben. Erklärtes Ziel des Projekts war, einen Rechenansatz zu finden, mit dem die verschattende Wirkung der Bepflanzung für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 angesetzt werden kann. Das Vorhaben legt zudem den aktuellen Stand der Forschung zur Begrünung von Gebäuden zu Grunde. Dabei wird insbesondere auf Pfoser N./Jenner, N. et al. (2014) sowie Baumann (1980: 75) zurückgegriffen.

Aufgrund des langsamen Wachstums von Pflanzen und der relativ kurzen Laufzeit des Projekts werden die Effekte mit dynamischen Gebäudemodellen simuliert. Dabei werden die Eingangsparameter der Simulationen an bestehenden Kletterpflanzen und vergleichbaren Pflanzsituationen gemessen.

Forschungsfragen

Die zentralen Forschungsfragen sind:

- Wie lassen sich technische und bauliche Elemente zur Begrünung von Fassaden vereinfachen?
- Wie kann eine Begrünung der Fassaden auch vor verglasten Flächen von Gebäuden zuverlässig eingesetzt werden?
- Wie lassen sich die Vorteile der Begrünung vor Glas quantifizieren?
- Welche Eingangsparameter können für solche Fassadenbegrünungen bei der Berechnung und Simulation der Temperaturverläufe in Gebäude, insbesondere für die Verschattung, abgeleitet werden.
- Welche Abminderungsfaktoren können für unterschiedliche Bepflanzungen im Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108 oder in der Energiebilanz nach DIN V 18599 angesetzt werden?

Methodisches Vorgehen

In der angewandten Bauforschung wird eine prototypische Bauweise in verschiedenen Ausprägungen entwickelt, geprüft und getestet. Zudem erfasst der interdisziplinäre Ansatz sowohl architektonische, landschaftsarchitektonische und bauphysikalische Aspekte des Forschungsgegenstands und ermöglicht so die Evaluation einer ganzen Reihe von Erfolgsfaktoren, die bei einem monodisziplinären Ansatz nicht in den Blick kommen würden.

Architektur, Konstruktion und Technik (DGJ Architektur)

Für die Konstruktion der Pflanztröge / Substratbehälter, die Befestigung an den Fassaden sowie die Technik für die Wasserversorgung und Steuerung des Systems wird eine einfache prototypische Lösung entwickelt und an einem Modellvorhaben in Mannheim erprobt. Hier werden die anerkannten Regeln der Technik für die Baukonstruktion und die Haustechnik umgesetzt.

Die Forschung und die partizipative Planung des Prototypen in Mannheim haben zwei wichtige Herausforderungen für die Implementierung von Fassadenbegrünung an Wohngebäuden aufgezeigt. Erstens besteht bei einem Einsatz der Begrünung vor Glasflächen wie Fenstern oder Balkontüren ein möglicher Zielkonflikt zwischen gewünschter Verschattungswirkung und Sichtschutz auf der einen Seite und der möglichen Beeinträchtigung des Ausblicks und Lichteintrags in die Wohnungen auf der anderen Seite. Zweitens ist die erfolgreiche Implementierung und der Pflanzenerfolg in dem gewählten Low-Tech-System wesentlich von dem Engagement der Bewohnerinnen und Bewohnern abhängig.

Vegetation und mikro-ökologische Wirkung (HfWU)

Für das Pflanzenmodul wurde eine Konzeption erarbeitet, die die Ausrichtung der Fassaden, den für die Verschattung notwendigen und den für die Nutzung gewünschten Anteil der Begrünung berücksichtigen. Es sollten dabei unterschiedliche Strategien für die Bepflanzung und Verschattung ausgearbeitet werden. Für die unterschiedlichen Konzepte wurden technische und vegetationstechnisch optimale Bedingungen hinsichtlich der Größe und Geometrie der substrattragenden Medien, Bewässerung und Exposition beschrieben. Zudem wurden die Themen Hemmnisse zur Begrünung bzgl. Lichtdurchlässigkeit und Ausblick (gezielte Pflanzenwahl), Auswirkungen der Glasreflexion auf das Pflanzenwachstum und Vogelschutz bei der Entwicklung der Konstruktion und des Technikkonzepts beachtet.

Aus dem Begrünungskonzept wurden wiederum Eingangsparameter für die dynamischen Simulationen der begrünten Fassaden hinsichtlich des Wachstums (Fläche und Volumen) sowie Verschattungsgrad erarbeitet.

Im Bereich der Begrünung von Gebäuden und Fassaden gibt es zahlreiche Quellen, die herausgezogen werden können und auf denen das Vorhaben zur Auswahl der Pflanzen und der technischen Anlagen aufbaut. Aus dem Begrünungskonzept wurden wiederum Eingangsparameter für die dynamischen Simulationen der begrünten Fassaden hinsichtlich des Wachstums (Fläche und Volumen) sowie des Verschattungsgrades herangezogen. Diese wurden entsprechend dem voraussichtlichen Wachstum der Pflanzen zeitlich differenziert.

Parametrisierung, Evaluation und Simulation (INA)

Aus den Begrünungskonzepten abgeleitet, wurde eine Parameter-Studie durchgeführt, die eine dynamische Simulation generischer Wohnräume entlang u. a. folgender Parameter entwickelt:

- Größe und Ausrichtung des Zimmers,
- Größe und Anordnung der Fenster,
- U-Werte und Lichttransmission Fenstern und Hüllbauteilen,
- Anordnung und Größe der Bepflanzung,
- Saisonale Veränderung der Bepflanzung,
- Wachstum der Pflanzen über einen Zeitraum von einem bis fünf Jahren.

Aus dieser Parameter-Studie wurden zum einen plausible Mittelwerte für die erreichbare Verschattungsleistung (Abminderungsfaktor F_c) der unterschiedlichen Pflanz-Bauweisen bei unterschiedlichen Ausrichtungen in Anlehnung an DIN 4108-2, Tabelle 7 bzw. DIN V 18599-2:2011-12 A.2 abgeleitet. Zum anderen konnten auch Empfehlungen für die optimale Planung und ein Vergleich zu konventionellen Sonnenschutzsystemen erstellt werden.

Teststände: Validierung durch Messung / Anpassung der Rechenmodelle (DGJ und INA und HfWU)

Vor der Umsetzung des eigentlichen Pilotprojekts wurden in Testständen folgende Aspekte der Bauweise erprobt:

- Größe und Konstruktion der Substratträger,
- Geometrie und Anordnung von Rankhilfen, soweit erforderlich,
- Konstruktion und Funktion des Bewässerungssystems,
- Auswahl, Art und Umfang der Bepflanzung,
- Messung der Verschattungseffekte.

Als Eingangsparameter der dynamischen Simulationen wurden auch Messungen zur Verschattungsleistung sowie deren Parameter durchgeführt. Die (im Vergleich zu der Bauzeit des Modellvorhabens und dem Wachstum der Pflanzen) kurze Laufzeit der ZukunftBau-Projekte gestattet die Messung von Temperaturen und

Sonneneinstrahlung am gebauten Modellvorhaben nicht. Die Messungen wurden deshalb an Testständen/Mockups durchgeführt, bei denen die unterschiedlichen Varianten der Bepflanzungslösungen nachgebaut und messtechnisch begleitet wurden. Eingangparameter für die EN 13363: Sonnenschutzvorrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades (ISO 15099: Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations), die messtechnisch ermittelt wurden.

Zur Ermittlung des Abminderungsfaktors F_c wurde die Bestrahlungsstärke E mittels zweier Radiometer auf der unverschatteten und verschatteten Fläche gemessen. Dabei wurde das auftreffende Sonnenlicht jeweils vor dem Auftreffen auf den Sensor mittels einer mattierten Glasplatte gestreut, um den durchschnittlichen Abminderungseffekt bei ungleichmäßigem Bewuchs quantifizieren zu können.

Stand der Technik: Betrachtung von Fassadenbegrünung

Historische und aktuelle Verwendung

Der Einsatz von Pflanzen zur Begrünung von Gebäuden ist schon seit mehr als 2000 Jahren Teil der Gestaltung von Gebäuden und Städten. Mit der Optimierung von Bauweisen, Materialien und Versorgungsmöglichkeiten erweitert sich der Fokus. In den vergangenen Jahrzehnten wurden neben der klassischen Begrünung mit Kletterpflanzen auch wandgebundene Bauweisen und Mischformen zur Begrünung entwickelt. In dichten urbanen Bereichen spielen die energetischen und klimatischen Vorteile dieser Bauweisen eine große Rolle in der Umsetzung blau-grüner Infrastruktur (Pfoser, 2018). Durch die Aufklärungsarbeit vieler Beteiligten und vor dem Hintergrund von Marketingstrategien und Imageverbesserungen kommen Fassadenbegrünungen heute vermehrt zum Einsatz. Um den Ausbau dieser Bauweisen weiter voranzutreiben, werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Verschattungsleistung durch Fassadenbegrünungen sowie Themen der einfachen Bauweisen mit diesem Bericht zusammengetragen und weiter ausgebaut. Anschließend wird ein Blick auf den Zusammenhang von Fassadenbegrünungen und den bautechnischen sowie baurechtlichen Anforderungen geworfen. Abschließend werden die Erkenntnisse durch einige umgesetzte Projekte vorgestellt und kategorisiert.

Besonders die Projekte des französischen Botanikers und Künstlers Patrick Blanc haben die Aufmerksamkeit auf die vielseitigen Möglichkeiten von Fassadenbegrünung gelenkt. Als Vorreiter für wandgebundene Bauweisen hat er weltweit viele Projekte realisiert und in Zusammenarbeit mit renommierten Architekten gelangten seine ‚Vertikalen Gärten‘ in das öffentliche Interesse. In Paris begrünete er 1998 den Eingang der Fondation Cartier.

Herzog & DeMeuron arbeiteten 2008 zusammen mit Blanc in Madrid am Caixa Forum. Blanc entwickelte den ‚vertikalen Garten‘ aus einem vertikal gespannten Geovlies, in dem die Pflanzen in Schlitzungen und kleinen Taschen wachsen. Die Bauweise kommt weitgehend ohne Substrat aus und kann so eine große Pflanzenvielfalt mit Arten unterschiedlicher Ansprüche aufnehmen.

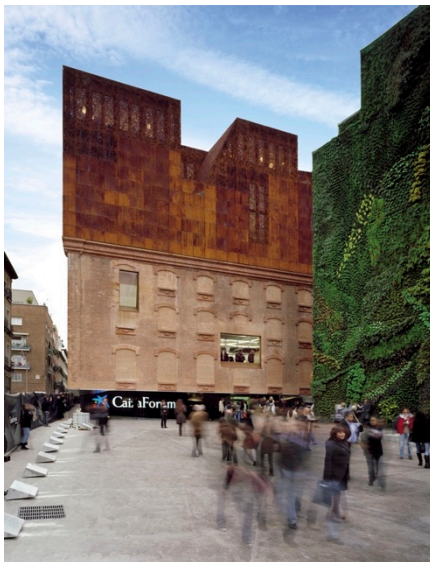


Abbildung 3 CaixaForum in Madrid,
wandgebundene Begrünung durch Patrick
Blanc [Foto: © Roland Halbe; 2008: CaixaForum
Madrid. Bauwelt (13): 16-27; Text: David Cohn.]

Heute werden Fassadenbegrünungen weltweit in den immer dichter werdenden Städten mit immer höher wachsenden Gebäuden eingesetzt und gewinnen zunehmende Relevanz als Instrument für eine nachhaltige klimaangepasste Stadtentwicklung. Auch durch den zunehmenden Versiegelungsgrad und Flächendruck werden diesen Bauweisen in der Zukunft große Potentiale zugesprochen.

Beispielhaft soll Ho-Chi-Min-City erwähnt werden, wo es eine hohe Dichte an realisierten Fassadenbegrünungen gibt. Dort herrscht ganzjährig ein warmes tropisches Savannenklima mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 29 °C. Aufgrund der mit den unterschiedlichen Klimazonen einhergehenden Differenzierung in der Bautechnik und Botanik, wird der Fokus im vorliegenden Forschungsbericht allerdings auf die gemäßigten Breiten Mitteleuropas gelegt.



Abbildung 4 „Urban Farming“ am Büro, Ho-Chi-Minh-Stadt, Vietnam. [Foto: © Hiroyuki Oki. In: ArchDaily: Urban Farming Office / VTN Architects. Zugriff: https://www.archdaily.com/995655/urban-farming-office-vtn-architects/63d78772760dd253a38e6edd-urban-farming-office-vtn-architects-photo?next_project=no [abgerufen am: 06.03.2023].



Abbildung 5 Fassadenbegrünung an Le Corbusiers Mill Owners' Association Building in Ahmedabad, Indien. [Foto: ©: Thomas Winwood Mckenzie. In: Arch Daily, o. J.: AD Classics: Mill Owners' Association Building / Le Corbusier. Zugriff: https://www.archdaily.com/464142/ad-classics-mill-owners-association-building-le-corbusier?ad_medium=gallery [abgerufen am 02.03.2023].

Insgesamt nimmt die Betrachtung von Literatur zur Fassadenbegrünung in der jüngsten Vergangenheit zu. So werden den Fassadenbegrünungen, neben einigen Spitzenwerten um 1984 („Öko-Bewegung“) und von 1992 bis 1998 („Vertikale Gärten“, Patrick Blanc), von 2006 bis heute zunehmende Bedeutung beigemessen. Die steigende Relevanz, insbesondere in den Themenfeldern Gestaltung und Umsetzung, ist vor allem auf die Anpassungen auf heutige Trends in der Stadtentwicklung (Brisanz des Klimawandels, Zielsetzung Ressourcenschutz, Themen der Nachhaltigkeit, etc.) zurückzuführen (vgl. Pfoser 2018: 19).

Wirkungsweisen von Fassadenbegrünung

Die Folgen des Klimawandels zeigen sich in den letzten Jahren immer deutlicher – gerade in den dicht besiedelten Räumen der Stadt. Durch Flächenversiegelung und einen Mangel an Grünräumen verstärken sich

die negativen Klimaeffekte, wie Überhitzung von Gebäuden und Stadträumen. Die Unterschiede zwischen dem ländlichen Raum und dem Stadtklima sind erheblich – Wärmeinseln (heat islands) in Städten sind eine direkte Folge des Klimawandels.

Wärmeinseln stellen sich als besondere Belastung für die Stadtbewohnerinnen und -bewohnern dar. Typisch für das Stadtklima sind die Reduktion von Wind, nächtlicher Abkühlung und Verdunstungsleistung. Vermehrt treten Bewölkung, Nebel und Smog auf. Der Deutsche Wetterdienst rechnet mit einem erheblichen Zuwachs von „Sommertagen“ (Tage mit einer Temperatur von über 25 °C). Damit könnte sich die hitzebedingte Sterberate um 1 bis 6 Prozent pro einem Grad Temperaturanstieg erhöhen (Umweltbundesamt, 2021).

Begrünungen können einen wichtigen Beitrag zur Anpassung der Städte an den Klimawandel leisten. Sie müssen erhalten und weiter ausgebaut werden. Mit der Entsiegelung von Flächen sind sie ein wichtiger Schritt, um die Verdunstung zu steigern, Verschattungen zu bieten und so die Überhitzung vom Stadtraum zu minimieren. Die Begrünung von Gebäuden an Stellen, wo eine Versiegelung nicht vermieden werden kann, ist eine sinnvolle Möglichkeit zur klimatischen Verbesserung der Gebäude und der Umgebung. Gleichzeitig lässt sich auch das Wohlbefinden von Nutzerinnen und Nutzern steigern.

Im Folgenden werden die Wirkungsweisen von Fassadenbegrünungen betrachtet. Diese lassen sich in zwei Bereiche unterscheiden. Zum einen wirkt eine Begrünung direkt auf das Gebäude (Gebäudeoptimierung), zum anderen verbessern Pflanzen ihr direktes (städtisches) Umfeld (Umfeldverbesserung) (vgl. Pfoser 2018: 29f.).

Ein Motivationsgrund ein Gebäude zu begrünen liegt in den positiven Auswirkungen auf das Gebäude selbst. So kann eine Begrünung in hohem Maße unterstützend wirken, in dem sie bspw. Sonnenschutzfunktionen übernimmt bzw. anströmende, überhitzte und staubbelastete Außenluft durch ihre Verschattungs- und Verdunstungsleistung abkühlt. Allgemein hilft eine intakte Begrünung, extreme Temperaturschwankungen zu reduzieren, Bauteile zu schonen und deren Lebensdauer zu verlängern. Eine gute geplante und frühzeitig integrierte Fassadenbegrünung kann den Primärenergiebedarf für die Kühlung des Gebäudes um 50 % reduzieren sowie die Kosten für Wartung und Reparatur jährlich um bis zu 90 % im Vergleich zu einem herkömmlichen technischen Sonnenschutzsystem senken (vgl. Marco Schmidt – Datenerhebungen am begrüntem Institut für Physik der Humboldt-Universität Berlin, Berlin Adlershof).

Des Weiteren bieten Fassadenbegrünungen ein hohes Potenzial der Umfeldverbesserung mit vielfältigem Nutzen für die Stadt. Sie sorgen für sommerliche Verdunstungskühlung, Beschattung und ausgleichende Luftbefeuchtung. Sie regulieren das Umgebungsklima, wirken Temperaturextremen entgegen und verbessern die Luftqualität durch Feuchteregulation, Sauerstoffproduktion und Feinstaubbindung.

Im Folgenden werden zuerst die Gebäudeoptimierungen und anschließend die Umfeldverbesserungen beschrieben.

Gebäudeoptimierung

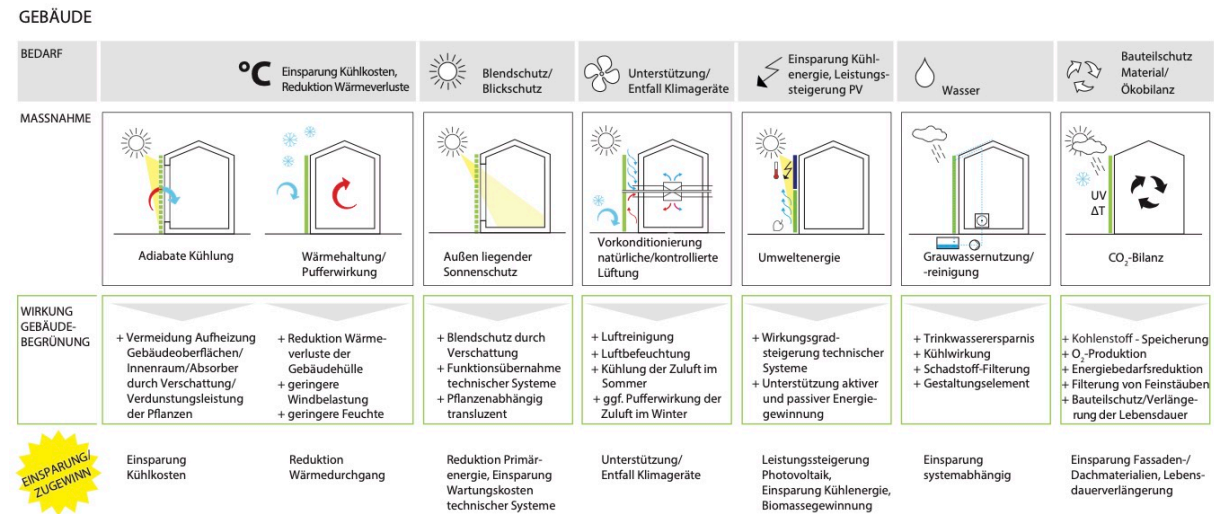


Abbildung 6 Darstellung der Gebäudeoptimierung durch Fassadenbegrünungen. [© Pfoser 2016: 88]

- Sonnenschutz**
 Die Verschattungsrate von Fassadenbegrünung kann bei 70–95 Prozent liegen (vgl. Kießl + Rath 1995). Das Blattwerk absorbiert, bzw. reflektiert 40–80 Prozent (vgl. Baumann 1980) der solaren Einstrahlung (vgl. Kießl + Rath 1995). Dadurch ergibt sich ein Abminderungsfaktor von 0,62 bis 0,3 nach DIN 4108. Fassadenbegrünungen können den Primärenergieverbrauch um bis zu 26 Prozent (vgl. Baumann 1980) senken und eine maschinelle Kühlung teilweise ersetzen.
- Oberflächentemperatur**
 Fassadenbegrünungen mindern die Überhitzung von Gebäuden durch geringere Temperaturamplituden auf der Fassadenoberfläche. So heizt sich das Gebäude im Sommer weniger auf und die Kühlleistung kann verringert werden. Verschiedene Studien zeigen eine reduzierte Oberflächentemperatur am Gebäude zwischen 8 und bis zu 19 °C (vgl. Pfoser 2016).
- Wärmeerhaltung**
 Durch die konstruktionsbedingte Luftschicht zwischen Fassade und Begrünung entsteht eine Pufferschicht, wodurch Wärme besser gehalten und die Auskühlung durch Wind verringert wird (vgl. Köhler 2012).
- Tageslicht**
 Der Einsatz von begrüntem Verschattungselementen kann den Blendschutz im Inneren des Gebäudes erhöhen und so technische Systeme substituieren.
- Luftreinigung / Schadstoffbindung**
 Pflanzen haben eine natürliche Filterwirkung und erhöhen die Luftfeuchtigkeit. Durch die Sogwirkung wird Luft hinter den Begrünungen angesaugt. So finden eine natürliche Kühlung und Anreicherung mit Sauerstoff und Feuchtigkeit statt. In Verwendung einer dem Gebäude angepassten Begrünung kann eine mechanische Kühlung in Teilen substituiert werden, bzw. im Zusammenspiel mit zusätzlicher Technik eine effiziente Kühlung erzeugen.
- Wassernutzung**
 Für die Bewässerung von Fassadenbegrünungen kann das Grauwasser genutzt werden. So kann der Wasserkreislauf eines Gebäudes optimiert und Abflussbeiwerte verringert werden. Außerdem wird Regenwasser in Substraten und im Blattwerk der Begrünung rückgehalten.
- Materialität**
 Begrünte Fassaden können Fassadenmaterialien wie Dämmung und Teile der äußeren

Fassadenverkleidung substituieren. Dadurch lassen sich Ressourcen und Primärenergie einsparen. Fassadenbegrünungen dienen zudem als Schutz der Gebäudeoberfläche vor Schäden durch Witterungseinflüsse.

- **Ökonomische Vorteile**

Die physikalische Wirkung der Fassadenbegrünung, wie verringerte Temperaturamplituden oder Reduktion des solaren Eintrags, führen zu einer direkten Einsparung von Kosten im Betrieb des Gebäudes.

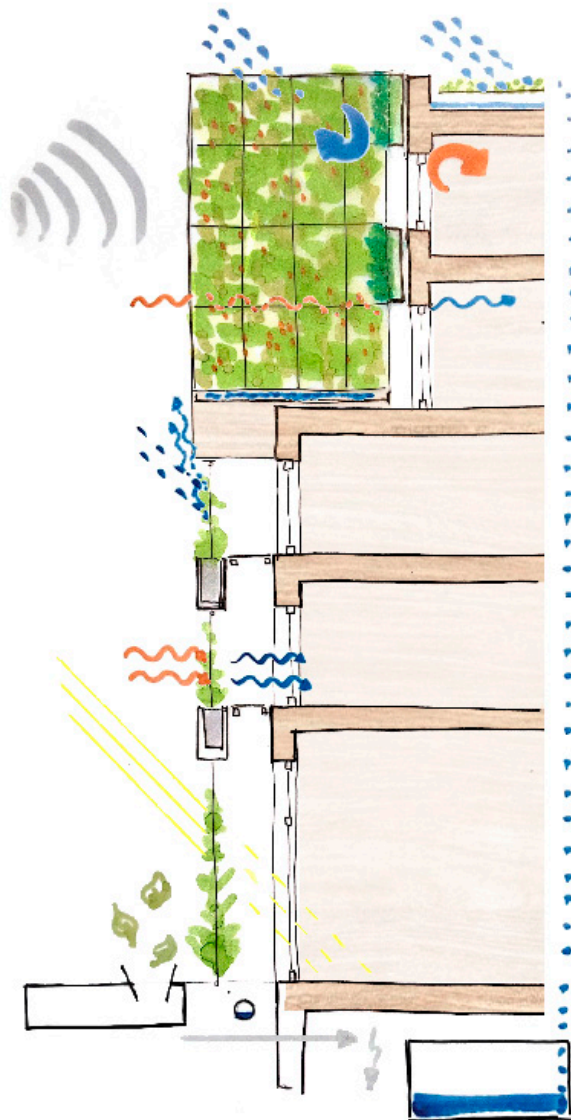


Abbildung 7 Skizze der Funktion einer Fassadenbegrünung.
[© DGJ Architektur GmbH]

Umfeldverbesserung

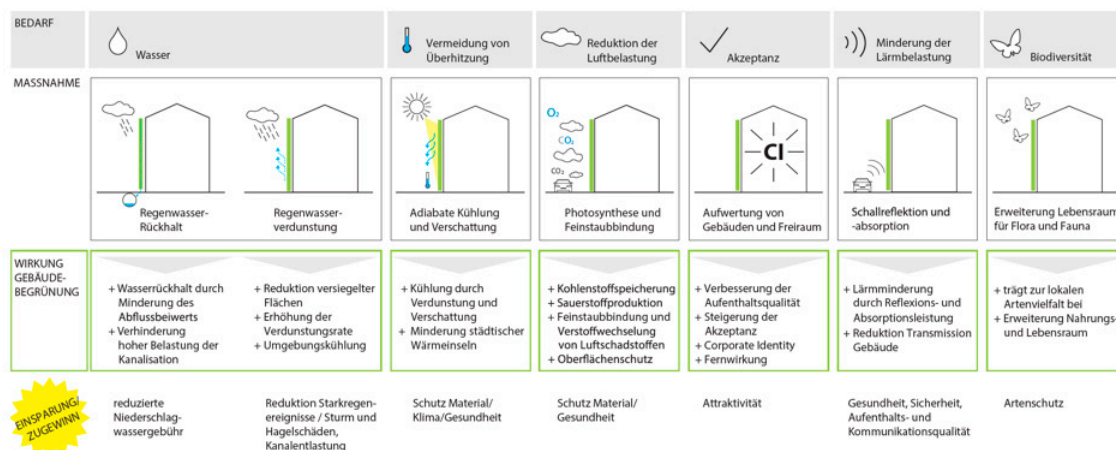


Abbildung 8 Darstellung der Umfeldverbesserung durch Fassadenbegrünung. [© Pfoser, N.: Gutachten Fassadenbegrünung]

- **Wasserhaushalt**

Fassadenbegrünungen leisten einen Beitrag zur Reduktion von versiegelten Flächen. Regenwasser wird in der Begrünung rückgehalten und bei späterer Verdunstung wieder an die Umgebung abgegeben. So können Kanalisationen entlastet und die Umgebung gekühlt werden. Begrünung von Bauwerken kann sich durch erhöhte Verdunstung auf den Wasserkreislauf auswirken und zu einer Erhöhung von Niederschlägen führen.

- **Vermeidung Überhitzung**

Die Oberflächenreflektion von langwelliger Strahlung in die Umgebung wird durch Begrünung gebrochen und stark reduziert. Zusätzlich können durch Verschattung und Kühlung sommerliche Überhitzung vermieden werden.

- **Reduktion der Luftbelastung**

Durch die Speicherung von Kohlenstoff und die Abgabe von Sauerstoff wird die Luftqualität stark verbessert. Pflanzen dienen zudem als Filter für Luftschadstoffe wie Feinstaub und Stickoxiden.

- **Aufenthaltsqualität / Psychologische Vorteile**

Grünräume wirken sich positiv auf die physische und psychische Gesundheit aus. Begrünte Oberflächen erhöhen die Aufenthaltsqualität. Die Akzeptanz von Fassadenbegrünungen ist in den letzten Jahren stark gestiegen (Pfoser 2018) und wirkt sich positiv auf Vermarktung und Image aus.

- **Sichtschutz und Privatsphäre**

Gerade im dichten städtischen Kontexten können Pflanzen an und zwischen den Gebäuden einen Sichtschutz und damit eine größere Privatsphäre schaffen.

- **Minderung der Lärmbelastung**

Schall breitet sich radial von der Geräuschquelle aus. Im dichten Stadtraum addieren sich verschiedenste Lärmquellen zu einem hohen Lärmpegel und werden von harten Oberflächen reflektiert. Die Pflanzenmasse und das Substrat können die Schallenergie aufnehmen und durch Reflexion und Umwandlung in mechanische Energie die Umgebungslautstärke mindern.

- **Biodiversität**

Die naturfremden Oberflächen von Bauwerken können durch Begrünung den Lebensraum für Tiere und Pflanzen verbessern. „Die Vielfalt der städtischen Fauna ist zugleich ein Maß für die Lebensqualität der Menschen“ (Pfoser 2018: 139). Bei der Auswahl von Pflanzen sollten dem

Standort angepasste Pflanzen bevorzugt werden. Invasive Arten sind zu vermeiden, um eine Ausbreitung von ortsfremden Pflanzen zu unterbinden.

Schlussfolgerung: Verbesserung der Umwelt durch Fassadenbegrünungen

Fassadenbegrünungen wirken sich in vielerlei Hinsicht positiv aus. Für die Nutzerinnen und Nutzer des Gebäudes steigt das Wohlbefinden und die Aufenthaltsqualität. Die Gebäudeoptimierung zeigt sich in ökologischer wie in ökonomischer Hinsicht. Durch eine Reduktion von technischen Elementen der Bauweise können Lebenszykluskosten reduziert werden. Ökologische Vorteile ergeben sich besonders für die Umgebung.

Die Exposition der Pflanzen am Gebäude, die Versorgung mit Licht und Wasser, die Aussetzung von Windanströmung wirken sich direkt auf die Vitalität der Pflanzen aus. Um die gewünschte Wirkungsweise zu erzielen, sollte das Gedeihen der Pflanzen im Fokus der Planenden stehen. Dafür müssen die Versorgungstechnik der Pflanzen und die konstruktiven Kriterien entsprechend entworfen und ausgeführt werden.

Aus konstruktiver Sicht lassen sich Fassadenbegrünungen zur Optimierung der Wärmehaltung und zur Reduktion von Überhitzung einsetzen. Die Effekte werden durch eine beruhigte Luftschicht bzw. durch den mehrschichtigen Aufbau von Begrünung erzeugt. Die dämmende Wirkung ist dabei stark abhängig von Bewuchsdicke und -dichte, Substratstärke und -feuchte, und der vorhandenen Dämmung. Messungen aus verschiedenen Studien wiesen Temperaturerhöhungen bis zu 7 K bei wandgebundenen Bauweisen nach (vgl. Magistratsgebäude MA 48 in Wien, s. a. Scharf, Pitha, Oberarzbacher 2012). Die Auswertung ergaben, dass sich ohne eine flächige Außendämmung der Wärmeverlust um 50 Prozent reduzieren lässt. Bodengebundene Begrünungen wirken sich erst bei hoher, immergrüner Blattmasse positiv auf den Wärmehalt aus. Zusammen mit einer Verschattungsleistung durch Bauwerksbegrünung kann ein Gebäude so einen maßgeblichen Teil zur thermischen Optimierung der Innenräume leisten. Die Studienlage zur Verschattungsleistung ist bisher gering.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Fassadenbegrünungen einen Beitrag zu Umfang und Vielfalt des Stadtgrüns leisten und auf vielen Ebenen sowohl das Gebäude wie auch das Umfeld verbessern.

Formen der Fassadenbegrünung

Das zunehmende Interesse an Fassadenbegrünungen und die Entwicklung neuer Bauweisen in den letzten Jahren machen eine Kategorisierung der verschiedenen Formen von Fassadenbegrünung notwendig. Grundsätzlich lassen sich Fassadenbegrünungen in drei Kategorien unterteilen:

- Bodengebundene Begrünung
- Wandgebundene Begrünung
- Mischformen

Im Folgenden sollen diese Bauweisen vorgestellt werden und anhand weiterer Parameter, wie Anwendungsbereich, Konstruktion, Pflanzenwahl, Erscheinungsbild und Anforderungen an die Versorgung, differenziert werden. Zahlreiche Praxisbeispiele zeigen, dass die örtlichen Gegebenheiten auch eine Kombination bodengebundener und wandgebundener Bauweisen zulassen (Mischformen).

Bodengebundene Fassadenbegrünung

Direktbewuchs

In diese Gruppe fallen Pflanzen der Selbstklimmer, die sich durch ihre Haftorgane direkt am Untergrund festhalten. Sie können bis zu einer Höhe von 25 Meter und gegebenenfalls darüber hinaus wachsen und tragen das Eigengewicht sowie Wind- und Schneelasten selbst (Pfoser: 2021). Die Pflanzen wurzeln im Boden und versorgen sich selbst mit Wasser und Nährstoffen.

Das Pflanzenwachstum direkt an der Fassade bildet mit der Zeit eine Überlagerung der Architektur aus. Typisch sind für den westeuropäischen Raum Bewuchs aus Efeu oder wildem Wein. Das Bild der Fassade ändert sich durch das natürliche Wachstum und gegebenenfalls durch den jahreszeitlichen Verlauf. Regelmäßiger Schnitt kann die ungewünschte Ausbreitung des Bewuchses verhindern.

Um Schäden am Gebäude zu vermeiden eignen sich ausschließlich geschlossene und fugenfreie Oberflächen. Vor Fenstern und anderen Öffnungen muss ein regelmäßiger Rückschnitt erfolgen oder durch bauliche Maßnahmen (Wuchsbegrenzungen) das Einwachsen in baulich sensible Bereiche verhindert werden. Die Wuchsrichtung ist abhängig von den Bedingungen des Standortes. Selbstklimmer lassen sich schwer leiten – dies sollte bei der Planung berücksichtigt werden. Mit zunehmendem Wachstum und Ausbreitung der Begrünung steigt der Pflegeaufwand. Durch die Entfernung von Direktbewuchs wird aufgrund der verbleibenden Haftorgane in der Regel eine Renovierung der Fassadenoberfläche notwendig.

Bewuchs an Sekundärkonstruktion

Gerüstkletterpflanzen werden anhand ihrer Klettereigenschaften und den daraus resultierenden Anforderungen unterteilt. Wie auch die Direktbegrünungen stellen sie Anforderungen an den Boden, sind jedoch auf eine leitende Struktur angewiesen. Gerüstkletterpflanzen kommen auch beim Obstbau, wie dem Anbau von beispielsweise Weintrauben oder Kiwis zum Einsatz und schaffen eine Verbindung von Architektur und Pflanzen. Durch die separate Wuchsebene erweitert sich der Möglichkeitsraum für den Einsatz von Begrünungen (zum Beispiel vor Glasfassaden). Mit der Wahl geeigneter, in die Gestaltung des Gebäudes integrierter Kletterhilfen kann ein ästhetisches Gesamtkonstrukt aus Fassade und Pflanze entstehen (Vgl. Stadthaus M1 Freiburg). Eine Sonderform stellt das Spalierobst dar.



Abbildung 9 Stadthaus M1 von Barkow Leibinger Gesellschaft von Architekten mbH, Freiburg im Breisgau.
[Foto: © Zooney Braun. In: Arch Daily, o. J.: Stadthaus M1 / Barkow Leibinger. Zugriff:
<https://www.archdaily.com/546225/stadthaus-m1-barkow-leibinger> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Das Erscheinungsbild von leitbarem Bewuchs ist durch eine sekundäre Struktur vor dem Gebäude zur Aufleitung der Pflanzen geprägt, ohne die die Pflanzen nicht ihre natürliche Wuchshöhe erreichen würden. Die Wuchshilfen können im Aufbau, der Struktur oder der Materialität stark variieren. So können unter anderem lineare oder Netz-/Gitterstrukturen bis hin zu baulichen Anlagen wie außenliegende Treppenhäuser oder Balkone als Wuchshilfen dienen. Bei einer integrativen Planung sind Wuchshilfen Teil der Gebäudeerscheinung und gelten als bauantragsrelevant.

Die vorgelagerte Wuchsebene lässt die Begrünung vom Gebäude unabhängig werden. Kletterpflanzen bilden im Gegensatz zum Direktbewuchs keine eigene Statik aus, sondern sind auf die Wuchskonstruktion angewiesen. Die Gesamtlasten können über eigene Fundamente oder über die Tragebene des Gebäudes abgeführt werden. Sollte bei der Ausbildung von Wuchshilfen die Dämmebene durchdrungen werden, ist darauf zu achten, Wärmebrücken zu minimieren. Um eine Beschädigung der Fassade zu vermeiden ist der Abstand zwischen Fassadenebene und Wuchsebene in Abhängigkeit von der Pflanzenauswahl zu bestimmen. Werden große Wandabstände benötigt, sollte eine statisch unabhängige Konstruktion gewählt werden.



Abbildung 10 Stadthaus M1, Freiburg. [Foto: © van Lier, Kilian, 2021]

Wandgebundene Begrünung

Horizontale Vegetationsflächen

Eignet sich die Bodenbeschaffenheit nicht oder soll die Begrünung in größerer Höhe eingebracht werden, kann auf eine wandgebundene Begrünung zurückgegriffen werden. Wandgebundene Bauweisen in Form von Linearbehältern folgen in ihrer Gestaltung den klassischen Blumenkästen. Aber auch punktuelle Begrünungen in Form von Einzelbehältern sind ein mögliches Konzept.

Der Gestaltungsspielraum ist groß. Gerüstkletterpflanzen, Gräser und Moose, bis zu Sträuchern und Bäumen, können je nach möglichem Substratvolumen eingesetzt werden. Der Aufbau einer solchen Fassadenbegrünung kann von einer dichten Bepflanzung bis zu einer punktuellen Begrünung reichen. Wandgebundene Begrünungen lassen sich gut aufgrund der verschiedenen Wirkungsweisen in einer ganzheitlichen Planung und eine Gebäudeoptimierung einbeziehen.



Abbildung 11 Novartis campus, Basel. [Foto: © Novartis. In: Openhouse Basel, 2023: Novartis Campus – Highlights am Rhein (2022). Zugriff: <https://openhouse-basel.org/orte/novartis-campus-highlights-am-rhein-2/> [abgerufen am: 02.03.2023].]

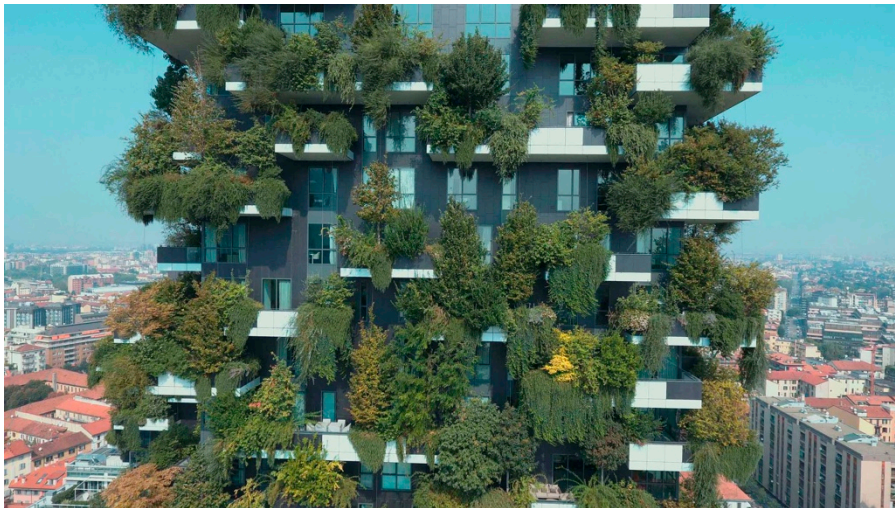


Abbildung 12 Bosco Verticale, Mailand. [Foto: © Stefano Boeri Architetti, o. J.: Vertikal Forest. Zugriff: <https://www.stefano-boeri-architetti.net/en/project/vertical-forest/> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Wandgebundene lineare Begrünungen sind wie bodengebundene Kletterpflanzen unabhängig von der Fassadenkonstruktion. Die Tragstruktur für die Pflanzbehälter kann auf vorhandenen Auskragungen oder direkt an der Primärstruktur befestigt werden. Auch hier sollten Wärmebrücken minimiert werden, um Gebäudeschäden zu verhindern. Bei nachträglicher Aufrüstung mit Fassadenbegrünung oder auch bei großen Wandabständen können separate Konstruktionen zum Einsatz kommen. Da die Pflanzen in einem Behälter wachsen, müssen neben der Pflanzmasse auch Wind- und Schneelasten und die Lasten von Substrat und dessen Feuchtegehalt statisch berücksichtigt werden. Die Versorgung der Pflanzen kann manuell oder im besten Fall durch eine Bewässerungsanlage gewährleistet werden. Eine Drainage verhindert das Überlaufen und eine Überfeuchtung des Substrats (Pfoser 2018).

Modulare senkrechte Vegetationsflächen

Bei vertikalen Begrünungen wird der Pflanzbehälter aufgerichtet. So entsteht eine Flächenwirkung und die Möglichkeit andere Materialien zu substituieren. Für die Bepflanzung der Module eignen sich Stauden, Kleingehölze oder Moose. Kletterpflanzen eignen sich bedingt. Modulare Begrünungen können sich, vollflächig eingesetzt und vorgehängt hinterlüftet, durch ihre Aufbaustärke positiv auf die Wärmehaltung von Gebäuden auswirken. Die klare Begrenzung des Pflanzenwachstums ermöglicht eine planbare Einhaltung von Grenzabständen und unterstützt die Planungs- und Rechtssicherheit (Pfoser 2018). Vorteile ergeben sich durch die Austauschbarkeit einzelner Module. Nachträgliche Ergänzungen sind möglich.

Der modulare Aufbau der Fassadenbegrünung wirkt sich auf das Erscheinungsbild der Fassade aus. Durch Vorkultivierung der Pflanzen lässt sich eine Sofortwirkung erzielen. Die Wahl der Pflanzen ist vielfältig und lässt einen großen Gestaltungsspielraum zu, der sich jahreszeitlich verändern kann. Die Montage kann bündig mit anderen Fassadenoberflächen erfolgen und so ein anspruchsvolles Erscheinungsbild ergeben (Pfoser, 2018).



Abbildung 13 Senkrechte Grünfassade des MA48, Zentrale der Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und zugehörigen Fuhrparks in Wien. [Foto: © C. Fürthner/MA 20. In: Stadt Wien, 2020: Grünfassade der MA 48 feiert 10. Geburtstag. Zugriff: <https://www.wien.gv.at/presse/bilder/2020/07/15/ma48-zentrale> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Die Modulgrößen richten sich bei händischer Montage nach der Dimensionierung und dem Gewicht, das sich maßgeblich aus dem Substrat und der Materialität des Moduls ergibt. Bei einer Montage mit Hebezeugen können die Größen freier gewählt werden. Die Module sind in der Regel auf der Rückseite mit einer Abdichtung versehen, um einen Feuchteübertrag an das dahinterliegende Bauteil auszuschließen. Eine Hinterlüftung der Module ermöglicht den Abtransport von Feuchtigkeit. Die Montage erfolgt auf einer Unterkonstruktion, die die Lasten an die Primärkonstruktion weiterleitet oder über eine vorgestellte Konstruktion auf ein separates Fundament. Die Aufbaustärke variiert je nach Anbieter zwischen 1–25 cm, zuzüglich Begrünung (Pfoser, 2018). Die Versorgung erfolgt über Leitungssysteme, die nicht sichtbar verlegt werden. Unterhalb der letzten Modulreihe sollte ein Überlauf installiert werden.

Senkrechte Vegetationsflächen

Die flächige Bauweise (Beispiel: CaixaForum) unterscheidet sich in ihrer homogenen Oberfläche und Konstruktion von der modularen Bauweise. Auf einzelne Pflanzbehälter wird verzichtet. Die Kultivierung der Pflanzen erfolgt in der Regel auf Geotextilien, auf Textil-Substrat-Kombinationen oder auf nährstofftragenden Wandschalen (Pfoser 2018). Bekannt geworden ist diese Bauweise vor allem durch den Künstler und Botaniker Patrick Blanc, der in Zusammenarbeit mit renommierten Architekten sogenannte „Vertical Gardens“ bzw. „Living Walls“ geschaffen hat.

Bei der Gestaltung von flächigen Fassadenbegrünungen wird die substrattragende Schicht erst nach der Montage begrünt. Eine Vorkultivierung ist aus diesem Grund nur bedingt möglich. Bei der Gestaltung ist der jahreszeitliche Wechsel zu beachten und in die Wahl der Bepflanzung einzubeziehen. Neben Kleingehölzen und Stauden eignen sich auch Moose und Flechten zur flächigen Begrünung.

Flächige Begrünungen können sowohl direkt an der Fassade angebracht, oder über eine Unterkonstruktion mit einer Hinterlüftung montiert werden. Um die Begrünung mit Wasser und Nährstoffen zu versorgen, werden Tropfschläuche in der Substratebene verlegt. Dies erfordert eine bautechnisch gute Abdichtung zur Primärkonstruktion oder einen entsprechend ausreichenden Hinterlüftungsabstand. Durch die Direktmontage und den flächigen Verbau ist eine wartungsfreie Unterkonstruktion zu wählen.

Mischformen

Durch die Kombination von Boden- und wandgebundenen Bauweisen lassen sich die jeweiligen Vorteile kombinieren. Mit der Begrünung auf verschiedenen Ebenen des Gebäudes kann Verschattungswirkungen, Sichtschutz und Verdunstungsleistung in einem verkürzten Zeitraum erreicht werden.

Mischformen von boden- und wandgebundenen Begrünungen können gestalterisch entweder auf eine Kontrastwirkung der verschiedenen Typen setzen oder auf ein einheitliches Wuchsbild mit einer gleichen Pflanzenwahl auf verschiedenen Ebenen. Die Pflanzebene kann direkt an der Fassade liegen oder als Distanzbegrünung ausgeführt werden.

Je nach Wahl der Begrünungsform müssen unterschiedliche bauliche Voraussetzungen in der Planung berücksichtigt werden.

Bautechnische Anforderungen

Nach der Betrachtung der Wirkungsweisen sowie möglicher Formen von Fassadenbegrünungen, werden in diesem Abschnitt die bautechnischen Anforderungen erläutert. Ausgehend vom Wandaufbau werden der Fußpunkt bei bodengebundener Bepflanzung sowie die Anbringung von Pflanzgefäßen und Wuchshilfen an der Primärkonstruktion näher erläutert. Grundsätzlich erfordert eine Fassadenbegrünung je nach Wandkonstruktion und Pflanzen eine individuelle Auseinandersetzung mit der spezifischen Wandkonstruktion und eine interdisziplinäre Planung, um Schäden am Gebäude vorzubeugen und einen möglichst langlebigen Bewuchs zu erzielen.

Im Anschluss an die Betrachtung der Detailpunkte sollen weitere Detaillierungen in einem Exkurs besprochen werden:

- Nachträgliche Montage von Kletterhilfen
- Holzbau und Fassadenbegrünung

Wandaufbau

Der Wandaufbau spielt eine entscheidende Rolle bei der Auswahl der Begrünung. Eine sorgfältige Klärung der Bauweise ist vor der Planung einer Begrünung unerlässlich. Grundsätzlich kann jedoch nahezu jeder Wandaufbau, sowohl bodengebunden als auch wandgebunden, begrünt werden. Entscheidend ist die Oberfläche und die Materialität der Gebäudehülle. Eine massive Fassade intakt/mit verschlossenen Fugen kann direkt bewachsen werden. Weist das Gebäude offene Fugen auf, sollte eine separate Ebene zur Begrünung mit Gerüstkletterpflanzen errichtet werden. Negativ phototrope (lichtfliehende) Pflanzen können in Fugen einwachsen und durch anschließendes Dickenwachstum Schäden am Bauwerk anrichten. Zum Einsatz starkschlingender Pflanzen sind stabile Wuchskonstruktionen und ein erhöhter Pflegeaufwand unerlässlich. Der Abstand von Pflanzebene und Gebäude ergibt sich aus dem Begrünungstyp und der Pflanzart. Um Pflanzkästen und oder Kletterhilfen zu montieren, ist es grundlegend, dass die Statik der Primär- und Sekundärkonstruktion auf die entsprechenden Lasten ausgelegt ist (s. a. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 2018, Kap. 7). Neben den bautechnischen Anforderungen können architektonische Aspekte die Auswahl der Begrünungsform einschränken. Gründe können Denkmalschutz, Nutzungskonflikte (Ausblick) oder besonders charakterisierende Fassadengestaltung (FLL Richtlinie, 2018) sein. Gleichzeitig kann Fassadenbegrünung aber auch den Charakter eines Gebäudes stärken und eine gestalterische Wirkung entfalten.

In der folgenden Tabelle werden verschiedenen Wandaufbauten gegenübergestellt und mögliche Begrünungsformen aufgezeigt.

Ungedämmte Außenwände	Begrünungsformen und konstruktive Voraussetzungen	Gedämmte Außenwände
Massive Wandaufbauten	Alle Begrünungsformen. Selbstklimmer: pflanzenphysiologisch geeigneter Haftgrund	Massive Wandaufbauten
	Alle Begrünungsformen. Negativ fototrop: geschlossene Fugen und intakte Außenhülle	
Ständer- und Fachwerkbauweise	Systematisch Fugen, daher separate Pflanzebene, ggf. saisonal (sommergrün)	Ständer- und Fachwerkbauweise
	Verankerung im Traggerüst	
	Durchbindende wärmebrücken-reduzierte Halterungen	
Luftkollektorfassaden zur Direkterwärmung der Wand	Systematisch Fugen, daher separate Pflanzebene	Mehrschalige nicht hinterlüftete Wandaufbauten
	Durchbindende wärmebrücken-reduzierte Halterungen	
Luftkollektorfassaden zur Direkterwärmung der Wand	Systematisch Fugen, daher separate Pflanzebene, ggf. Substitution der Vorfassade	Mehrschalige hinterlüftete Wandaufbauten
	Durchbindende wärmebrücken-reduzierte Halterungen	
Luftkollektorfassaden zur Direkterwärmung der Wand	Systematisch Fugen, daher separate Pflanzebene/saisonal (sommergrün)	Luftkollektorfassaden zur Erwärmung eines Luftvolumens

Abbildung 14 : Übersicht Fassadenkonstruktionen und geeignete Begrünungsformen (© Pfoser 2016: 157)

Tabelle 1 Eignung der Fassadenbegrünung in Abhängigkeit der baukonstruktiven Außenwand. [© Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, nach Pfoser 2016: 150f.]

Wandaufbau			Begrünung							
			bodengebundene Begrünung				wandgebundene Begrünung			
			Selbst- klimmer	Gerüstkletterpflanzen			nicht kletternde Begrünung			
				Wurzelkletterer / Haftscheibenanker	Schlinger/Winder	Ranker	Spreizklimmer	Stauden	Kleingehölze	Moose
Ungedämmte Außenwände	Massive Wand- aufbauten	Ortbeton- und Betonfertigteilwände / Sichtmauerwerk-Fassaden	+	+	+	+	+	+	+	
			Beton- oder Mauerwerkswände mit Deckbelag	+	+	+	+	+	+	±
	Ständer- u. Fach- werk		Holzskelett- oder Metallskelett-Bauweise	-	±	±	±	±	±	±
			Vorfassaden mit Glas- oder Kunststoffelementen	-	±	±	±	±	±	±
			Vorfassade als Folienkonstruktion	-	±	±	-	±	±	±
Gedämmte Außenwände	Massive Wandaufbauten	Wärmedämmbeton	±	±	±	±	±	±	±	
		Leichtbeton - oder porositertes Ziegel-Mauerwerk	-	±	±	±	±	±	±	
		Beton- oder Mauerwerkswände mit Deckbelag	+	+	+	+	+	+	±	
	Ständer- und Fachwerkbauweise	Glas- oder Kunststofffassaden	-	+	+	+	±	±	±	
		Folienkissen-Konstruktionen	-	±	±	-	±	±	±	
		Sandwichpaneele	-	+	+	+	+	+	+	
		gedämmte Fachwerkwände / Pfosten- Riegelbauweise mit Strohlehmausfachung	-	+	+	+	+	+	±	
	Mehrschalige nicht hinterlüftete Wandaufbauten	Mit Kerndämmung	Außenschale aus Ortbeton oder Beton- Fertigteilen / Sichtmauerwerk-Außenschale	±	+	+	+	+	+	±
			Außenschale aus Mauerwerk oder Beton, zusätzliche Sichtbelegung	±	+	+	+	+	+	±
			Außenschale aus Mauerwerk oder Beton, zusätzlicher Außenputz	+	+	+	+	+	+	±
Mit Außen- dämmung		Wärmedämmverbundsystem (WDVS) auf tragender Wand	-	±	±	±	±	±	±	
		Transparente Wärmedämmung (TWD) vor wärmespeichernder Massivwand	-	±	±	±	±	±	±	
		Mehrschalige hinterlüftete Wandaufbauten	Massive Außenschale aus Ortbeton oder Betonfertigteilen / Massive Außenschalen aus Sichtmauerwerk	±	±	±	±	±	±	±
Außenschalen aus Stein, Holz- oder Holzwerkstoffen / Vorsatzschalen aus Metall, Kunststoff, Glas oder Verbundwerkstoffen	-		±	±	±	±	±	±		
Verbundpaneele mit Photovoltaik	-		-	-	-	±	±	±		
Folien-Vorfassaden	-		±	±	-	±	±	±		
Luftkollektor-Fassade	Transparente Ausführung	Glas-, Kunststoffglas-Vorfassaden	-	±	±	±	±	±	±	
		Folien-Vorkonstruktionen	-	±	-	-	±	±	±	
	Lichtlichte Ausführung	Absorptions-optimierte Metalblech-Oberflächen	-	±	±	±	±	±	±	
		<i>Keramische Materialien, Naturwerkstein, Betonwerkstein-, Kunststeinplatten und Verbundwerkstoffe in Forschung!</i>	-	±	±	±	±	±	±	

* Statische Belastbarkeit der Außenhaut, Haftgrund auf pflanzenphysiologische Eignung und unerwünschte Möglichkeit des Hinterwachsenden prüfen!

Legende

+ geeignet
 ± bedingt geeignet (Prüfung im Einzelfall!)
 - nicht geeignet

Fußpunkt

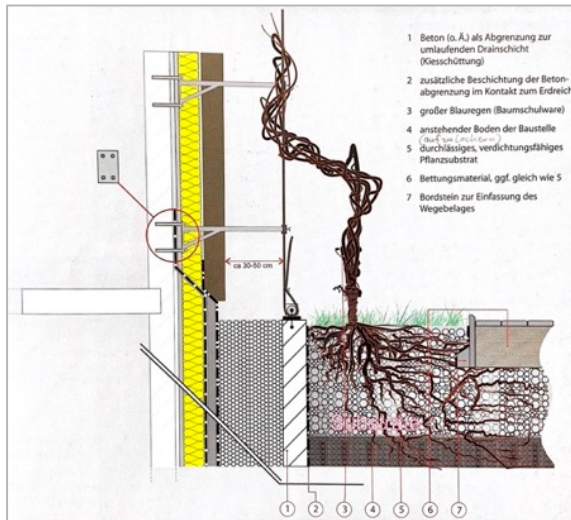


Abbildung 15 Konstruktive Illustration des Fußpunkts. [© Köhler et al., 2012]

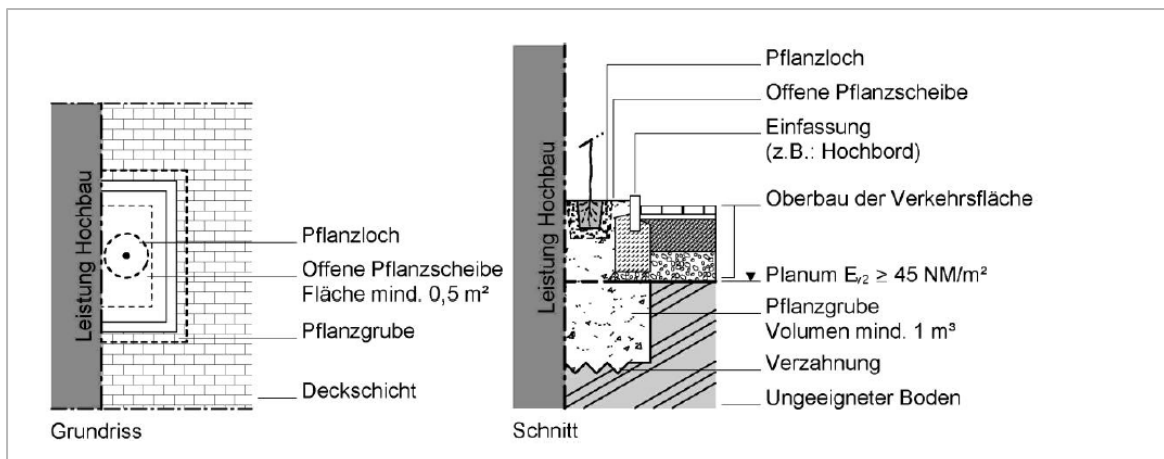


Abbildung 16 Pflanzgrube für bodengebundene Fassadenbegrünungen. [© Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2018: 97]

Die Pflanze braucht einen ausreichend großen Wurzelraum, um sich mit Wasser und Nährstoffen zu versorgen und ein möglichst ungestörtes Wurzelgeflecht ausbilden zu können. Gleichzeitig ist eine Abgrenzung vom Erdreich zum Gebäude auszubilden. Die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. hat zur Vermeidung von Schäden eine Richtlinie erstellt. Neben der Einhaltung der DIN 18195-4 „Bauwerksabdichtung- Teil 4: Abdichtung gegen Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser an Bodenplatten und Wänden, Bemessung und Ausführung“ (2011) und DIN 18915 „Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeit“ (2002) sollten folgende Punkte bei der Planung beachtet werden (vgl. auch Köhler et al. 2012: 118):

- Wasser vom Haus wegführen.
- Um das Wurzelwachstum in Richtung des Gebäudes zu verhindern, sollte geeignetes Substrat und durchwurzelungsfähige Schichten in ausreichendem Abstand angeboten werden.

Außerdem sollte bei der Planung darauf geachtet werden, dass sich Leitungen auf dem Grundstück oder im öffentlichen Straßenraum nicht mit dem Wurzelwerk der Pflanze kreuzen.

Horizontale Vegetationsfläche

Wandgebundene Begrünungen benötigen eine Tragstruktur für die Montage der Pflanzkübel. Im Hinblick auf die Lastabtragung sind verschiedene Varianten möglich. Die Montage kann auf einer vom Gebäude unabhängigen Struktur (Sekundärstruktur) erfolgen. Alternativ werden Pflanzkübel direkt am Gebäude montiert oder von auskragenden Bauteilen abgehängt. Der konstruktiv geringste Aufwand entsteht durch Aufstellen auf Balkonen, Logien oder anderen auskragenden Bauteilen.

Pflanzgefäße werden in der Regel auf einer Unterkonstruktion montiert, die die Lasten in die Fassade einbringt. Die Unterkonstruktion kann entweder einzelne Tröge oder Lasten aus einer Reihe von Trögen aufnehmen. Je nach gewünschtem Begrünungsbild werden Pflanztröge in größerem oder kleinerem Abstand zueinander installiert. Aus baukonstruktiver Sicht ist es das Ziel, die Tröge an der Fassade zu montieren ohne Wärmebrücken entstehen zu lassen. Dafür sind entsprechend zugelassene wärmebrückenreduzierte Halterungen und Verankerungen zu wählen.

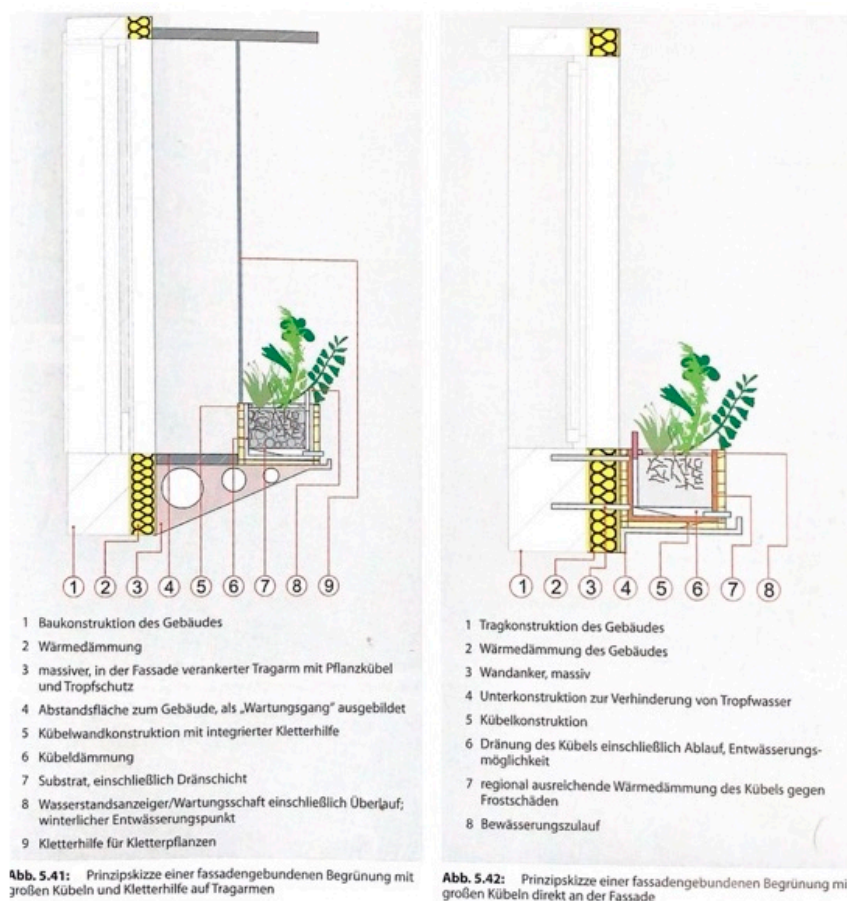


Abbildung 17 Prinzipskizzen einer fassadengebundenen Begrünung mit großen Kübeln. [© Köhler et al., 2012: 133]

Begrünungen auf auskragenden Bauteilen werden in der Regel einfach aufgestellt und gegen Verrutschen gesichert. Dies kann auf Laubengängen oder Wartungsgängen erfolgen sowie auch auf/an Balkonen. Eine Mehrfachnutzung der Aufstellflächen für Tröge ist in vielerlei Hinsicht sinnvoll.

Kletterhilfen

Wuchshilfen sind das „Bindeglied zwischen Fassadenbewuchs und Gebäude“, sie nehmen einen großen Einfluss auf die Gestalt des Gebäudes. Damit sind sie relevant für die gesamte Konzeption der Architektur. Vorrangig werden Wuchshilfen bei der Fassadenbegrünung mittels Gerüstkletterpflanzen eingesetzt.

Es bestehen unterschiedliche Anforderungen, die einerseits von der baulichen Seite (Wärmebrücken und Blitzschutz, etc.) und andererseits von der vegetativen Seite bestehen. In der Planungsphase sind die Anforderungen der Pflanzen an die Wuchshilfen detailliert in die Ausschreibung zu integrieren. Für eine korrekte Beschreibung der Kletterhilfen spielen drei Aspekte eine wichtige Rolle:

- Anbringung (Montage der Kletterhilfe),
- Werkstoff (Materialauswahl der Kletterhilfe),
- Struktur (richtiges Verhältnis zwischen senkrechten und waagerechten Strukturen).

Je nach Verwendung von Werkstoffen und Struktur sind Kletterhilfen eine kostenträchtige Aufwendung. Langlebige Materialien wie etwa Stangen/Gitter aus glasfaserverstärktem Kunststoff oder Edelstahl ermöglichen eine dauerhafte und wartungsarme Begrünung. Holzkonstruktionen sind zwar kostengünstiger, müssen aber in der Regel nach etwa 10 Jahren ausgetauscht werden. Damit sind, die Nutzungsdauer des Gebäudes und die Entwicklung der Pflanzen betrachtend, dauerhafte Lösungen zu bevorzugen (vgl. auch Köhler et al. 2012: 124).

Je nach Pflanzenart ist ein erforderlicher Mindestabstand zwischen der Wuchsaufleitung und der Fassade zu beachten.

Die Wuchshilfen lassen sich in Halterung und Verankerung unterteilen – die Halterung beschreibt dabei die sichtbaren Teile zwischen Pflanze und Wand. Die Verankerung den Teil, der an der Primärkonstruktion befestigt ist. Die durch den Zuwachs der Pflanzen entstehenden zusätzlichen Lasten sind in der Dimensionierung der jeweiligen Wuchshilfen und deren Bauteilen einzukalkulieren. Der individuelle Lastfall muss zudem gewerkeübergreifend berücksichtigt werden und hat Einfluss auf die Dimensionierung.

Anbringung

Bei der Anbringung der Wuchshilfen können drei verschiedene Arten unterschieden werden: frei hängende Konstruktionen, stehende Konstruktionen und gespannte Konstruktionen. Eine hängende Konstruktion eignet sich bei starren linearen oder flächigen Gitterstrukturen. Die Lastabtragung erfolgt gleichmäßig über die Wandhalterungen. Bei Bedarf können vertikale Lasten über größer dimensionierte Halterungen an den Rändern und kleinere für horizontale Windlasten ausgelegte Halterungen weitergegeben werden. Stehende Konstruktionen eignen sich für knicksichere Profile. Die Lasten können über Streifenfundamente oder über Konsolen in das Bauwerk abgeleitet werden. Die Anzahl der Wandhalterungen kann dadurch reduziert werden. Auch bei gespannten Seilkonstruktionen kann die Anzahl der Wandhalterungen reduziert werden. Die Anforderungen an die Konstruktion sind hoch, da die Spannung der Seile stark schwanken kann. Seilauslenkungen (z. B. durch das Dickenwuchs von Starkschlingern) können unkalkulierbare Krafteinwirkungen auf die Halterungen zur Folge haben, weshalb diese frei von der Wandkonstruktion stehen sollten. Es empfiehlt sich starkschlingende Pflanzen seilparallel aufzuleiten.

Bei Neubauten können Wuchshilfen direkt an der Primärkonstruktion montiert werden. Hierfür werden sogenannte Fensterbohrschrauben verwendet, die in der Regel ohne Dübel zu montieren sind. Bei der Positionierung und Rasterung sind Achsabstände von Fassade und Begrünung aufeinander abzustimmen. Bei der statischen Dimensionierung sind neben der Last der ausgewachsenen Pflanze Windlasten und Schneelasten zu addieren. Bei der Auswahl der Pflanzen und dem damit verbundenen Abstand zwischen Fassade und Kletterhilfe ist zu bedenken, dass durch größere Querschnitte der Halterungen ggf. auch der Wärmedurchgang in die Fassade erhöht wird.

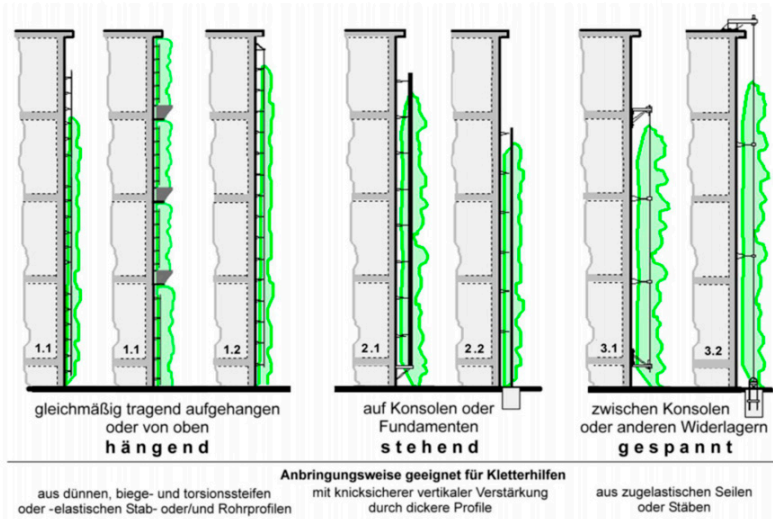


Abbildung 18 Anbringungsweisen Fassadenbegrünung. [© Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2018: 87]

Material

Die Wahl des richtigen Werkstoffs sollte unter dem Gesichtspunkt der Langlebigkeit erfolgen. Ein Austausch einer Kletterhilfe ist nur bei komplettem Rückschnitt der Pflanze möglich. Als Material eignen sich vornehmlich nicht rostender Stahl. Holzkonstruktionen sollten nur nach DIN EN 305-2 gewählt werden und eine Lebensdauer von 25 Jahren haben. Sie finden im professionellen Bereich jedoch selten Einsatz. Metallische Kletterhilfen können aus rostfreiem oder feuerverzinktem Stahl bestehen. Aluminium wird in der Anwendung nicht empfohlen. Bei der Dimensionierung der Kletterhilfen ist auf ausreichende Feldweiten und einen ausreichenden Abstand zur Fassade zu achten. Werden Abstände zu gering dimensioniert, ist die Pflege der Pflanzen erheblich aufwendiger – Totholz und Blätter können sich hinter Kletterhilfen sammeln, zu Verfärbungen der Fassadenoberfläche führen und sich im Brandfall problematisch auswirken (vgl. auch Köhler et al. 2018).

Struktur

Die Struktur einer Wuchshilfe kann vielfältig sein: von linearen Bauweisen, über Gitter und Netze bis hin zu freien Strukturen.

Ein flächiges Wuchsbild erfolgt an Gittern und Netzen. Hier können sich die Leittriebe der Kletterpflanzen flächig ausbreiten und unabhängig voneinander Halt an der Kletterhilfe finden. So ist eine optimale Belichtung des Laubwerks möglich.

Grundsätzlich eignen sich lineare Strukturen am besten. Eine Pflege ist hier zumindest dreiseitig ungehindert und schnell möglich. Um ein Abrutschen der Pflanze zu vermeiden, sollten Abrutschsicherungen in einem regelmäßigen Abstand an den Seilen, Stäben oder Stangen angebracht werden.

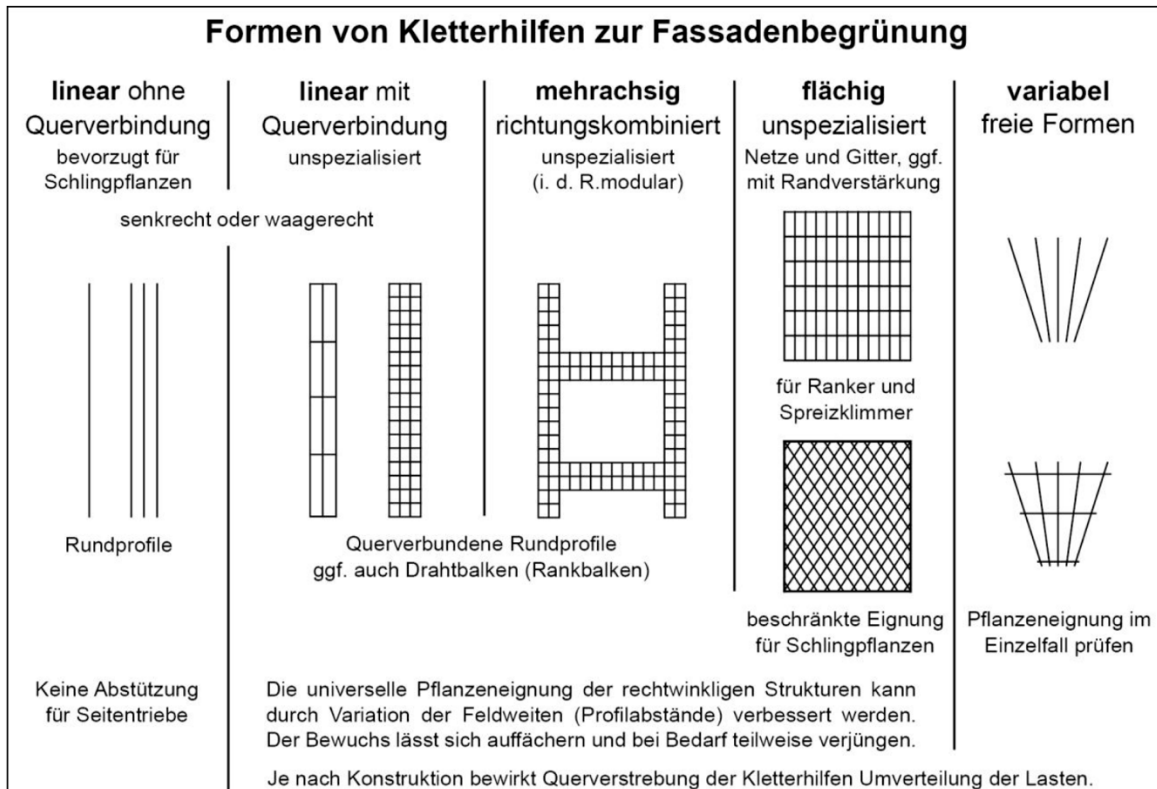


Abbildung 19 Formen von Kletterhilfen zur Fassadenbegrünung. [© Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Hrsg.), 2018: 85]

Nachträglich montierte Begrünung

Wird eine Begrünung nachträglich an ein bestehendes Gebäude montiert, müssen die Konsolen und Halterungen weit über die Dämmung/ Fassadenverkleidung auskragen. Zunehmende Dämmstärken und der entsprechende Fassadenabstand machen Verankerungen schwieriger. Beim Aufbau muss auf ausreichend lange wärmebrückenreduzierte Schrauben oder Bolzen zurückgegriffen werden, die sowohl die außenliegende Fassade als auch die Dämmebene durchdringen und zusätzlich eine ausreichende Verankerung in der Primärkonstruktion bieten. Hersteller bieten unter anderem Stockschrauben mit Wärmedämmzulassung an, die eine Wärmeübertragung minimieren (s. Abb., vgl. Köhler et al. (Hrsg.) 2012). Bei nachträglicher Montage von Begrünung muss die äußere Fassadenebene Drucklasten durch Konsolen oder Unterkonstruktion aufnehmen können.

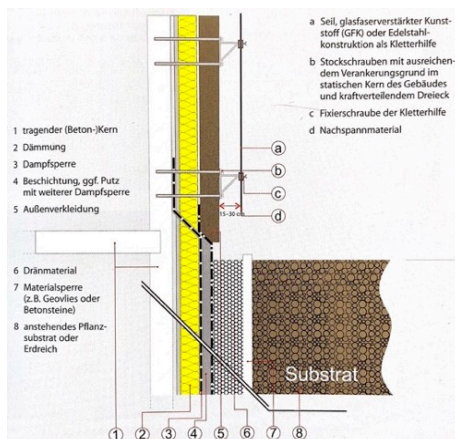


Abbildung 20 Baukonstruktive Illustration einer nachträglich montierten Fassadenbegrünung. [© Köhler et al. (Hrsg.), 2012]

Holzbau

Holzschutz

Bei Bauwerken mit exponierten Holzbauteilen wie Holzfassaden oder Anbauten für Balkone oder Laubengänge aus Holz muss besonderer Wert auf den Holzschutz gelegt werden.

Grundsätzlich sind Bauteile aus Holz auch ohne chemischen Holzschutz lange haltbar. Allerdings hängt ihre Dauerhaftigkeit von der Einbausituation und damit der Exposition gegen Wasser, Wind und Sonne auf der einen Seite und der Auswahl des richtigen Holzes auf der anderen Seite ab.

Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien, die das Holz zersetzen, benötigen für das Wachstum und den Stoffwechsel Wasser. Deswegen ist die wichtigste Voraussetzung für den konstruktiven Holzschutz, dass die Holzbauteile nicht nass werden oder im Falle einer Bewitterung mit Regen schnell wieder abtrocknen können. Aus diesem Grundsatz heraus, ist die Begrünung von Holzkonstruktionen problematisch: Durch die Bepflanzung wird eingetragene Feuchtigkeit (aus Niederschlag oder Kondensation) nicht so schnell abtrocknen, weil die Pflanzen Sonne und Windeinwirkung reduzieren. Vor allem Rank- und Kletterpflanzen wie Efeu können eine dichte Vegetationsschicht bilden, die Wasser zurückhalten kann. Dadurch kann Feuchtigkeit in das Holz eindringen und zu Fäulnis oder Schimmelbildung führen. Insbesondere wenn sich der Efeu eng an der Holzoberfläche festklammert, kann die Feuchtigkeit länger anhalten und das Holz schneller zerstören. Die Haftwurzeln von verschiedenen Kletterpflanzen, wie z.B. des Efeus können in Risse und Spalten eindringen, was zu Schäden an der Holzoberfläche führt. Im Laufe der Zeit können diese mechanischen Belastungen das Holz schwächen und zu strukturellen Problemen führen. Einige Efeuarten produzieren spezielle Substanzen, die als Haftwurzelschleim bezeichnet werden. Diese klebrigen Substanzen können das Holz schädigen und zu Verfärbungen, Zersetzung oder Abnutzung führen.

Aus dem konstruktiven Holzschutz ergibt sich die Empfehlung Holzbauteile und Bepflanzung räumlich und konstruktiv zu trennen. Für die meisten Holzarten stellt deswegen die direkte oder indirekte Bepflanzung eine Gefahr da, der durch einen Abstand der Pflanzen zu den Holzbauteilen begegnet werden sollte. Denkbar sind vorgelagerte Metallkonstruktionen oder Metallseile als Rankhilfen, die im ausreichenden Abstand in Hinblick auf das zu erwartende Wachstum der Pflanzen zu den Holzbauteilen eingebaut werden.

Es gibt auch Holzarten, die dauerhafter Feuchteinwirkung lange standhalten können. Von den heimischen Baumarten sind hier vor allem die Robinie, Eiche, Eibe, Kastanie und m.E. Lärche zu nennen. Mit solchen Hölzern ließen sich u.U. auch Bauteile konstruieren, die dauerhaft als Untergrund für Bepflanzungen dienen. Die genannten Holzarten sind im Vergleich zu einfacheren Konstruktionshölzern kostspieliger.

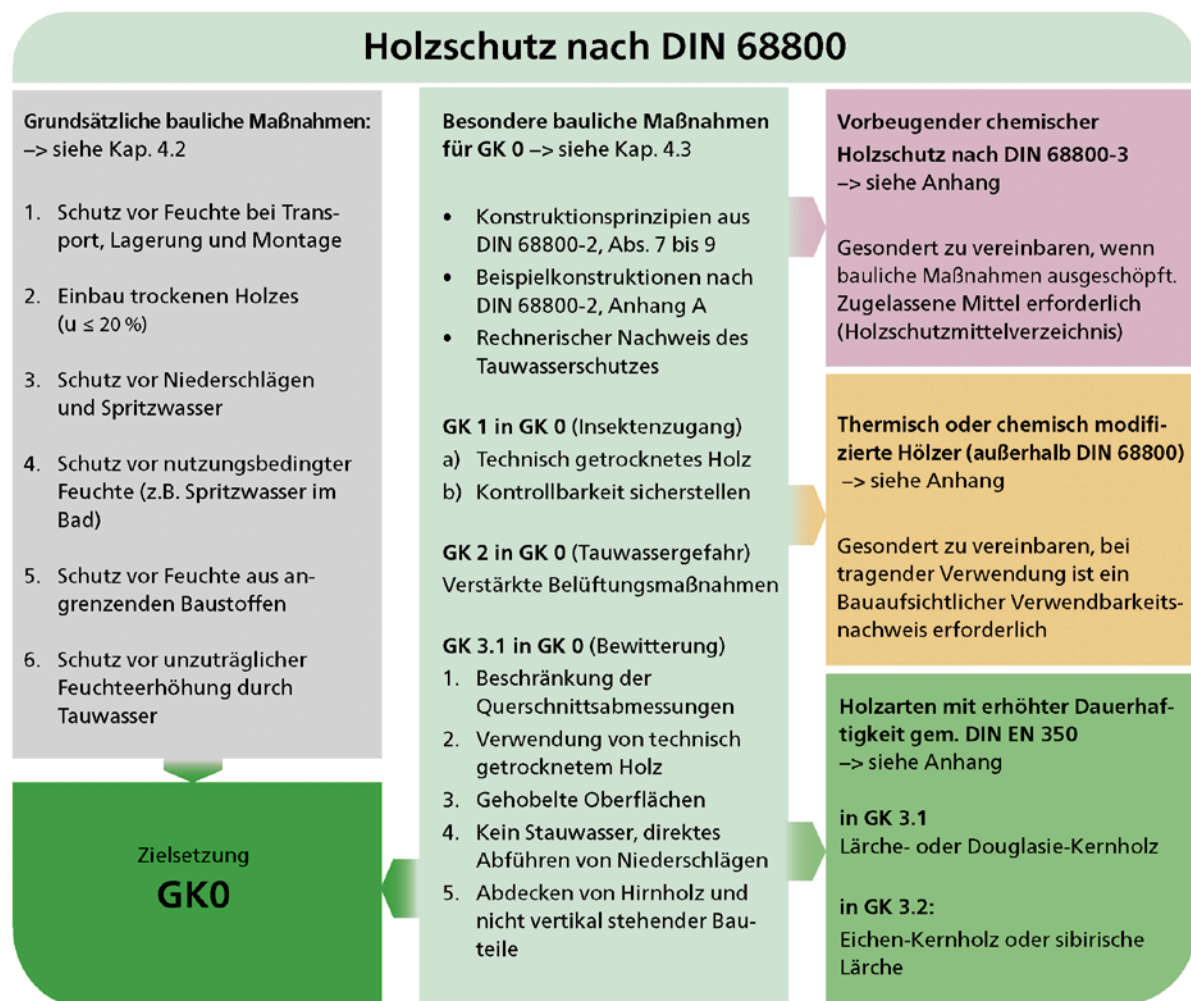


Abbildung 21 Vorbeugender baulicher Holzschutz - Bauliche Maßnahmen (Übersicht). [Quelle: holzbau handbuch, Reihe 5, Teil 2, Folge 2; © Holzbau Deutschland Institut e.V. (Hrsg.), 2. Auflage 01/2023].

Möglichkeiten der Begrünung bei Holzkonstruktionen

Aufgrund der baulichen Eigenheiten unterschiedlicher Holzbauweisen ergeben Möglichkeiten die Begrünung der Fassaden umzusetzen.

Holzfassade und Blockbauweise:

- Direktbegrünung bei offenen Fugen nicht empfohlen. Die Pflanzen und Wurzeln dringen in die Fugen ein.
- Eignen sich zu Fassadenbegrünung, wenn der konstruktive Holzschutz berücksichtigt wird (s.o.).
- Separate Wuchsebene empfohlen.
- Boden- und wandgebunden Begrünungen möglich.
- Keine negative phototropen (lichtfliehenden) Pflanzen verwenden (positiv phototrope Pflanzen wachsen nicht in Fugen ein, sondern zum Licht).
- Lasuren oder Anstriche sollten keine algiziden oder fungiziden Bestandteile aufweisen.

Mehrschalige gedämmte Fachwerkwände aus Holz (Tafeln, Module)

- Keine Direktbegrünung bei offenen Fugen möglich.
- Bodengebundene Begrünung an Sekundärkonstruktion auf Distanz möglich (Wuchsvorkonstruktion).
- In Fassadenebene sind wandgebundene senkrechte modulare oder lineare Begrünungen möglich.
- Lasuren oder Anstriche sollten keine algiziden oder fungiziden Bestandteile aufweisen.

Rankhilfen aus Holz

- Günstige Lösung, wenn die Holzkonstruktion keine andere Funktion für das Gebäude hat.
- Witterungsbeständiges Holz verwenden (konstruktiver Holzschutz: Abschrägen/schnelles Abtrocknen ermöglichen).
- Holzgitter ggf. klappbar ausführen, um nachträglich Arbeiten an der Fassade ausführen zu können.
- Erfahrungswerte zeigen, dass ein Austausch der Wuchsvorkonstruktion aus Holz nach 10 Jahren notwendig sein kann (vgl.: Köhler et al. (Hrsg.) 2012). Nach sorgfältiger Holzauswahl, Detaillierung und der richtigen Pflanzenauswahl können auch Holzkonstruktionen äußerst langlebig sein.

Pflanzsystem

Die Konstruktion der Fassadenbegrünung in diesem Forschungsprojekt lässt sich in die Kategorie „Regalbauweise“ einordnen. Kennzeichnend für diese Bauweise sind die horizontale Substratebene, die Austauschbarkeit der Behälter und Bepflanzung sowie eine Variation der gestalterischen Konzeption zur Erzielung unterschiedlicher Raster- und Flächenwirkungen (vgl.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 20183:104). Grundsätzlich hat diese Bauweise den Vorteil der Sofortwirkung durch Vorkultur und durch die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten. So können die Oberflächenstruktur, Aufbaustärke, Farbgebung und Blühphasen in Abhängigkeit von der Eignung des Pflanzenmaterials frei gestaltet werden (vgl.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 20183:105) und einen Beitrag zur Architektur des Gebäudes leisten.

Die Pflanzgefäße sind in der Regel aufgeständerte, rechteckige Substrat-, bzw. pflanzentragende Kästen. Die Auswahl und Größe der Substratkästen variiert je nach Art und Auswahl der gewünschten Begrünung, der damit in Verbindung stehenden Bewässerung und der gewichtstechnischen Erfordernisse. Für die pflanzentragenden Kästen werden vorwiegend Kunststoffe, korrosionsgeschützte Metalle und nicht rostender Stahl eingesetzt (vgl.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 20183:105). Angepasst an die Pflanztröge wird die Unterkonstruktion geplant, an der die Pflanztröge mit Substrat und Begrünung an die Fassade angebracht werden.

Im Planungsprozess werden die Abmessungen für die Pflanzbehältnisse festgelegt. Diese Abmessungen müssen auf die Auswahl der Pflanzen abgestimmt werden. Entscheidend ist dabei die Dimensionierung der Einheiten entsprechend dem Wurzelraum der jeweiligen Pflanzen, um ein optimales Wachstum, Pflanzenvitalität und Langlebigkeit zu erzielen. Neben den Abmessungen ist bei der Konstruktion der Töpfe darauf zu achten, dass diese frostsicher geplant werden. Durch frostsichere Planung können sowohl Beschädigungen der Behältnisse als auch Wurzelschäden und Frosttrocknis an den Pflanzen vermieden werden.

Die Pflanzbehälter sind mit einem mineralischen Gemisch unterschiedlicher Substrate gefüllt. Diese zeichnen sich insbesondere durch ein gutes Luft- und wasserspeicherndes Volumen aus. Je nach Hersteller werden unterschiedliche Mischungen verwendet, die vorwiegenden Stoffe sind hier Lava und Bims. Häufig werden die Substrate und Trägerstoffe auch an die jeweilige Pflanzenkultur angepasst. Die jeweils verwendete Schichtdicke hat einen Einfluss auf das Wurzelvolumen, die Wasseraufnahme und die damit direkt in Verbindung stehende Pflanzenentwicklung. Die Versorgung der Substratbehälter mit Wasser wird je nach Bauweise mit einer Anstaubewässerung oder einer Tröpfchenbewässerung realisiert. Zusätzlich werden Nährstoffe in flüssiger Form über die Bewässerungsanlage eingeleitet.

Die Bemessung der Töpfe wird auch durch die Bauweise der jeweiligen Hersteller mitbestimmt. Am Markt befinden sich derzeit verschiedene Lösungen.

Die herkömmliche Bauweise funktioniert mit Substrat in einem Behälter, in dem die Pflanzen wurzeln. Mehrschichtige Abdichtungen verhindern den Austritt von Wasser aus dem Behälter. Eine Drainage verhindert Staunässe und Wurzelfäulnis. Durch das zunehmende Wurzelwachstum verflechten sich die Wurzeln im Substratbehälter, wodurch der Austausch einzelner Pflanzen behindert wird. Die Bewässerung funktioniert in dieser Bauweise in der Regel über Tröpfchenbewässerung oder durch die manuelle Bewässerung der einzelnen Kästen.

Im Folgenden ist eine Prinzip-Skizze zu dieser Bauweise aufgeführt:

Aufbau herkömmlicher Pflanztrug:

- Faserzement / Kunststoff / Edelstahl
- Mineralische Mulchschicht
- Obersubstrat
- Untersubstrat
- Filter
- Speicherebene & Dränage
- Abdichtung (optional)
- Isolierung (optional)

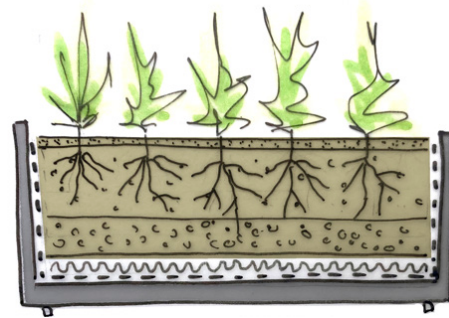


Abbildung 22 Prinzip-Skizze eines herkömmlichen Systems. [© Kilian von Lier]

Eine weitere, auf dem Markt verfügbare Lösung funktioniert als zweischichtige Bauweise. Bepflanzte Spezialkulturtöpfe hängen hierbei in einer Systemscheibe und über einer freien Wasserebene. Die Spezialkulturtöpfe sind zwischen der Systemscheibe, dem Pflanzgefäß und dem Wasserreservoir von Luft umgeben. So wird eine Klimakammer ausgebildet. Verdunstetes Wasser kondensiert an der Systemscheibe und bleibt im Kreislauf erhalten, wodurch sich der Wasserbedarf reduziert. Die Pflanzen können aus den Kulturtöpfen wurzeln und werden so über die Nährwurzeln mit Wasser und Nährstoffen versorgt. Durch den Aufbau eines geschlossenen Systems werden hier nur wenige Gießintervalle alle 4–12 Wochen benötigt.

Im Folgenden ist eine Prinzip-Skizze für dieses System aufgeführt:

Aufbau Pflanztrug mit freier Wasserebene:

- Faserzement / Kunststoff /Edelstahl
- Abdeckmaterial
- Systemscheibe
- Kulturtopf
- Klimakammer
- freie Wasserebene
- Abdichtung

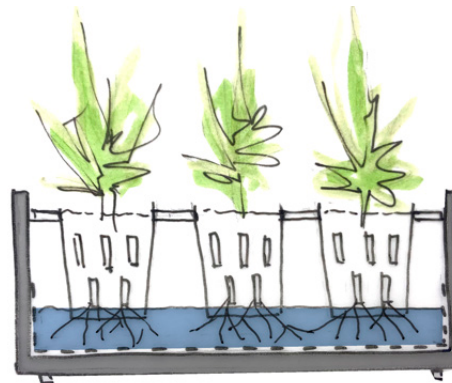


Abbildung 23 Prinzip-Skizze eines zweischichtigen Systems. [© Kilian von Lier, nach: GKR]

Je nach Art und Aufbau der Bauweise an der Fassade werden unterschiedliche Bilder erzeugt. Werden kleine Kübel in einer sehr engen Staffelung an der Fassade montiert, ergibt sich ein sehr engmaschiges, modulares Bild der Fassadenbegrünung. Bei der Verwendung vieler kleinerer Substratbehälter gibt es ggf. Nachteile. Durch ein geringes Substratvolumen sind die Pflanzen im Sommer anfälliger für Trockenheit im Sommer, wenn beispielsweise die Bewässerung ausfällt. Gleichzeitig steigt aber auch die Gefahr für winterliche Frostschäden. Auch der Ressourcenaufwand für eine Vielzahl an kleinen Pflanzbehältern im Verhältnis zur Blattmasse der Pflanzen ist kritisch zu betrachten.

Die zuletzt genannte zweischichtige Bauweise ist bisher nur bedingt wissenschaftlich untersucht worden. Hier treten insbesondere Fragen der Langlebigkeit, der Pflanzenversorgung, der Eignung für unterschiedliche Pflanzenkulturen, etc. auf. Aufgrund der einfachen und reproduzierbaren Bauweise kann eine Fassadenbegrünung mit dieser Art von Substratbehältern eine ressourcenschonende Alternative darstellen. Bisher wurde diese Bauweise noch nicht für eine Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen eingesetzt. Um die Eignung für die Kultur von Kletterpflanzen zu untersuchen, wird diese Bauweise daher in diesem Forschungsvorhaben mit unterschiedlichen Gerüstkletterpflanzen getestet.

Baurechtliche Parameter

Planungsrechtliche Aspekte

Bodengebundene Fassadenbegrünungen und das Anbringen zugehöriger Konstruktionen stellen in der Regel keinen baurechtlich genehmigungspflichtigen Vorgang dar. Den öffentlichen Raum oder das Nachbarrecht tangierend, sind Genehmigungen im Einzelfall erforderlich.

Bei wandgebundenen Begrünungen sind in der Regel baurechtliche Genehmigungen erforderlich. Insbesondere, wenn die Fassadenbegrünung an Baudenkmalern, in geschützten Ensemblebereichen, in Gestaltungssatzungsgebieten eingesetzt werden soll. Ein anderer Fall ist die Genehmigungspflicht im Rahmen eines Bauantrags, wenn die Begrünung eine bauliche Anlage darstellt, also ein Teil davon ist. Es kann aufgrund von Bebauungsplänen, städtebaulichen Verträgen oder Klimaschutzgesetzen eine Verpflichtung zur Fassadenbegrünung bestehen (vgl.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 2018³: 23).

Bauaufsichtliche Aspekte

Die Auswirkungen auf Bauphysik und -statik der Gebäudehülle sind aus bauaufsichtlicher Perspektive zu berücksichtigen. Unter Umständen ist eine bauaufsichtliche Zulassung der verwendeten Bauteile, insbesondere von Befestigungselementen, notwendig (vgl.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 2018³: 23).

Brandschutz

Für Fassadenbegrünungen an baulichen Anlagen oder als Bestandteil ebensolcher sind im Rahmen der Planung Anforderungen des Brandschutzes zu berücksichtigen. Momentan existiert jedoch noch kein normatives Prüfverfahren, bzw. allgemein anerkannte Regeln der Technik für Fassadenbegrünungen. Aus diesem Grund ist eine frühzeitige Abstimmung mit der obersten Bauaufsichtsbehörde empfehlenswert (vgl.: Noder-Schaab 2021: 43).

Für eine Beurteilung über die Brandschutzanforderungen im Einzelfall sind folgende Kriterien zu beachten (vgl.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 2018³: 24):

- Begrünungsform,
- Deckungsgrad und Höhe der Begrünung,
- Brandverhalten der Bepflanzung,
- Brandverhalten der Bauteile/-stoffe (Kletterhilfen, Gefäße etc.),
- bauaufsichtliche Zulassungen der Baustoffe,
- Anforderungen aus dem Baurecht, insb. hinsichtlich der Gebäudeklasse.

Es ist grundsätzlich davon auszugehen, dass die Fassadenbegrünung als brennbares Material eingestuft wird und damit einen Fassadenbrand, insb. den Brandüberschlag zwischen den Geschossen und damit meist auch zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten befördern kann. Die zusätzliche Brandlast in der Fassade könnte in bestimmten Fällen durch den Einsatz von trennenden Bauteilen – sogenannten Brandschürzen aus nicht-brennbarem Material (z.B. Stahl oder Beton) – kompensiert werden. Allerdings wäre dann sicher zu stellen, dass ein möglicher Fassadenbrand oder ein aus einer Wohneinheit herausschlagendes Feuer sich über einen bestimmten Zeitraum nicht in die nächste und übernächste Etage ausbreitet. Für diese Bauweisen mit Begrünung gibt es keine eingeführten Normen. Auch ist es in Hinblick auf die möglichen Unterschiede in der Dichte, dem Wachstum und der Brandlast, die sich aus unterschiedlichen Bepflanzungen ergeben können, schwierig solches System übergreifend normativ abzubilden.

In jedem Fall ist es erforderlich die Auswirkungen der Fassadenbegrünung auf ein mögliches Brandgeschehen und das Brandschutzkonzept frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen und mit dem vorbeugenden Brandschutz abzustimmen.

Kosten

Bei der Betrachtung von Kosten und Nutzen sollten nicht nur monetäre Aspekte Beachtung finden. Bei der Investition sind neben Anschaffungs- und Wartungskosten auch die Flächengrößen in Quadratmetern zu berücksichtigen, die durch eine Fassadenbegrünung in Anspruch genommen werden. Als „return of investment (ROI)“ ergibt sich eine Optimierung von Gebäude und Umwelt, die sich konkret in der Reduzierung von Primärenergie und laufenden Kosten widerspiegeln kann. „Grüne Gebäude“ erfreuen sich zudem einer hohen, gesellschaftlichen Akzeptanz und ermöglichen eine nachhaltige Vermarktungsstrategie. Das wirtschaftlichste Gebäude ist nicht das günstigste, sondern das Gebäude, welches ein Optimum zwischen Investition, Erlösen, Betriebskosten und Performance (Wohnwert, Wohnkomfort, Werthaltigkeit) erreicht.

Investitionen

Der Investitionsaufwand für die Begrünung hängt von der gewählten Begrünungsform und der damit verbundenen Wahl der Bauweise, den statischen Voraussetzungen, dem konstruktiven Aufwand sowie dem Einsparpotential durch Substitution anderer Fassadenbekleidungen ab.

Festhalten lässt sich, dass der Investitionsaufwand für bodengebundene Begrünung mit Selbstklimmern gering ist. Gerüstkletterpflanzen erfordern einen geringen bis mittleren Investitionsaufwand, da zusätzlich zu dem Pflanzenmaterial und der Pflanzung Kosten für Kletterhilfen und Montage entstehen. Mittel bis hoch ist der Aufwand bei wandgebundenen Begrünungen mit Pflanzgefäßen an Tragkonstruktionen. Für wandgebundene Begrünungen mit Pflanzen in senkrechten Vegetationsflächen („Vertikale Gärten“) ist der Investitionsaufwand groß, da hohe Anforderungen an Tragkonstruktion, Pflanzung, Substrat, Dünger/Nährlösung, Bewässerungssystem, Feuchtigkeits- und Durchwurzelungsschutz der Fassade bestehen (vgl.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 2018³: 49).

Tabelle 2 Kostenübersicht Fassadenbegrünung.

	Direkt- begrünung	Gerüstkletter- pflanzen	Regal-bauweise	Modular	Flächig
Investition	0,40 €/m ²	36–120 €/m ²	230–1000 €/m ²	370–1100 €/m ²	400–1200 €/m ²
Wartung / Pflege	15 €/m ² *a	10–20 €/m ² *a	10 €/m ² *a	Ca 10 % der Her- stellungskosten	8–40 €/m ² *a
Platzbedarf	gering	mittel	hoch	gering/mittel	gering/mittel

Platzbedarf

Ein weiterer Punkt bei der Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen ist der Platzbedarf. Steigende Baukosten führen zu einer Aufschlüsselung einzelner Positionen vor dem Hintergrund ihres Nutzens und zur Optimierung der Kosten. Um eine optimale Auslastung von Baugrundstücken zu erzielen, werden die bebaubaren Flächen vollends ausgeschöpft. Auch Fassadenbegrünungen lösen Abstandflächen aus und sind bauantragsrelevant. Gerade im dicht bebauten städtischen Raum ist daher die Fläche für Begrünung zu optimieren.

Direktbegrünungen sind in der Regel unproblematisch in der baurechtlichen Zulassung. Sie wirken sich somit nicht auf die Baukosten pro Quadratmeter aus.

Bei an der Fassade aufgesetzter Begrünung ist der Einzelfall zu prüfen. Handelt es sich um untergeordnete Bauteile, so werden dadurch keine Abstandsflächen ausgelöst. Wird eine Begrünung als gestaltendes Element umlaufend um das Gebäude geführt, wird dadurch die Gebäudekubatur verändert. Durch Distanzbegrünung lassen sich gute Verschattungswirkungen erhalten, gleichzeitig muss diese dem Nutzen gegenübergestellt werden. Um den Flächenverbrauch zu verbessern können Mehrfachnutzungen eine Lösung sein. So können etwa Distanzen für separate Begrünungsebenen so gewählt werden, dass sich Wartungsgänge und / oder Aufenthaltsflächen wie Balkone und Terrassen integrieren lassen. Ein solcher Weg wurde bei Prototypen in Mannheim gewählt. Die Begrünung ist als Distanzbegrünung in Form eines umlaufenden Laubengangs ausgewählt. Die Fläche, die durch die Distanz entsteht, ist ein für die Bewohnerinnen und Bewohner nutzbarer Außenraum, der auch die Begrünung erlebbar macht. Die Fläche wird anteilig der Wohnfläche zugerechnet. Allerdings werden solche Freibereiche im Allgemeinen nur mit einem Viertel der tatsächlichen Fläche zur Wohnfläche gezählt, weswegen die Herstellungskosten relativ kleinen Mieteinnahmen oder Verkaufserlösen gegenüberstehen. Das Gebäude in Mannheim ist ein selbstgenutztes genossenschaftliches Wohnen, bei dem diese wirtschaftlichen Aspekte individuell bewertet wurden.

Wartung, Pflege und Unterhalt

Bereits bei der Planung ist der dauerhafte Erhalt der Begrünung durch fachlich ausgeführte Pflege und gegebenenfalls Wartung zu berücksichtigen. Die jeweils zu erbringenden Leistungen sind zu vereinbaren und gemäß den Entwicklungsstufen der Pflanzen (ca. 2 Jahre), gemäß dem Unterhalt und der notwendigen Schnittmaßnahmen einzuteilen. Der Pflegeaufwand der Begrünung variiert je nach Art, Standort, Pflanzenauswahl und Größe bzw. Höhe und Erreichbarkeit der Begrünung. Der Instandhaltungsaufwand der Technik steigt mit zunehmender Komplexität der technischen Einrichtungen (vgl.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau 2018³: 50).

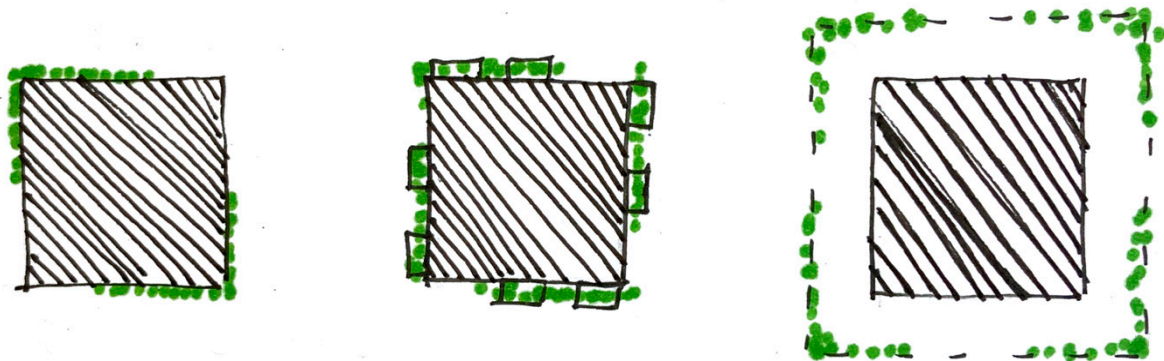


Abbildung 24 Varianten der Platzausnutzung bei Fassadenbegrünung. [© Kilian van Lier]

Einen geringen Pflegaufwand weisen bodengebundene Pflanzen mit einem Pflegeintervall einmal pro Jahr auf. Auch Gerüstkletterpflanzen sind im Pflegaufwand gering. Hinzu kommt jedoch der Aufwand durch Anbinden, Fixieren und Leiten der Triebe. Wird die Begrünung über ein Bewässerungssystem versorgt, so fallen hier geringe Instandhaltungskosten an.

Ist die aufgrund der Zugänglichkeit oder der Pflanzenwahl ein höheres Pflegeintervall notwendig, so steigt der Pflegaufwand auf ein mittleres Maß an. Neben der Pflege der Pflanzen steigt auch der Aufwand zur Instandhaltung der technischen und konstruktiven Elemente wie Wandkonsolen oder Bewässerungssysteme auf ein mittleres Maß.

Wandgebundene Bauweisen erfordern einen hohen Pflegaufwand, da das Pflanzsystem komplexer und technisch anfälliger wird. Auch die jeweilige Exposition kann einen höheren Aufwand bedeuten. Außerdem müssen regelmäßige Kontrollen an der Konstruktion durchgeführt werden, um Wurzel- und Feuchteschäden zu vermeiden. Auch die zwingend notwendigen Bewässerungseinrichtungen haben einen hohen Instandhaltungsaufwand.

Nutzen, Return und Einsparung

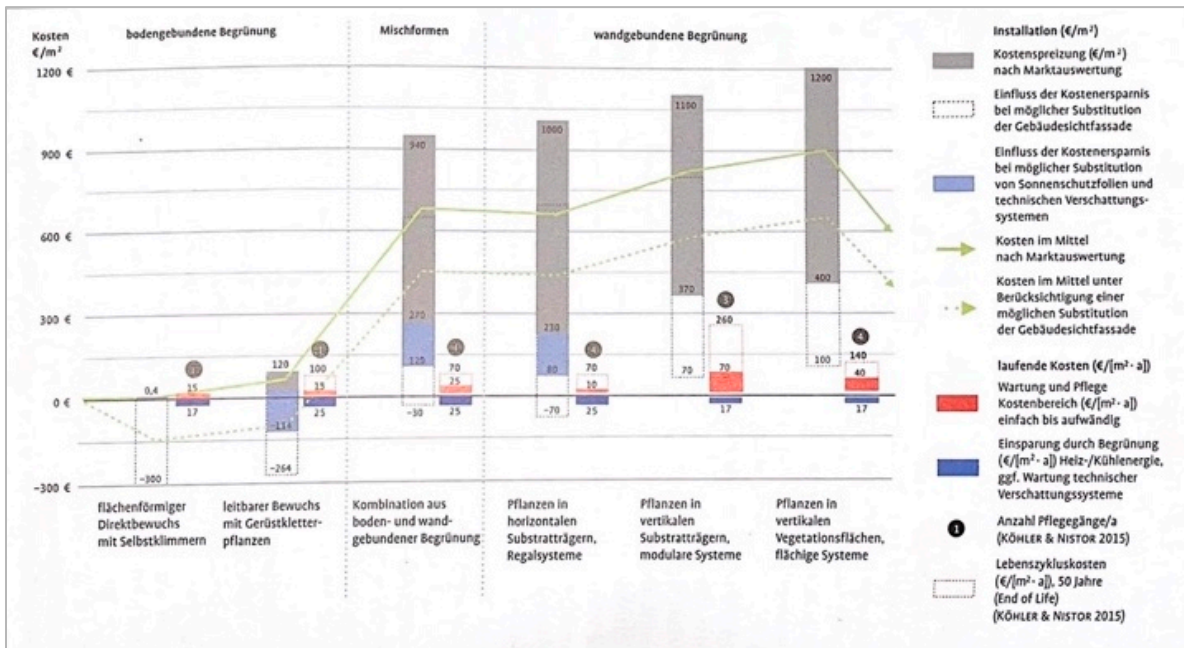


Abbildung 25 Überblick der Bauweisen im Kostenvergleich. [© Pfoser 2018: 52]

Viele Aspekte, die sich auf ökologischer Ebene und in Bezug auf die Aufenthaltsqualität auswirken, sind ökonomisch schwer zu fassen. Ihre langfristige Wirkung auf den Klimawandel wird durch eine dem Kostendruck ausgesetzte Bauherrschaft weitgehend ignoriert. Gebäudezertifizierungen wie das DGNB Zertifizierungssystem, die den gesamten Lebenszyklus und Umwelteinflüsse berücksichtigen, stellen eine Möglichkeit dar, die Potenziale der Fassadenbegrünung bezüglich klimaschützender Aspekte sichtbar und anrechenbar zu machen. Die CO₂-Last eines Gebäudes kann durch Fassadenbegrünung verringert werden.

Einsparungen können sich durch eine Verminderung technischer Verschattungssysteme, Fassadenmaterialien und maschineller Kühltechniken sowie verringerter Kosten für Heiz- und Kühlenergie, Wartungen von technischen Anlagen und Bauteilschutz ergeben. Dem gegenüber stehen die (gegenüber technischer Verschattungen meist geringeren) Pflegekosten und der Wartungsaufwand von Fassadenbegrünungen.

Bei der Planung von Begrünungen können die Kosten für eine Fassadenbegrünung reduziert werden, wenn bei der Planung Pflanzen mit geringem Pflegaufwand gewählt werden und die Zugänglichkeit der Pflanzbehälter durch Wartungsgänge gegeben ist. Weitere Kosten können durch die Auslegung von Begrünungen zur Optimierung von Energiebilanzen eingespart werden.

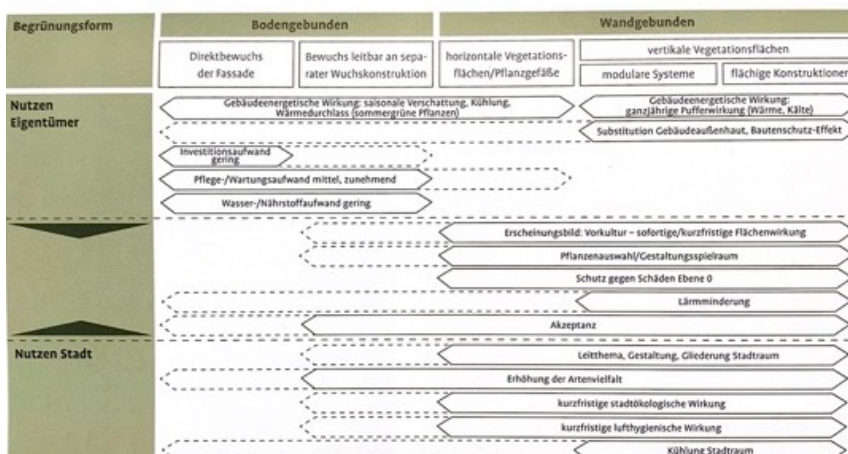
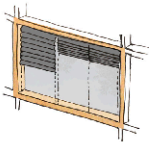
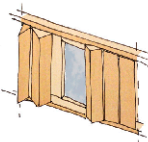
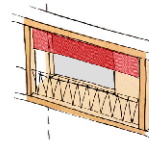
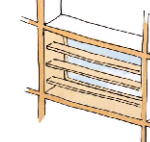


Abbildung 26 Potenziale von Fassadenbegrünung. [© Pfoser 2018: 49]

Qualitativer Vergleich

Vergleichsobjekte

				
	Raiffstoreanlage	Schiebeläden	Textilrollo	Brise Soleil
Investitionskosten	●●●	●●●	●●●	●●○
Wartungskosten	●●●	●●○	●●○	●○●
Verschattung	●●●	●●●	●●○	●●○
Ausblick	○●○	○●○	○●○	○●○
Platzbedarf	○●○	●●○	●●○	●●○
Veränderbarkeit	●●●	●●●	●●○	○●○

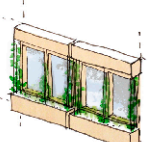
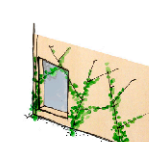
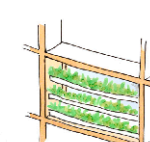
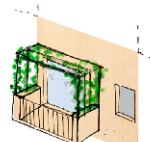
					
	Grüne Leibung	Grüne Netz	Rankpflanzen	Brise Soleil	Pergola
Investitionskosten	●●○	●●○	●○●	●●●	●●○
Wartungskosten	●○●	●○●	●○●	●●○	●○●
Verschattung	●●○	●●○	●○●	●●●	●●○
Ausblick	●●●	●○●	●●●	●○●	●●●
Platzbedarf	●●○	●●●	●●○	●●○	●●●
Veränderbarkeit	●○●	●○●	●○●	○●○	●○●

Abbildung 27 Vergleichende Darstellung unterschiedlicher Pflanzansätze. [© DGJ Architektur GmbH]

Je nach individuellen Standortfaktoren sollten für den optimalen Bewuchs nicht nur ökonomische, sondern auch qualitative Faktoren in Betracht gezogen werden. Nicht immer ist die kostengünstigste Bauweise auf lange Sicht auch die wirtschaftlichste, denn das Fortschreiten des Wachstums der Pflanzen kann die Anforderungen verändern. Bei hoher Veränderbarkeit muss daher eine flexiblere Bauweise gewählt werden als bei hoher Kontinuität. Der technische Aufwand spielt ebenso eine Rolle wie der ökologische Wert der Anlage und ihre Steuerbarkeit. Wichtig ist vor allem die umfassende Berücksichtigung aller Parameter: Investitionskosten, Wartungskosten, Verschattung, Ausblick, Platzbedarf und Veränderbarkeit.

Zusammenfassung: Fassadengrün als integraler Bestandteil der Architektur

Basierend auf den Analysen der Grundlagenermittlung ergibt sich eine tabellarische Aufstellung unterschiedlicher Parameter. Die beiden Begrünungsformen werden hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile nachfolgend beschrieben. Die Gegenüberstellung ermöglicht in einem weiteren Schritt die Auswertung hinsichtlich einer preisgünstigen und wartungsarmen Anlage als Verschattungselement.

Bodengebundene Begrünungen lassen sich in der Regel mit einfachen Mitteln und geringem Investitionsaufwand umsetzen. Sie stellen einen maßgeblichen Beitrag sowohl für die Gebäudeoptimierung als auch für die Aufwertung des Umfelds dar. Die Wirkung einer Direktbegrünung oder einer leitbaren Begrünung an einer Sekundärkonstruktion stellt sich jedoch abhängig von der Wachstumsgeschwindigkeit erst nach 3–5 Jahren ein. So können die Vorteile der Flächenwirkung nur bedingt in den Planungen zur technischen Gebäudeausrüstung einfließen. Verschattungswirkungen durch eine bodengebundene Begrünung kann den Einsatz weiterer Verschattungselemente nicht ersetzen.

Direktbegrünungen eignen sich nicht zur Beschattung vor Glasflächen, da die Pflanzen massive, einschalige Konstruktionen benötigen, um durch ihre Haftorgane an der Gebäudeoberfläche keine baulichen Schäden zu verursachen.

Wie viele realisierte Projekte zeigen, stellt sich der leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen als eine gute Möglichkeit zur Verschattung dar. Durch den Bewuchs einer Sekundärkonstruktion werden wenige bis keine Ansprüche an die Wandausbildung gestellt. Daher eignen sich Gerüstkletterpflanzen sowohl für den Neubau als auch für den Einsatz bei Bestandsgebäuden.

Bei den wandgebundenen Bauweisen wird in horizontale und vertikale Pflanzflächen unterschieden. Flächige und modulare Bauweisen werden in der Regel mit Hinterlüftung an der Wand angebracht. Die Installation solcher Bauweisen erfordert einen hohen konstruktiven Aufwand, um eine Beschädigung der Bausubstanz durch erhöhte Lasten und bauphysikalische Belange zu vermeiden. Der Aufbau der Fassaden bleibt monofunktional, eine aktive Nutzung der Begrünung durch die Bewohnerinnen und Bewohner ist bei wandgebundenen Fassadenbegrünungen nur in Ausnahmen möglich. Vorteile für die Verschattung und zur Vermeidung von Überhitzungen können durch adiabate Kühlung erzielt werden. Hierbei ist auf eine ausreichende Hinterlüftung zu achten, um einen Hitzestau zu vermeiden. Ein Einsatz vor Glasflächen ist nur bedingt möglich, da modulare und flächige Bauweisen in der Regel eine hundertprozentige „Flächendeckung“ zum Ziel haben. So verbleibt als Bauweise für Verschattungsleistungen durch wandgebundene Begrünungen die „Regalbauweise“ mit ihren horizontalen Vegetationsflächen.

Um eine Verschattung als Sofortwirkung für das gesamte Gebäude zu erzielen, erweist sich eine geschossweise Bepflanzung von Gerüstkletterpflanzen in Behältern als sinnvoll. Durch Vorkultivierung der Pflanzen können die gewünschten Effekte bereits nach kurzer Zeit erzielt werden. Die Breite der Praxisbeispiele zeigt, dass sowohl verschiedene Typologien als auch verschiedene Konstruktionen den Einsatz ermöglichen. Die Montage von Begrünung in einer separaten Ebene stellt keine zusätzlichen Anforderungen an die Fassade. Fällt die Wahl auf sommergrüne Pflanzen, so wirkt sich die energetische Relevanz ganzjährig aus. Die Einbindung in die Architektur oder ein sekundäres Tragwerk ermöglichen eine gute Zugänglichkeit der Pflanzen für Wartungs- und Instandhaltung und kann gleichzeitig einen qualitativ hochwertigen Aufenthaltsort für die Nutzerinnen und Nutzer des Gebäudes bieten.



Abbildung 28 Wachsendes „Haus der Zukunft“, Wettbewerbsbeitrag von ludwig.schönle Architekten. [©Office for Living Architecture, 2012: Haus der Zukunft. Zugriff: <https://www.o-l-a.eu/projekt/haus-der-zukunft/>]. [abgerufen am: 02.03.2023].]

Ein Ausblick darauf, welches Potenzial im Thema der Fassadenbegrünung steckt, zeigt ein Forschungsprojekt am Institut Grundlagen moderner Architektur (IGMA) der Universität Stuttgart/Prof. Ferdinand Ludwig der Technischen Universität München. Hier versuchen die Forschenden, eine direkte Verbindung zwischen Botanik und Architektur zu schaffen. Das Wachstum der Bäume wird so geleitet, dass sich durch Fusion von zwei oder mehr Bäumen eine statisch relevante Verbindung ergibt. Den Forschenden schwebt eine Vision von Stadt vor, in denen der Wald und die Architektur miteinander verwoben sind.

Im Wettbewerbsbeitrag zum „Haus der Zukunft“ zeichnen die Architekten ludwig.schönle (jetzt OLA) das Bild einer durch lebende Bäume getragenen Fassade. So kann ein wichtiger Beitrag zum Stadtklima und zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität geleistet werden.

Best Practice

Die Recherche von Best Practice-Beispielen zeigt, dass sich die Anzahl der Projekte, die in diese Kategorie fallen, in den vergangenen Jahren stetig erhöht hat. Grund hierfür mag einerseits sowohl der Wunsch nach Rückkehr der Natur in den Stadtraum sein, andererseits ein steigendes Bewusstsein für die Notwendigkeit einer gesünderen, lebenswerten Umwelt, gerade in Ballungsräumen. Für solche Bedürfnisse bieten sich „Vertical Gardens“, begrünte Innenräume oder auch Fassadenbegrünungen an. Neben dem marktsteigernden Wert einer grünen und gesunden Immobilie rückt auch das Energiesparpotenzial zunehmend in den Fokus.

Die folgenden Ausführungen zu Best Practice-Beispielen umfassen zwei Projekte für bodengebundene Begrünung und vier, in denen eine wandgebundene Begrünung zum Einsatz kam. Die in diesem Kapitel vorgestellten Projekte sind auf dem europäischen Kontinent umgesetzt und fallen in die kühlgemäßigte Klimazone.

Stadthaus M1, Freiburg



Abbildung 29 Fassadenansicht Stadthaus M1 Freiburg. [Foto: © Van Lier, Kilian, 2021]

Typologie	Hotel und Wohnungsbau
ArchitektIn	Barkow Leibinger
Standort	Freiburg
Jahr	2011 - 2013
Typ	Bodengebundene Begrünung über 5 Geschosse
Bauweise	Leitbarer Bewuchs an Rankseilen
Bepflanzung	Verschiedene Kletterpflanzen an vertikalen Stahlseilen
Exposition	Süd
Bauweise	Stahlskelettbauweise, Holzrahmenbauwände
Investition	Erstellung Pflanzenquartier: Hotel: € 26.600,-; Wohngebäude: € 32.200,-; Erstellung Vegetation: Hotel: € 13.600,- Wohngebäude: € 16.800,-
Wartungs- kosten	Hotel: € 9.500,- pro Jahr Wohngebäude: € 10.900,- pro Jahr
Internet- hinweise	https://gruenstattgrau.at/projekt/stadthaus-m1-fassadenbegrueung-in-freiburg/ https://barkowleibinger.com/archive/view/stadthaus_m1_green_city_hotel_freiburg_vauban

Am Eingang zum Quartier Vauban in Freiburg im Breisgau wurde von Barkow Leibinger das Projekt „M1“ entworfen. Der Wohn und Hotelbau teilt sich in zwei Baukörper auf, die durch eine durchgehende Fassadengestaltung zu einem Ensemble werden. In der Gestaltung der Fassaden spielte der Low-Tech-Ansatz eine wichtige Rolle, um den Energieverbrauch zu minimieren. Neben einer thermischen Optimierung der Bauteile bekam das Gebäude einen „vegetativen Sonnenschutz“ durch raderschallpartner Landschaftsarchitekten. Dieser leistet sommerlichen Wärmeschutz. Auf der Südseite wachsen Kletterpflanzen an Stahlseilen empor. Der Abstand der Seile variiert zwischen geschlossenen Fassadenbereichen, Fenstern und Loggien.

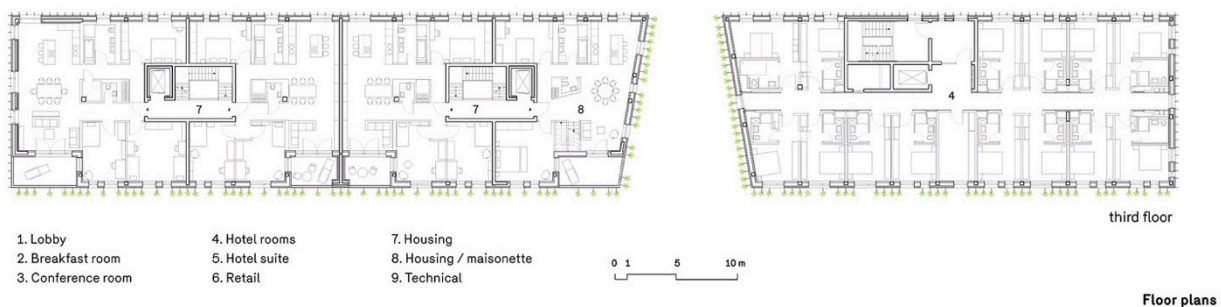


Abbildung 30 Exemplarischer Grundriss 3. OG von Barkow Leibinger. [Foto : © BauNetz, 2014: Low-Tech für Vauban. Zugriff: https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Stadthaus_von_Barkow_Leibinger_in_Freiburg_4037067.html [abgerufen am: 02.03.2023].]

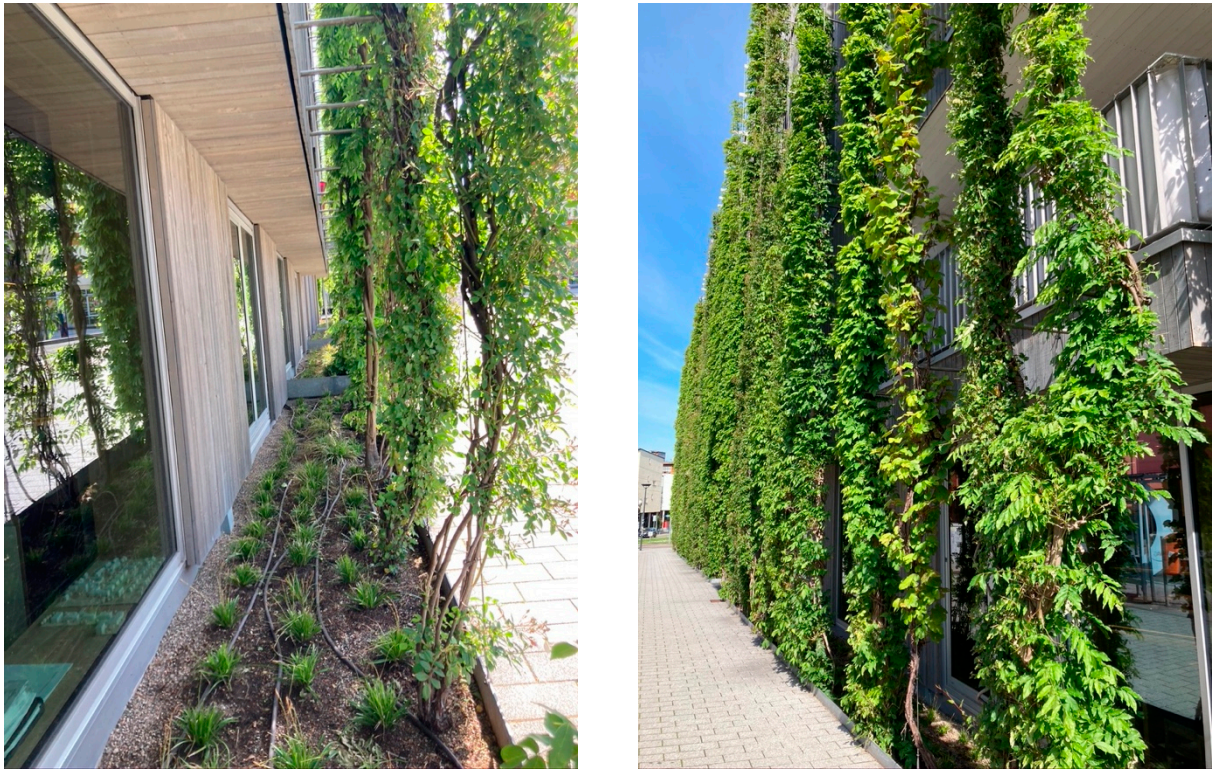


Abbildung 31 Detailansicht der Fassade Stadthaus M1 Freiburg. [Fotos: © Van Lier, Kilian, 2021]

Studentenwohnheim TUM, Garching



Abbildung 32 Studentenwohnheim von Fink+Jocher, München. [Foto: © Michael Heinrich. In: Fink+Jocher Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH. Zugriff: <https://fink-jocher.de/projekte/studentenwohnheim-tum-garching> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Typologie	Studierendenwohnheim
ArchitektIn	Fink Jocher
Standort	München, Stadtteil Garching
Jahr	2002 – 2005
Typ	Bodengebundene Begrünung
Bauweise	Leitbarer Bewuchs an Stahlseilnetz
Bepflanzung	Wilder Wein
Exposition	allseitig
Bauweise	Schottenbau mit Laubengängen
Internet-hinweis	https://fink-jocher.de/projekte/studentenwohnheim-tum-garching

Das Studierendenwohnheim liegt etwas außerhalb von München. Wegen Platzmangel zogen viele Fakultäten der Technischen Universität Anfang der 2000er Jahre an den Stadtrand von München. In diesem Zuge entstand auch neuer Wohnraum. Das Gebäude ist eine Schottenbauweise in einem gleichbleibendem Achsraster. So ergeben sich Parzellen für Wohnen, Gemeinschaftsküchen und Arbeitsräume. Die Erschließung

der Einheiten erfolgt über einen umlaufenden breiten Laubengang, der auch als Loggia dient. Das Gebäude wird von einem Stahlseilnetz umspannt, an dem Wilder Wein wächst. So entstand mit den Jahren ein außenliegender Sonnenschutz. Durch den Laubabwurf im Winter werden solare Gewinne zur Erwärmung der Räume genutzt.

Vorteilhaft ist die Doppelnutzung der Seilnetze als Wuchsaufleitung wie auch als Absturzsicherung. Das bewachsene Netz lässt im Sommer keine freie Sicht zu, bietet jedoch ein interessantes Licht- und Schattenspiel und lässt den jahreszeitlichen Wandel durch Neuaustrieb im Frühjahr, üppiges Grün im Sommer und das Farbenschauspiel der sich verfärbenden Blätter im Herbst erleben. Die Bepflanzung vom Boden aus und die umlaufende Netzbespannung im Erdgeschoss verhindern einen Bezug zwischen Gebäude und Umfeld. Zusätzlich zur Verschattung durch den Wein werden die Fenster durch einen innenliegenden Sonnenschutz und weite Auskragung der Deckenplatten beschattet.

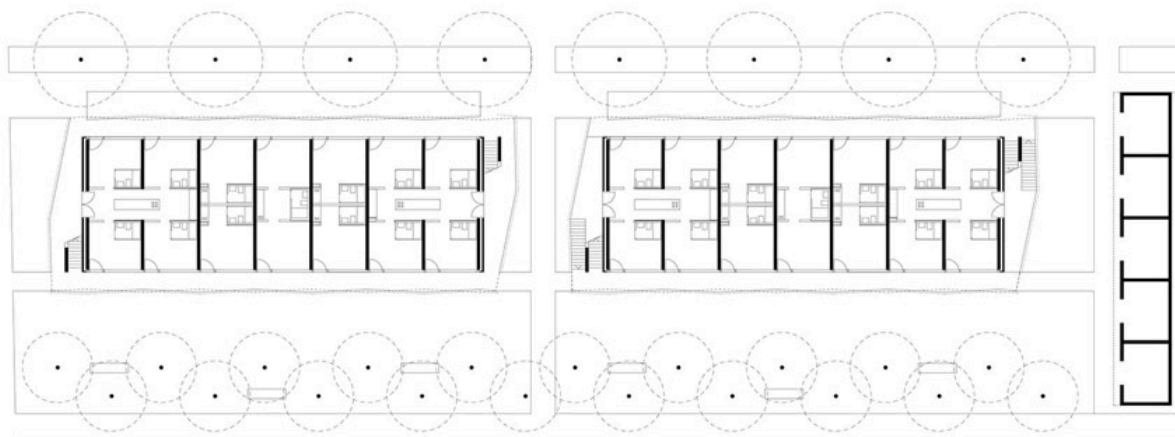


Abbildung 33 Studentenwohnheim von Fink+Jocher, München. [© Fink+Jocher Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH: Studierendenwohnheim TUM Campus. Zugriff: <https://fink-jocher.de/projekte/studentenwohnheim-tum-garching> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Stücki Einkaufszentrum, Basel



Abbildung 34 Stücki Business Park, Diener & Diener, Basel. [Foto: © Jakob AG: Stücki Business Park.
Zugriff: <https://www.jakob.com/de/de/referenzen/stuecki-business-park> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Typologie	Einkaufszentrum, Hotel, Büroflächen
ArchitektIn	Diener & Diener
Standort	Basel
Jahr	2010
Typ	Wandgebundene Begrünung
Bauweise	Linearbehälter/Pflanztröge mit Kletterhilfen
Bepflanzung	23 verschiedene Gehölze und Gerüstkletterpflanzen
Exposition	Südwest
Bauweise	Beton Skelettbau, Tröge in vorgelagerter Galerie
Investition	ca. € 601.000, -
Internet-hinweise	https://www.jakob.com/de/de/referenzen/stuecki-business-park https://gruenstattgrau.at/projekt/stuecki-einkaufszentrum-in-basel/

Das Einkaufszentrum Stücki in Basel empfängt seine BesucherInnen mit einer begrünten Fassade. Auf vorgesetzten Galerien wachsen in linearen Pflanztrögen verschiedene Gehölze und Gerüstkletterpflanzen. Die Fassade liegt zurück und verbirgt sich hinter der Begrünung. Als Kletterhilfen sind außen an den auskragenden Betonbodenplatten Seile montiert. Diese laufen durchgehend über alle vier Geschosse. An der Seitenfassade des Gebäudes wachsen bodengebundene Kletterpflanzen vor einem Laubengang empor. So sind die Pflanzen zur Wartung gut zugänglich. Die Bewässerung erfolgt über Tropfschläuche, gesteuert durch eine Zeitschaltuhr und einen Frostwächter.

Bosco Verticale, Madrid



Abbildung 35 Bosco Verticale, Stefano Boeri, Mailand, Italien. [Foto: © Paolo Rosselli. In: Deutsche Bauzeitung: Vertikaler Großstadt-Dschungel Bosco Verticale, Mailand/I. Zugriff: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Vertikaler_Grossstadt-Dschungel_Bosco_Verticale_Mailand_I-2403817.html [abgerufen am: 02.03.2023].]

Typologie	Apartment Hochhaus
ArchitektIn	Boeri Studio, Emanuela Borio, Laura Gatti
Standort	Mailand
Jahr	2014
Typ	Wandgebundene Begrünung
Bauweise	Horizontale Pflanztröge
Bepflanzung	Bäume, Büsche Bodendecker
Exposition	allseitig
Wartungskosten	63€ / Jahr / m ²
Internet-hinweise	https://www.dbz.de/artikel/dbz_Vertikaler_Grossstadt-Dschungel_Bosco_Verticale_Mailand_I_2403817.html https://www.stefano-boeri-architetti.net/en/project/vertical-forest/ https://gruenstattgrau.at/projekt/bosco-verticale-in-mailand/

„Bosco Verticale“ lässt sich aus dem italienischen mit „Vertikaler Wald“ übersetzen. Der Name des Projekts lässt Rückschlüsse auf die Pflanzenauswahl zu. In einer dreijährigen Studie wurde für das Projekt der passende Pflanzenmix zusammengestellt. Dabei wurde bei der Auswahl besonders auf Exposition und die Höhe

geachtete. Auf den ausladenden Terrassen wachsen 23 verschiedene Baumarten mit einer Höhe bis zu 9 Meter. Die Pflanzen wachsen in Pflanztrögen und werden mit Stahlseilen fixiert.

Das Projekt soll einen Beitrag zu Begrünung in verdichteten Innenstadtbereichen und zur Regeneration der Umwelt leisten. Die 800 Bäume, 4.500 Sträucher und 15.000 Pflanzen binden jährlich 30.000 kg CO₂ und dienen als Lebensbereich für Vögel und Insekten. Durch die Begrünung wird zudem ein Beitrag für das Mikroklima der Bewohnerinnen und Bewohner geleistet. Für die Bewässerung wird Brauchwasser von einem Becken im Keller einzeln zu den Pflanzbecken auf den Balkonen gepumpt.

Caixa Forum, Madrid

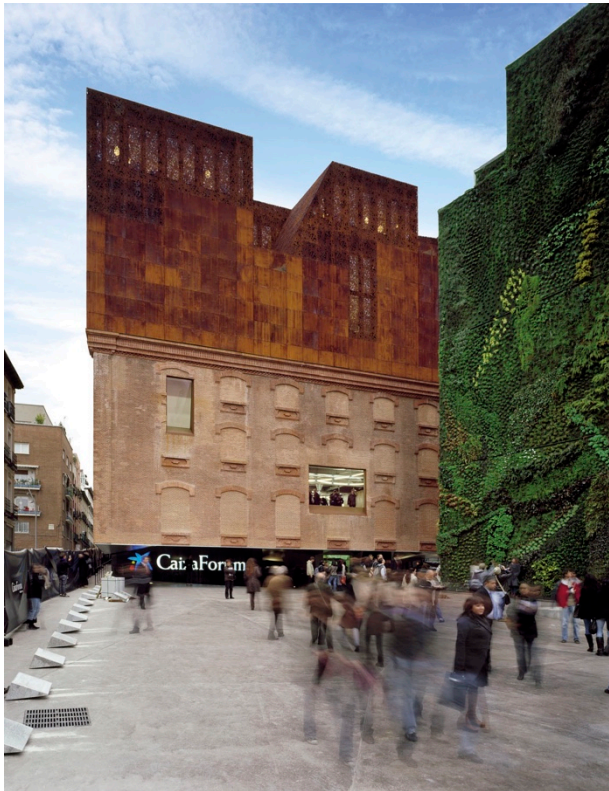


Abbildung 36 CaixaForum, Madrid. [Foto: © Roland Halbe. In: Cohn, D., 2008: CaixaForum Madrid. Bauwelt (13): 16-27.]

Typologie	Museum
ArchitektIn	Herzog & de Meuron
Standort	Madrid
Jahr	2007
Typ	Wandgebundene flächige Begrünung
Bauweise	Geotextil mit Einschlitzungen und aufgesetzten Pflanztaschen
Bepflanzung	600 qm
Exposition	Süd
Bauweise	Bestand, Brandwand
Internet- hinweis	https://www.bauwelt.de/dl/793980/10817143_9df4fe42d4.pdf

Aus der Feder der Basler Architekten Herzog & de Meuron kommen die Planung und die Umsetzung des ehemaligen Elektrizitätswerks zu einem Kulturzentrum. Vor dem entkernten und anschließend aufgestocktem Gebäude entsteht eine Plaza, die sich über das Erdgeschoss bis in das Gebäude zieht. In Zusammenarbeit mit Patrick Blanc wurde die 24 Meter hohe Brandwand des Nachbargebäudes mit einer flächigen Begrünung ausgestattet. Für die 600 Quadratmeter große Fläche wurde eine kleinteilige Begrünung entwickelt, die sich aus 250 verschiedenen Pflanzen zusammensetzt.

MA48, Wien



Abbildung 37 Fassadenbegrünung MA48, Zentrale der Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und zugehörigen Fuhrparks in Wien. [Fotos: © C. Fürthner/M20. In: Stadt Wien, 2020: Grünfassade der MA 48 feiert 10. Geburtstag. Zugriff: <https://www.wien.gv.at/presse/bilder/2020/07/15/ma48-zentrale> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Typologie	Verwaltungsgebäude
Standort	Wien
Jahr	2010
Typ	Wandgebundene modulare Begrünung
Bauweise	Regalbauweise Pflanztröge als Linearbehälter mit horizontaler Wuchsebene
Bepflanzung	Stauden, Gräser, Kräuter
Exposition	allseitig
Bauweise	Bestand Ziegelbau
Internet-hinweis	https://gruenstattgrau.at/projekt/ma-48/

Ziel des Projekts war es, eine Sanierung der Bestandsfassade vorzunehmen, ohne dabei auf herkömmliche Dämmmaterialien zurückzugreifen und dem Gebäude und dem Bezirk eine „grünes Antlitz“ zu geben. Der Ziegelbau aus den 1960er Jahren wurde hierfür mit 17.000 Pflanzen in horizontalen Pflanztrögen begrünt. Für die wandgebundene Begrünung wurden horizontale Vegetationsflächen mittels Linearbehältern angelegt. Durch die Pflanzen und die Substratmasse in den Aluminiumtrögen kann an heißen Tagen ein Delta zwischen den Pflanzen und dem unbegrüntem Sockel von bis zu 15 K gemessen werden. Das Pilotprojekt wird von verschiedenen Studien begleitet. Der winterliche Wärmeverlust in Watt/m² konnte um bis 50 % reduziert werden. Die Verdunstungsleistung der 850 m² großen Fassadenfläche entspricht etwa einer Kühlleistung von 75 Klimakühlgeräten mit je 3.000 Watt bei einer Betriebsdauer von 8 Stunden. Bewässert wird die Begrünung über Tröpfchenbewässerung.

Entwicklung: Verschattende Begrünung

Die hier vorgestellte Bauweise stützt sich auf ein bereits entwickeltes und geprüftes Bauteil, um die Anwendung und Übertragbarkeit zu vereinfachen. So können Einzelfallprüfungen verhindert und Planungen effizienter gestaltet werden. Dadurch reduzieren sich Baukosten und die Planungsaufgabe wird erleichtert.

Am Markt befinden sich aktuell über 60 verschiedene Hersteller und Anbieter von Bauweisen (vgl. Köhler et al. (Hrsg.) 2012). In den letzten Jahren sind einige Firmen hinzugekommen und bieten neben den Produkten auch weitere Dienstleistungen, wie die Pflege und Versorgung der Pflanzen in Leasingverträgen, an.

Im ersten Teil dieses Kapitels wird das Verschattungspotential verschiedener Anwendungsbeispiele beschrieben. Nachfolgend wird der Aufbau dieser Begrünungssysteme unter der Berücksichtigung dieser Parameter erläutert.

- Verschattungspotential,
- Gefäße und Bewässerung,
- Pflanzauswahl,
- Bewässerungssystem mit Tank etc.

Verschattungspotenzial

Zur Wirkungsweise von Verschattung durch Begrünung gibt es bisher nur wenige Studien. Erste Messungen zeigen, dass 40–80 Prozent der Sonneneinstrahlung reflektiert werden (Baumann 1980; Kießl und Rath 1995) und die Verschattung durch Gerüstkletterpflanzen bei 85–95 Prozent liegen kann (Fischer, Blaha, Korjenic 2020). Durch Verschattungsraten in dieser Höhe lassen sich maschinelle Kühlungen einsparen (Pfoser 2018). Messungen von Baumann aus dem Jahr 1980 ergaben, dass der Abminderungsfaktor durch Kletterpflanzen als Sonnenschutz bei 0,62–0,3 liegt. Diese Werte sind vergleichbar mit denen von außenliegendem baulichem Sonnenschutz.

Um die Verschattungswirkung einer Begrünung besser zu beschreiben, werden die Formen der Fassadenbegrünung in weitere Kategorien unterteilt. Diese gehen dabei nicht von der Pflanze als boden- oder wandgebundenem Element aus, sondern beschreiben den Bezug zwischen Fassade und Begrünung. In welchem Abstand stehen Begrünung und Fassade zueinander? Bei der Beschreibung von Fassadenkonstruktionen wurde bereits zwischen direkter und Begrünungsebene und separater Begrünungsebene unterschieden. Hinzu kommt die Kategorie einer integrierten Begrünung. Das Verschattungspotential kann in drei Stufen untergliedert werden:

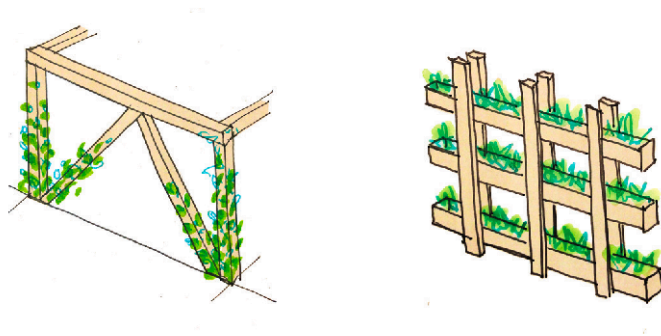
- **Gering:**
Begrünungen mit einer geringen Blattdichte und einem großen Pflanzabstand haben ein geringes Verschattungspotential.
- **Mittel:**
Begrünungen, die durch ihre Ausrichtung zur Fassade Verschattungsleistungen zu bestimmten Tageszeiten haben, weisen punktuell hohe Wirkungsweisen auf. Diese Wirkung verändert sich jedoch durch den tages- und jahreszeitlichen Verlauf.
- **Hoch:**
Flächige, parallel zur Fassadenoberfläche verlaufende, dichte Begrünungen weisen ein hohes Potential auf – die Verschattung erfolgt über die gesamte Oberfläche.

Zur Verschattung von Gebäuden eignen sich sowohl boden- als auch wandgebundene Fassadenbegrünungen, wie auch Mischformen. Nachfolgend werden verschiedene Aufbauten beschrieben und mit Praxisbeispielen hinterlegt.

- Überlagerung von ungedämmten Skelettkonstruktionen durch Direktbegrünung.

- In offene Tragstruktur integrierte Begrünung (oder Substitution von Fassadenmaterial bei ungedämmten Wänden).
- Bodengebundene Begrünung mit geleiteten Gerüstkletterpflanzen an Wuchshilfe.
- Vorgesetzte Begrünung mit leitbarem Bewuchs (Gerüstkletterpflanzen).
- Distanzbegrünungen (statisch integriert oder losgelöst).

ungedämmte Wandaufbauten



gedämmte Wandaufbauten

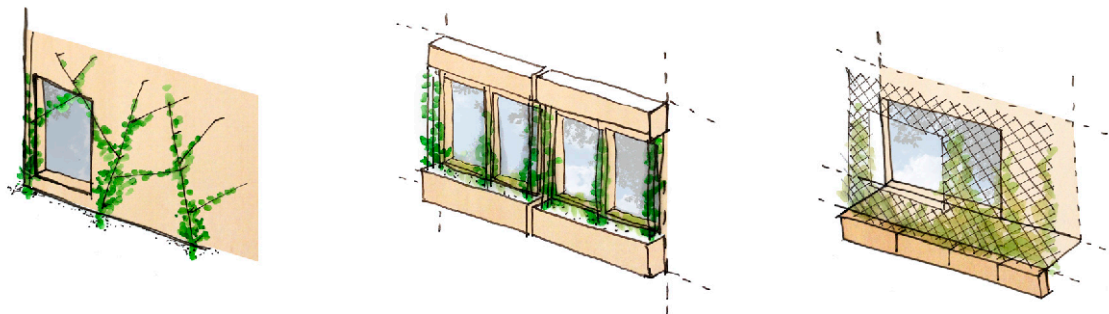


Abbildung 38 Beispiele für direkte und separate Begrünungsebenen. [© DGJ Architektur GmbH]

Integrierte Begrünung

Fassadenbegrünungen können in den Wandaufbau integriert werden. Dies kann bei gedämmten Bauwerken durch flächige oder modulare Begrünungen realisiert werden, die einen Teil der Außenfassade substituieren. Ungedämmte Ständer- oder Fachwerkbauweisen lassen die Möglichkeit zu, dass Pflanzen in der gleichen Ebene der Tragstruktur wachsen. So können verschattete Außenräume mit einem angenehmen Mikroklima entstehen.



Abbildung 39 Integrierte Fassadenbegrünung des dänischen Pavillons "con-nect-ed-ness" auf der Architektur-Biennale von Venedig 2021. [Foto: © Hampus Berndtson. In: Archipanic: Con-nect-ed-ness: The Danish pavilion in Venice evokes an indelible sense of connection between people and nature. Zugriff: <https://www.archipanic.com/con-nect-ed-ness-danish-pavilion-venice-2021/> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Überlagernde Begrünung



Abbildung 40 MFO-Park in Zürich mit begrünter Tragstruktur.
[Foto: © Paul Clemence. In: ArchDaily, 2022: Paul Clemence
Captures Burckhardt & Partners' Zürich's MFO Park in Bloom.
Zugriff: <https://www.archdaily.com/980008/paul-clemence-captures-burckhardt-and-partners-zurichs-mfo-park-in-bloom>
[abgerufen am: 02.03.2023].]

Kennzeichen dieses Begrünungstyps ist das Wachstum der Pflanzen direkt auf oder an der Konstruktion, ohne dass eine weitere Wuchshilfe benötigt wird. Es können sowohl boden- als auch wandgebundene Begrünungen zur Anwendung kommen.

Die Struktur des Gebäudes verschwindet zunehmend hinter dem Bewuchs. Die Überlagerung führt zu einer Verschmelzung von Architektur und Pflanze. Die Elemente sind visuell nicht mehr voneinander zu trennen. Vorstellbar sind hier „Haus in Haus“-Lösungen.

Direktbegrünungen sind an massiven, fugenfreien Wänden empfohlen. Öffnungen, Revisionsöffnungen und ähnliches können durch das Pflanzenwachstum beschädigt werden. Sie sollten daher mit Begrenzungen durch Rücksprünge oder Randbleche geschützt werden. Alternativ können auch offene Skelettbaustrukturen für eine direkte Begrünung genutzt werden. Diese Art der Begrünung ist lediglich für ungedämmte Gebäude oder -bereiche nutzbar. Die Überlagerung der Struktur führt zu einem hohen Aufwand bei Rückbau, beziehungsweise zieht Fassadensanierungen nach sich.

Bodengebundene Begrünung an leitbarem Bewuchs

Werden Kletterpflanzen an einer Sekundärkonstruktion vor Öffnungen oder Balkonen und Loggien entlangeleitet, so kann sich hierdurch eine verschattende Wirkung ergeben. Mit dem Wachstum der Pflanze nimmt die Verschattungsleistung immer weiter zu. Eine sonnige Wirkung ist nur temporär mit sommergrünen Pflanzen im Winter zu erzielen. Die Verschattung eignet sich vornehmlich für Gebäude mit geringer Höhe. Die Bewässerung kann manuell oder durch ein Bewässerungssystem erfolgen.

Aufgesetzte / vorgesetzte Begrünung

Pflanzkästen oder Module werden außenseitig an der Fassade montiert. Die Pflanzbehälter können einer freien Gestaltung folgen und sind weitgehend unabhängig von der dahinter liegenden Konstruktion. Bei der Gestaltung muss Rücksicht auf die Ansprüche der Pflanzen genommen werden. Eine Bepflanzung mit Gerüstkletterpflanzen auch vor Glasflächen kann zu einer teilweisen Verschattung führen und sich so auf eine

Optimierung des Wohnkomforts der Bewohnerinnen und Bewohner auswirken. Bei einer punktuellen Anordnung kann eine Bewässerung der Begrünung eine schwierige Planungsaufgabe werden. Es können horizontale Pflanzstandorte begrünt mit Gerüstkletterpflanzen sowie auch modulare Begrünungstypen gewählt werden. In Kombination mit einem Pflanzgefäß für Hydrokulturen kann bei regelmäßiger Kontrolle und manueller Bewässerung gegebenenfalls auf ein Bewässerungssystem verzichtet werden.



Abbildung 41 Vorgesetzte Begrünung am Lausitztower, Andreas Ferstl Architekten. [Foto: © Andreas Ferstl Architekten, o. J.: Lausitztower. Zugriff: <https://a-f-a.de/projekt/lausitztower/> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Distanzbegrünung

Zur Verschattung von großflächigen Glasfronten eignet sich die Begrünung mit Kletterpflanzen mit einer größeren Distanz zur Fassade. Diese kann durch Balkone oder Laubengänge sowie separat vorangestellte Konstruktionen erreicht werden. Werden Wuchsaufleitungen als Netze ausgebildet, kann gleichzeitig die Absturzsicherung gewährleistet werden. Bei der Wahl der Pflanzen sollte auf eine geringe bis mittlere Blattdichte geachtet werden, um den Ausblick weiterhin zu ermöglichen.



Abbildung 42 Distanzbegrünung, Snøhetta Architects. [Foto: © Snøhetta Architects, o. J.: o. T.. Zugriff: <https://snøhetta.com/projects/513-asi-reisen-headquarters-a-lush-open-office-space-in-timber%20> [abgerufen am: 02.03.2023].]

Gefäße & Bewässerung

Um eine Verschattung mit Kletterpflanzen zu gewährleisten, werden zur Begrünung insbesondere bodengebundene und wandgebundene Systeme eingesetzt. Sofern bodengebundene Begrünungen eingesetzt werden, ist auf eine ausreichende Bewässerung zu achten, wenn die Pflanzen im Regenschatten des Gebäudes eingesetzt werden. In diesem Fall bedarf es einer zusätzlichen manuellen oder technisch gesteuerten Bewässerung. Zudem ist die Qualität des Wurzelraumes zu prüfen, beziehungsweise eine pflanzengerechte Bodenqualität oder ein Austausch durch ein Intensivsubstrat zu gewährleisten (Vgl. Pfoser 2018: 150).

Bei einer wandgebundenen Begrünung mit Kletterpflanzen werden zur Versorgung sogenannte Tröge oder Gefäße eingesetzt. Diese Gefäße können als Einzel- oder Linearbehälter auf Balkonen oder auskragenden Konsolen montiert werden. Bei den Gefäßen gibt es unterschiedliche Lösungen. In der Regel wird in den Gefäßen ein strukturstabiles, mineralisches Substrat eingebracht, in das die Kletterpflanzen eingesetzt werden. Im Bereich darunter befindet sich eine Drainageschicht, um Staunässe zu vermeiden. Versorgt werden die Pflanzen dann über einen Bewässerungsschlauch mit Tröpfchenbewässerung.

Im Modellvorhaben und im Forschungsprojekt wurde, wie in den folgenden Kapiteln beschrieben, ein Gefäß mit einer freien Wasserebene eingesetzt, um eine manuelle Bewässerung und wartungsexensive Pflege zu ermöglichen.

Wuchskonstruktion

Um das Ziel einer Verschattung durch Kletterpflanzen zu erreichen, bedarf es zusätzlicher Wuchshilfen, um die Pflanzen in einem Abstand zum Gebäude leiten zu können. Dazu eignen sich verschiedene Konstruktionen, die sich nach dem architektonischen Gestaltungsansatz, maßgeblicher jedoch nach der Auswahl der Pflanzen richten. Lineare Rankhilfen, wie Stäbe, Rohre oder Seile, können für verschiedene Schlinger und Winder eingesetzt werden. Für die Teststände und die Begrünung an nichtrostenden Stahlseilen wurden die meisten Pflanzen aus dieser Kategorie ausgewählt. Wichtig ist eine seilparallele Aufleitung der Haupttriebe, die über die jährliche Pflege realisiert wird. Damit wird die Konstruktion vor übermäßigen Kräfteinwirkungen und Spannungszuständen geschützt. Gitter oder netzförmige Konstruktionen eignen sich für Ranker oder Spreizklimmer. Hier ist die Auswahl der Pflanzen im Bezug zur Rankkonstruktion ebenfalls entscheidend.

Pflanzen

Pflanzen können einen Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz und zur Verschattung leisten. Mit zunehmendem Bewuchs wird eine geringere Temperaturamplitude als in der Umgebungsluft erzeugt.

Nach Messungen von Baumann (1980) und Kießl + Rath (1995) werden 40–80 Prozent der Sonneneinstrahlung im Laub der Fassadenbegrünung absorbiert beziehungsweise reflektiert. An einer Verschattung durch eine im Winter laubabwerfende Begrünung (*Vitis*, *Wisteria sinensis*) wurde eine sommerliche Solarstrahlungsminderung auf 5–30 Prozent (70–95 Prozent Verschattungsrate) gemessen (Fischer et al. 2020; Pfoser 2018: 107). Der Einsatz der Pflanze und der damit einhergehenden Rankhilfe bestimmt maßgeblich die Verschattung und den sommerlichen Wärmeschutz. Aus diesem Grund wurden in mehreren Testständen verschiedene Pflanzen hinsichtlich ihres Wachstumsverhaltens und ihrer Verschattungsleistung untersucht.

Modellvorhaben „WohnWerk“, Mannheim



Abbildung 43: Fassadenansicht des „WohnWerks“ im Rendering, Richtung Süden zum Gelände der Bundesgartenschau Mannheim 2023. [Quelle: DGJ Architektur GmbH]

Die entwickelte Bauweise zur verschattenden Begrünung wurde, wie erwähnt, in einem konkreten Bauvorhaben angewandt. Dafür wurde ein aktuelles Bauprojekt von DGJ Architektur in Mannheim ausgewählt (dgj253 WohnWerk Mannheim, einem gemeinschaftlichen Wohnprojekt im von DGJ entwickelten Holzbausystem, Baubeginn: 2019, Fertigstellung: voraussichtlich März 2024). Die Entwicklung und Erforschung der Begrünung liefen dabei parallel, sodass die Erkenntnisse frühzeitig in die Detailplanungen des Gebäudes übertragen werden konnten. Gleichzeitig wurde das System durch die Bauherrenschaft kritisch auf die Nutzerfreundlichkeit hin bewertet.

Die für die Konstruktion der Pflanzen tragenden Medien, die Befestigung an den Fassaden sowie die Technik für die Wasserversorgung und Steuerung der Begrünung wurden auf das Modellvorhaben angepasst. Bei dieser Entwicklung mit dem Ziel einer preisgünstigen und wartungsarmen Fassadenbegrünung zur Verschattung wurde außerdem die von Nicole Pfoser vorgeschlagene Strategie zur Entwicklung einer schadensfreien Fassadenbegrünung angewendet. Dafür werden drei Stufen durchlaufen. Die Projektbeteiligten arbeiten zusammen an der gestalterischen, technischen und botanischen Umsetzung.

Im ersten Schritt werden die Anforderungen der Fassadenbegrünung mit Verschattungswirkung auf das Modellvorhaben erörtert. Im zweiten Schritt wird die Begrünungsform einschließlich des Systems erarbeitet und anschließend, im dritten Schritt, zur Ausschreibung gebracht. Diese Stufen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Stufe 1 – Grundlagenanalyse

- *Standort (Lage, Klimadaten, planungsrechtliche und nachbarschaftsrechtliche Umfeld-Bedingungen)*
- *Chancenklärung eines energetischen/ökologischen Begrünungseinsatzes*
- *Budget*

Stufe 2 – Klärung des funktionalen und gestalterischen Anspruchs (Zieldefinition)

- *Geeignete Begrünungsform finden*
- *Begrünungssystem festlegen*
- *Pflanzenauswahl treffen*
- *Pflanzenfestlegung*
- *Klärung der Versorgungs- und Instandhaltungsanforderungen*

Stufe 3 – Planung und Umsetzung

- *Technische Detaillierung*
- *Vorbereitung der Ausschreibung*

Stufe 1 Grundlagenanalyse: Anforderungen an eine Fassadenbegrünung mit Verschattungswirkung – Voraussetzungen und Rahmenbedingungen des Modellprojekts „WohnWerk“ Mannheim

Das Wohngebiet „Spinelli“, Mannheim, entsteht gegenwärtig auf 81 Hektar Konversionsfläche eines ehemaligen, amerikanischen Militärgeländes, der „Spinelli-Barracks“. Es soll ein vielseitiges, neues Stadtquartier werden. Die Konversionsfläche grenzt an das Gelände der Bundesgartenschau 2023 in Mannheim, die im April 2023 eröffnet wurde. Die Balkone des „WohnWerks“ haben einen direkten Blick auf das BuGa-Gelände in südlicher Richtung. Damit hat die Fassadenbegrünung des „WohnWerks“ einen prominenten Platz. Auch konzeptionell war die Fassadenbegrünung in Hinblick auf das Gegenüber der BuGa von allen Beteiligten gewünscht.

Der Planung für das Gesamtprojekt „WohnWerk“ liegt ein umfassendes Konzept zur Ressourcenschonung und Energieeffizienz zugrunde. Die Bauherrin, die „WohnWerk Mannheim eG“, wollte als Genossenschaft ein gemeinschaftliches Wohnprojekt umsetzen, das hohe Nachhaltigkeitsansprüche erfüllt. Nach dem Prinzip der Suffizienz verzichten die Bewohnerinnen und Bewohner auf Quadratmeter in den allein privat genutzten Wohnungen, ohne dabei auf Wohnkomfort verzichten zu müssen. Auch Verkehrsflächen wurden reduziert. Stattdessen gibt es viele gemeinschaftlich nutzbare Flächen: Einen großen, multifunktionalen Raum mit Küche im EG, der auch für Externe anzumieten ist, eine Dachterrasse im vierten Geschoss nach Norden, ein kleines Gästezimmer für die gesamte Hausgemeinschaft, eine Werkstatt im UG, einen Hauswirtschaftsraum (Waschmaschinen, Trockner...) und die vielfältigen Bereiche der Außenanlage. Dazu gehören ein gemeinsamer Garten mit Sitzgelegenheiten, Fahrradschuppen, Flächen zum Gemüse- und Obstanbau und die gemeinschaftliche Grünanlage (Innenhof) mit den Nachbargebäuden des Baufelds auf „Spinelli“.

Das fünfgeschossige Gebäude wurde in Holzbauweise geplant, wobei der Treppen Kern aufgrund des Brandschutzes mit Stahlbeton gebaut ist. Fundament und Treppenhaus sind aus Gründen der Statik und des Brandschutzes aus Beton, ein Raster aus Holzstützen trägt Holzgeschossdecken und die Wände. Es wurde ein hoher Energiestandard (Energieeffizienz Kfw40+) mit Photovoltaikanlage und Batteriespeicher sowie erneuerbarer Wärmeversorgung mittels Erdsonden und Wärmepumpe (Geothermie) umgesetzt.

Die intensive Fassadenbegrünung (Verschattung und Blick ins Grüne) fügt sich nahtlos in das Nachhaltigkeitskonzept ein. Von Beginn an war sie als Beitrag zur Energieeffizienz eingeplant, da die

Verschattungseffekte zur Kühlung und gleichzeitig die Begrünung zur Verbesserung des Mikroklimas beitragen.



Abbildung 44: Lageplan Spinelli. [Quelle: <https://www.wohnwerk-mannheim.de>]

Lage und Standort: Sonnenstandsanalyse

Eine Sonnenstandsanalyse zeigt die Anzahl der Stunden, für die die Fassade direktes Sonnenlicht bekommt. Sie klärt für das spezifische Projekt darüber auf, wo und zu welchen Zeiten Sonne und Verschattung zu erwarten sind.

Grundlage für die Analyse ist der Baukörper mit der Konstruktion der umlaufenden Laubengänge, die wie das Gebäude in Holz konstruiert sind. Eine Verschattung durch Fassadenbegrünung wird beim gängigen Wärmeschutznachweis (sommerlicher Wärmeschutz) zumeist nicht betrachtet. Die Sonnenstandsanalyse gibt Hinweise auf mögliche Hitzeentwicklung, Dauer der Sonneneinstrahlung im Jahresverlauf, zur natürlichen Verschattung durch jahreszeitliche Bedingungen und weitere Daten, anhand derer Rückschlüsse für eine optimale Fassadenbegrünung in Bezug auf Verschattung/Verdunstung (Kühlung) gezogen werden können. Im Beispielfall der Abbildung wurde die Sonneneinstrahlung an einem Sommertag evaluiert, bei dem von einer starken Hitzebelastung ausgegangen werden kann.

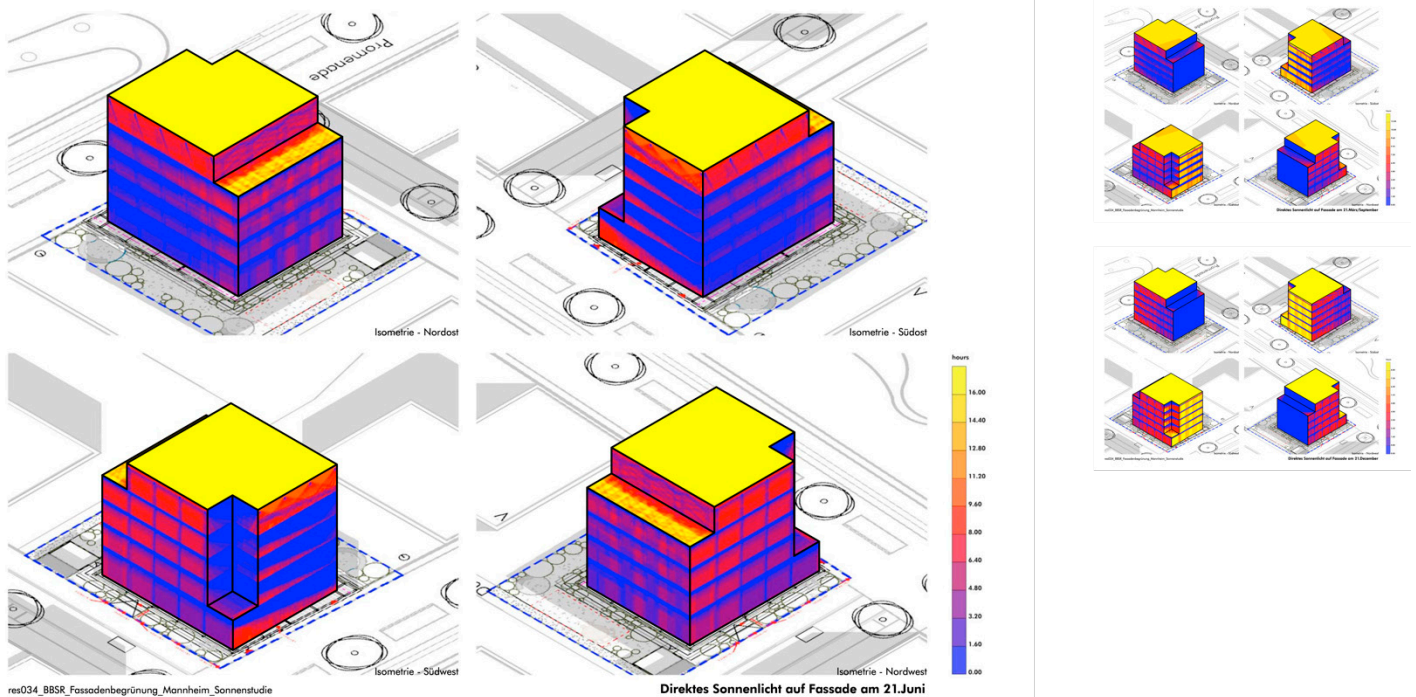


Abbildung 45: Sonnenstudie, November 2021. [Quelle: DGJ Architektur GmbH, Stand November 2021]

Die in der Grafik dargestellten, blauen Felder stehen für Verschattung, beziehungsweise die kühleren Flächen, die roten Felder für entsprechende Zonen der Hitzeentwicklung.

Dabei zeigt sich, dass die östliche Fassade (Isometrie Nordost) des Gebäudes in Mannheim durch ein eng platziertes Nachbargebäude relativ stark verschattet wird, während die westliche Fassade (Isometrie Südwest) an einer Straße liegt und damit mehr direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist. Außerdem zeigt die rote Färbung des Ober- bzw. Staffel-Geschosses, dass hier ebenfalls mit hoher Sonneneinstrahlung zu rechnen ist.

Die blauen, horizontal verlaufenden Streifen bei den Isometrien Südwest und Nordwest sind Evidenzen für die Verschattungswirkung des auskragenden Elements (Laubengang) der Fassade. Durch den Laubengang entsteht ein Vorsatz vor der eigentlichen Fassade, der im Zusammenspiel mit dem begehbaren Gitterrost der

Balkone wie eine geschlossene, horizontale Fläche langgezogene Schatten auf die Fassade wirft. Dieser Fakt wurde vor allem für die Platzierung der jeweiligen Pflanzformen im Bezug auf den Nutzungskonflikt zwischen freier Sicht und Verschattungswirkung (s. weiter unten) relevant.

Klimadaten für das Modellprojekt Mannheim

Zur Berücksichtigung des exakten Standortes wurden ortsgenaue Klimadaten für Mannheim verwendet. Hierfür stehen Testreferenzjahre (TRY) des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung, die als Grundlage für die Simulationsmodelle verwendet wurden. Nachfolgend sind die für das Projekt relevanten Parameter des Außenklimas gezeigt.

Die Außentemperaturen sind eine von zwei primären Einflussfaktoren des Außenklimas auf den sommerlichen thermischen Innenraumkomfort. Die Außentemperaturen bewegen sich in einer Amplitude zwischen -6,6 und 33,2 °C für das Testreferenzjahr 2015. Aufgrund der aktuellen, klimatischen Entwicklungen ist zukünftig mit noch höheren Maximaltemperaturen zu rechnen (vgl. https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html).

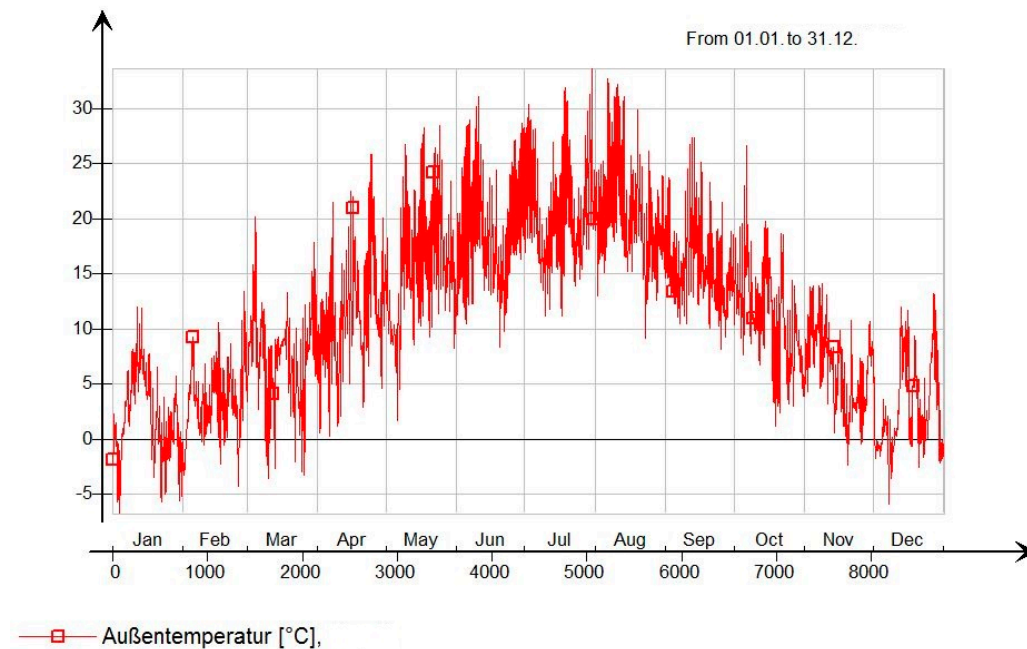


Abbildung 46 Außentemperatur Mannheim für ein Testreferenzjahr, Stand 2015. [© DGJ Architektur GmbH]

Die globale Solarstrahlung setzt sich aus einem direkten und einem indirekten Anteil zusammen. Die direkte Strahlung tritt bei klarem Himmel auf und quantifiziert die Strahlungsleistung der Sonne auf eine horizontale Fläche. Die indirekte (diffuse) Strahlung enthält den Anteil der Strahlung, der trotz Verschattung durch einen bewölkten Himmel auf die Erdoberfläche trifft. Während die direkte Strahlung ein höheres Maximum erreicht mit ca. 830 W/m² zeigt die indirekte Strahlung geringere Amplituden auf.

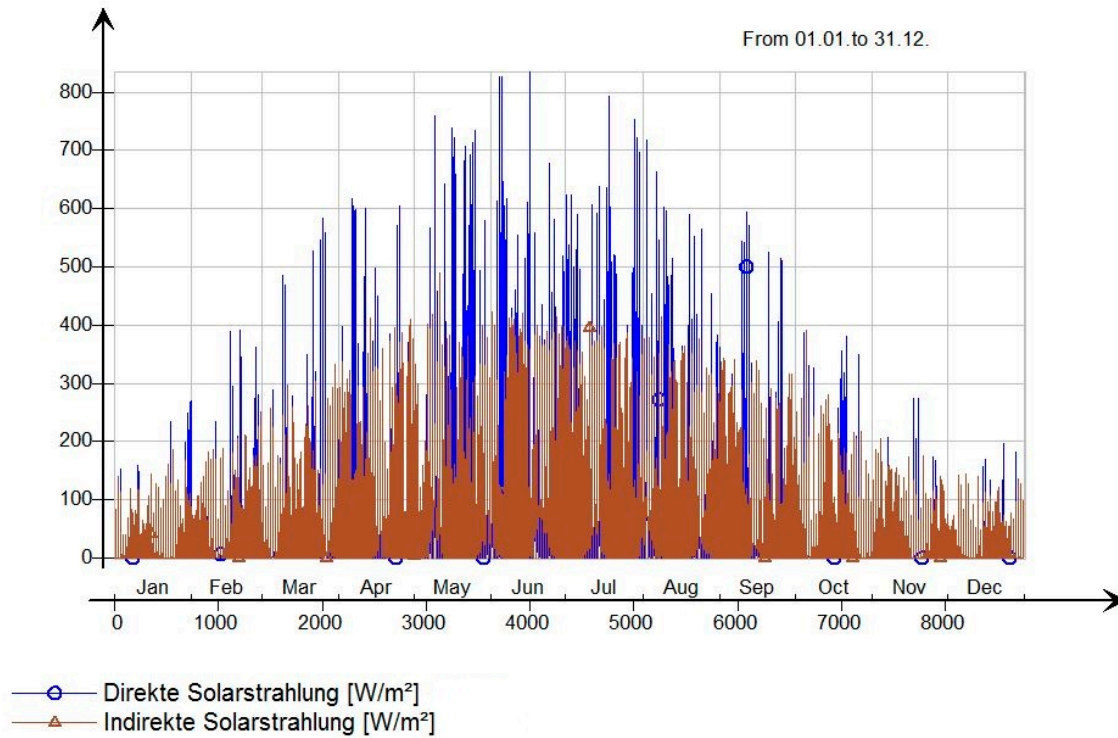


Abbildung 47 Direkte und indirekte Solarstrahlung Mannheim für ein Testreferenzjahr, Stand 2015. [© DGJ Architektur GmbH]

Nutzungskonflikt

Durch Fassadenbegrünung entsteht – je nach Anwendungsfall – ein mehr oder weniger großer Nutzungskonflikt, denn die im Verlauf wachsenden Pflanzen behindern unter Umständen die freie Sicht durch Fenster, Terrassentüren oder generell in der Architektur angelegte Sichtachsen.

Holzstruktur + Systematische Bedürfnisse + Nutzer*innenbedürfnisse + Fassadenbegrünung



- Sommer: große Verschattung
- Winter: Solarer Ertrag
- Geringe Wartung
- Hohe Lebensdauer

- Ausblick in die Umgebung
- Regulation der Verschattung
- Eigene Bepflanzung
- Nutzbare Austrittsflächen



= Nutzungskonflikt

Abbildung 48 Schematische Erfassung der Faktoren für die Entstehung eines Nutzungskonflikts. [© DGJ Architektur GmbH]

Im Verlauf der Forschung wurde im Projekt anhand der Untersuchung der Sonnenstände eine variabler Lösungsansatz für dieses Problem erarbeitet. Die Positionierung und Auswahl der Pflanzen wurde so auf die Ergebnisse der Untersuchung des Sonnenstands im Jahresverlauf angepasst.

Nutzungskonflikt

- Begrünung mit Rankpflanzen
- Austritt/Aussicht eingeschränkt
- Rankpflanzen in Ebene der Holzkonstruktion

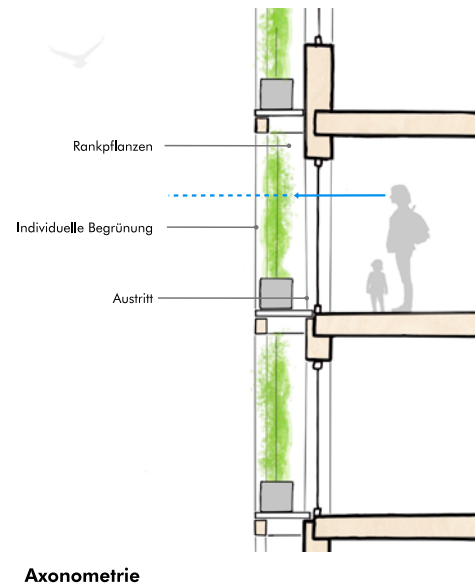
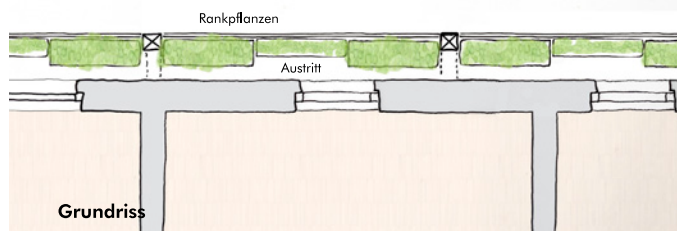


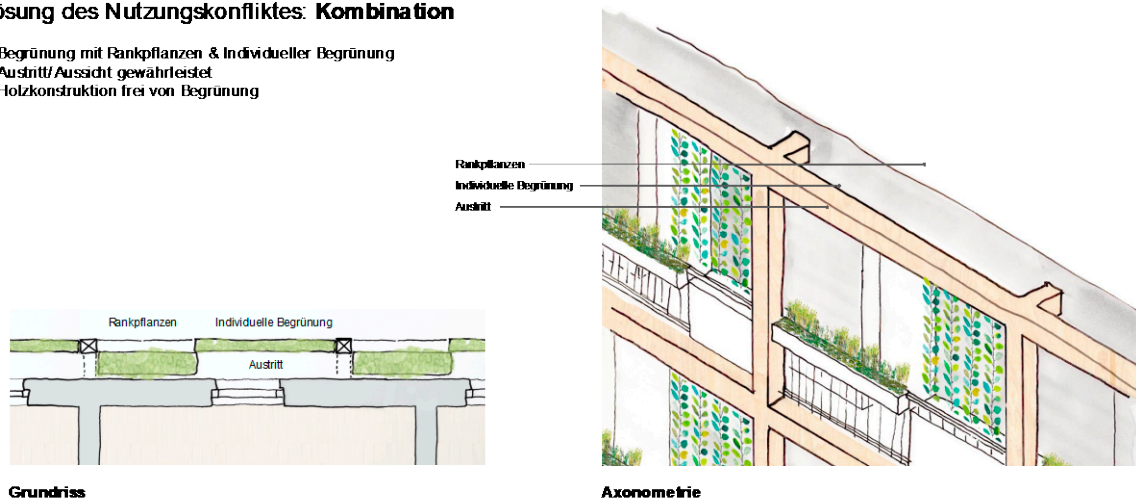
Abbildung 49 Visualisierung des Nutzungskonflikts beim Modellprojekt WohnWerk Mannheim. [© DGJ Architektur GmbH]

Wie weiter oben erläutert, ergibt der Sonnenstand in Bezug auf ein bestimmtes Gebäude in einer bestimmten Jahres- oder auch Tageszeit Anhaltspunkte für Ort und Ausrichtung einer effektiven Bepflanzung. Je nachdem, wo die Sonne am meisten einstrahlt, wurde daher im vorliegenden Projekt mit hoch wachsenden Gerüstkletterpflanzen gearbeitet. Kleinere Pflanzgefäße und entsprechende Pflanzen wurden in Zonen mit

verminderter Sonneneinstrahlung platziert, die von den Nutzerinnen und Nutzern auch als „kleiner Garten“ genutzt werden können, und in denen die unmittelbare Sonneneinwirkung keine große Rolle spielt. Dafür wird hier die Sicht nicht behindert.

Lösung des Nutzungskonfliktes: Kombination

- Begrünung mit Rankpflanzen & Individueller Begrünung
- Austritt/Aussicht gewährleistet
- Holzkonstruktion frei von Begrünung



Grundriss

Axonometrie

Fassadenbegrünung

Abbildung 50 Lösung für den Nutzungskonflikt durch alternierenden Einsatz unterschiedlicher Bepflanzung und Pflanztrögen. [© DGJ Architektur GmbH]

Für das „WohnWerk“ wurde also zur Lösung des Nutzungskonflikts zwischen freien Sichtachsen für die Bewohnerschaft und unterstützenden Rankhilfen für eine gedeihliche Entwicklung der Pflanzen auf eine Kombination zwischen halbhoher Pflanztrögen mit relativ niedriger Vegetation („kleiner Garten“) und Bepflanzung mit balkonhoher Wuchs zurückgegriffen (s. Abbildung 50). Diese Lösung ermöglicht den Nutzerinnen und Nutzern eine ausreichend freie Sicht von den Balkonen sowie eine angenehme Sonneneinstrahlung an warmen Tagen, gleichzeitig ist aber auch eine genügende Verschattungswirkung zum Schutz vor zu großer Hitze gewährleistet.

An der Südfassade wurde vollständig auf bodengebundene Bepflanzung verzichtet, da sich hier auch der Zugang zum gemeinschaftlich genutzten Multifunktionsraum befindet und von relativ hohem Publikumsverkehr auszugehen ist.

Auf der Grundlage dieser Lösungsansätze hin wurden ebenfalls die Teststände entworfen und mit entsprechender Vegetation bestückt.

Planungs- und nachbarschaftsrechtliche Umfeld-Bedingungen des Modellprojekts

Seitens der Stadt Mannheim wurde im Bebauungsplan für die Erschließung des Spinelli-Geländes eine Fassadenbegrünung verpflichtend vorgegeben. Dabei gab es allerdings hinsichtlich der systemischen und technischen Umsetzung großen Spielraum.

DGJ Architektur entschloss sich daher für ein dauerhaftes, robustes System, bei dem der Abstand zum Gebäude durch den Laubengang verhindert, dass sich Feuchtigkeit an den Wänden bildet. Außerdem sollte das System für die Benutzerinnen und Benutzer relativ leicht selbst zu pflegen sein und sich in die Lebenszyklusbetrachtung des Gesamtgebäudes einfügen, also mindestens genauso nachhaltig und langfristig nutzbar sein wie das Gebäude selbst.

Bei der bau- und nachbarschaftsrechtlichen Betrachtung musste vor allem die besondere Gestaltung der Fassadebeziehungsweise des Laubengangs berücksichtigt werden. Der Laubengang kippt an der Süd- und Ostseite der Fassade in der Vertikalen von der Fassade weg (s.a. Grundrisse Abbildung 51). Dies ist vor allem dem Zuschnitt des Baugrunds geschuldet, der diese leicht asymmetrische Form mit zwei ungleichen Schenkeln des Rechtecks vorgibt. Insbesondere die Ausschrägung der Ostfassade, wodurch sich das Gebäude im spitzen Zulauf der süd-östlichen Gebäude-Ecke etwas mehr dem Nachbargebäude nähert als bei einem konventionellen, vierschenkigen Bau, musste mit den Nachbarn entsprechend abgestimmt werden.

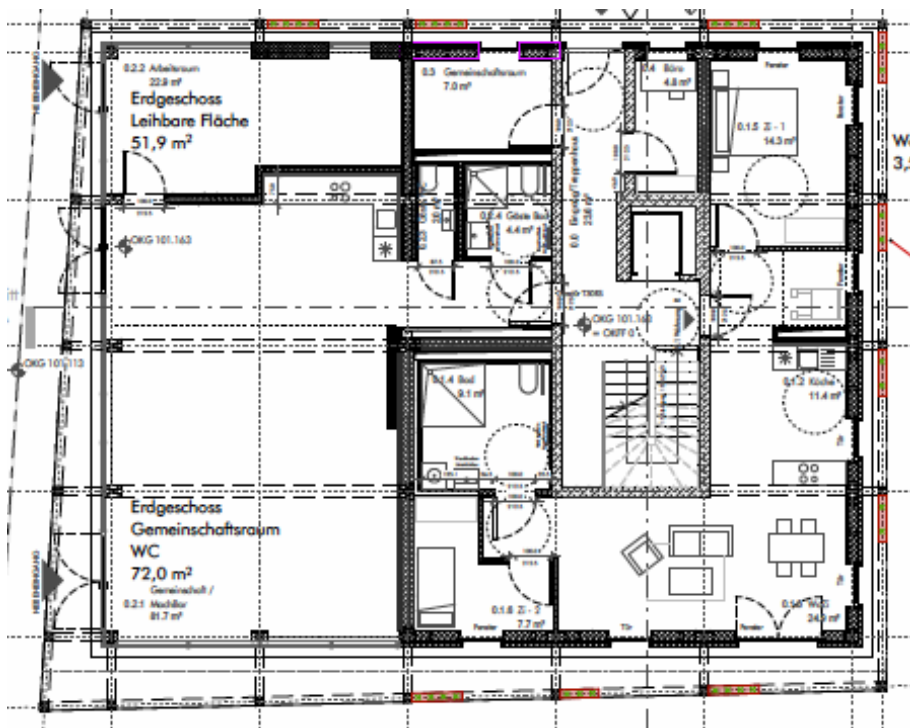


Abbildung 51 Grundriss des Erdgeschosses, rot markierte Felder bezeichnen die bodengebundenen Pflanzflächen, die sich an drei Seiten der Fassade, mit Ausnahme der Südfassade, finden. Im Grundriss werden auch die abgekippten Seiten der Süd- und Ost-Fassade ersichtlich, die sich nicht im exakten 90-Grad-Winkel zu den Gebäudewänden befinden. [© DGJ Architektur GmbH]

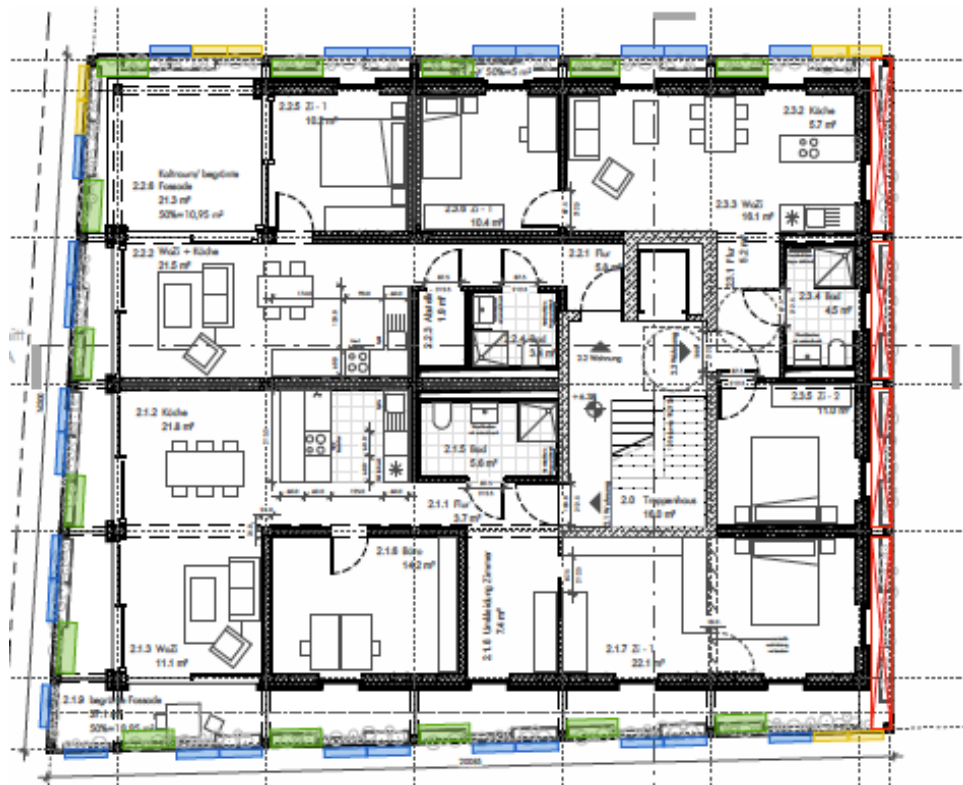


Abbildung 52 Grundriss des 2. Obergeschosses. Grüne und blaue Felder markieren die alternierenden Flächen der Gerüstklettopflanzen und der „kleinen Gärten“ mit Individualbepflanzung. [© DGJ Architektur GmbH]

Chancenklärung eines energetischen / ökologischen Begrünungseinsatzes

Bei der Fassadengestaltung ging es darum, durch den Laubengang und die auskragenden Elemente die hohe Sonneneinstrahlung im Sommer so zu verschatten, dass insbesondere bei der Südfassade keine zusätzliche Hitze entsteht und die Bepflanzung ihre volle Verschattungswirkung entfaltet. Für den Winter, in dem die Sonne tief steht, sollte sichergestellt sein, dass möglichst viele solare Gewinne durch die Platzierung der Pflanzen entstehen, die sich positiv auf die Wärmespeicherung innerhalb des Gebäudes auswirken. Die Tatsache, dass die Bepflanzung auf den Testständen im Vorfeld einen „Härtetest“ durchlaufen musste, stellte sicher, dass nur solche Pflanzen in Einsatz kamen, die einen erfolgreichen Anwuchs versprechen, wodurch möglichst wenig Pflanzenmaterial verlustig geht. Das Pflanzsystem ist durch seine Langlebigkeit integraler Bestandteil des umfassenden Nachhaltigkeitskonzepts für das gesamte Gebäude. Der Low-Tech-Ansatz (einfache Mittel mit unkomplizierter Installation und Pflege) spielt für die Energieeinsparung eine wichtige Rolle. Die Wartungs- und Pflegearbeiten benötigen keine komplizierte, fehleranfällige und selbst wartungsintensive Technik, sondern können manuell vorgenommen werden.

Budget

Die Verwendung von Standardprodukten, insbesondere bei den Pflanztrögen, schonte das Budget grundsätzlich. Auch der Low-Tech-Ansatz ohne komplexe Technikergänzungen war hier zuträglich. Im Laufe der Planung wurde außerdem auf rund ein Drittel der ursprünglich vorgesehenen Bepflanzung verzichtet. Die Tatsache, dass es sich um ein vorgeprüftes System handelt, das damit eine hohe Erfolgsquote gewährleistet und eine verlässliche Robustheit aufweist, unterstützt die wirtschaftliche Amortisation im Laufe der Nutzungsjahre. Ein wichtiges Ziel der Forschung, die Erarbeitung einer kostengünstigen Bauweise in Herstellung und Betrieb und eines Systems, das für mögliche Nutzerinnen und Nutzer mit geringem Wartungsaufwand ressourcensparend eigenständig gepflegt und in Stand gehalten werden kann und damit Aufwände und Kosten möglichst gering hält, wurde damit weitgehend erreicht.

Die Teststände für das Modellvorhaben „WohnWerk Mannheim“

Versuchskonzeption

Im Februar 2022 wurden auf dem Grundstück der Technischen Hochschule Ostwestfalen-Lippe am Standort Höxter drei Teststände aufgebaut. Diese wurden im März 2022 bepflanzt.

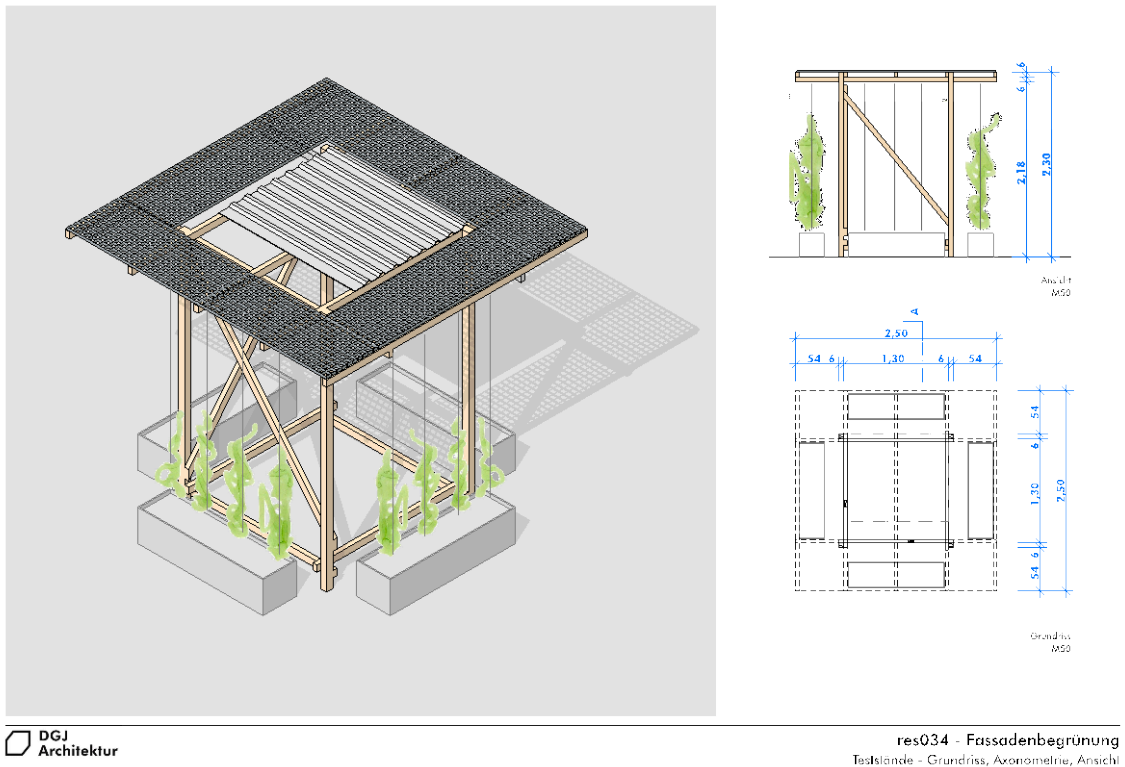
Der Prüfstand besteht aus einer ausgesteiften Holzrahmenkonstruktion mit integrierten Verglasungen. Am ersten Teststand sind mehrere Messgeräte zur Messung der Solarstrahlung sowie zur Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessung angebracht. Die Messgeräte wurden sowohl vor als auch hinter der Begrünung installiert. Umlaufend wurden pro Teststand vier Pflanzgefäße positioniert. Diese wurden mit unterschiedlichen Pflanzen bestückt (siehe Tabelle).



Abbildung 53 Lage und Positionierung der Teststände auf dem Gelände der Technischen Universität Ostwestfalen-Lippe. [© DGJ Architektur GmbH | Luftbild © google earth]]

Die Dimensionierung des Teststandes wurde in seiner Breite und Länge der Größe der Pflanzgefäße angepasst. Als Gefäß wurde ein Kunststoffgefäß der Firma GKR ausgewählt. Das Gefäß „Prestige 120“ aus der Hydro Profi Line kann vier Kulturtöpfe mit jeweils 7,5 Liter Substrat aufnehmen und hat die Außenmaße von 1200 mm x 400 mm x 345 mm (LxBxH). Die Höhe der Konstruktion wurde in Anlehnung an das Modellvorhaben Mannheim gewählt. Die Versuche erfolgten im Freien.

Zu Gunsten der Kosteneinsparung wurden die Teststände manuell bewässert. Der Wasserstand in den Pflanzgefäßen wurde wöchentlich überprüft und die Verdunstungsleistung dokumentiert. In die insgesamt drei Teststände wurden jeweils vier Pflanzgefäße eingebracht. So konnten insgesamt 48 Pflanzen in die Teststände eingebracht werden.



DGJ
Architektur

res034 - Fassadenbegrünung
 Teststände - Grundriss, Axonometrie, Ansicht

Abbildung 54 Grundriss und Axonometrie eines Teststands, Pflanztröge analog zum Modellprojekt WohnWerk Mannheim. [© DGJ Architektur GmbH]

Die Pflanzen für die Teststände wurden nach unterschiedlichen Kriterien ausgewählt. Zum einen sollten sich die eingesetzten Pflanzen auch für das Modellvorhaben in Mannheim eignen – aus diesem Grund wurden insbesondere Gerüstkletterpflanzen ausgewählt, mit denen eine geschosshohe Begrünung ermöglicht werden kann. Zum anderen wurden die Pflanzenarten nach Lichtbedarf einer Exposition an den Testständen zugeordnet. Eine Ausnahme bildet *Aristolochia macrophylla* (durior). Zur Vergleichbarkeit ihres Wuchsverhaltens und der besonderen Eignung zur Verschattung aufgrund ihrer Blatttextur wurde *Aristolochia macrophylla* (durior) in drei verschiedenen Expositionen, Ost, West und Nord angebracht.

Tabelle 3 Bepflanzungsschema. [© Van Lier, Kilian]

	Nord	Ost	Süd	West
Teststand 1	4 x <i>Aristolochia macrophylla</i> (durior)	4 x <i>Aristolochia macrophylla</i> (durior)	4x <i>Campsis tagliabuana</i> 'Mme Galen'	4 x <i>Aristolochia macrophylla</i> (durior)
Teststand 2	4 x <i>Hydrangea anomala petiolaris</i>	2 x <i>Lon. jap. 'Hall's prolific'</i> 2 x <i>Lon. X brownii. 'Dropmore Scarlet'</i>	4 x <i>Actinidia kolomikta</i>	2 x <i>Periploca graeca</i> 2x <i>Clematis 'Arabella'</i>
Teststand 3	4 x <i>Akebia quinata</i>	4 x <i>Rosa 'Perennial Blush'</i>	4 x <i>Clematis 'The President'</i>	4 x <i>Celastrus orbiculatus</i>

Die ursprüngliche Auswahl der Pflanzen für die Teststände hatte eine andere Artenzusammensetzung. Aufgrund von Lieferschwierigkeiten wurde bei manchen Gattungen auf andere Sorten zurückgegriffen. So wurde beispielsweise die zuvor ausgewählte *Aristolochia tomentosa* (Wuchshöhe zwischen 4–5m) durch die starkwüchsige *Aristolochia macrophylla* (Durior) ersetzt. Aufgrund des starken Wuchsverhaltens eignet sich *Aristolochia macrophylla* (Durior) im Ausführungsfall nicht für eine geschosshohe Begrünung.

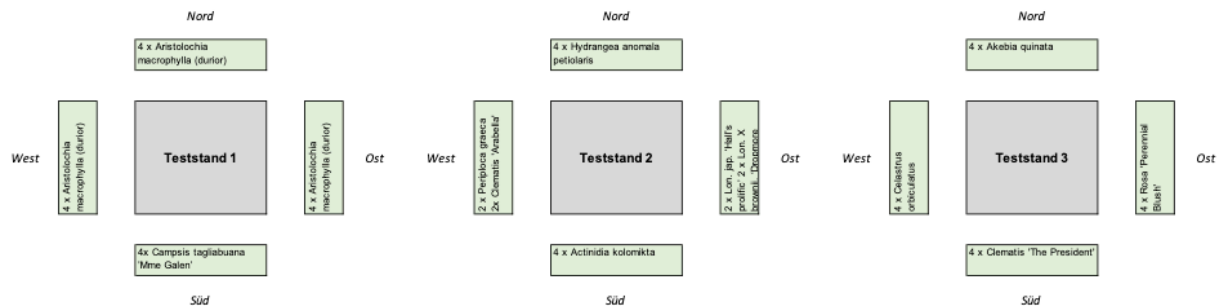


Abbildung 55 Anordnung der Teststände und Pflanzen. [© Van Lier, Kilian]

Ziel der Teststände

Die Teststände sollten die Ergebnisse der Simulationen validieren. Gleichzeitig sollten mithilfe der Sensorik Parameter zur Anpassung der Rechenmodelle erfasst werden. Dazu wurde mittels zweier Radiometer auf der unverschatteten und verschatteten Fläche die Bestrahlungsstärke E gemessen und anschließend der Abminderungsfaktor F_c berechnet. Zudem wurde mit den Testständen der Aufbau von Gefäßen mit einer freien Wasserebene getestet. Hierdurch sollte der Einsatz von Kletterpflanzen an der Fassade simuliert und im Kulturaufbau überprüft werden. Dazu wurde der Wasserstand und die Pflanzenversorgung wöchentlich dokumentiert. Zusätzlich erfolgte nach der Anwuchsphase von acht Wochen eine Überprüfung des Substrats hinsichtlich der Nährstoffversorgung.

Die Linearbehälter wurden in ihren jeweiligen Kulturtöpfen mit einem mineralischen Substrat aus Bims und Zeolith gefüllt und über eine freie Wasserebene mit einem Gemisch aus Wasser und einer Nährlösung versorgt. Die Nährlösung wurde mit zwölf verschiedenen Kletterpflanzen in jeweils einem Trog getestet und über den Zeitraum einer Vegetationsperiode intensiv begleitet. Die Messungen wurden mit einem Combi 5000 Messgerät und verschiedenen Sonden durchgeführt. Dazu gehören unter anderem Aktivitätsmessungen sowie Messungen zum pH- und EC-Wert. Neben der Pflanzenversorgung wurde zudem eine Analyse der Temperatur und Luftfeuchtigkeit vor und hinter den Kletterpflanzen durchgeführt, um Informationen zur Kühlleistung der Pflanzen zu erhalten. Die Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden mithilfe von Testo-Datenloggern überwacht und anschließend ausgewertet. Darüber hinaus wurde die Beleuchtungsstärke durch die Solarstrahlung an verschiedenen Stellen der Teststände gemessen. Je nach Exposition wurden zwei Fühler vor und hinter der Bepflanzung angebracht, um die Verschattungswirkung F_c der Bepflanzung zu ermitteln. Hierfür dienten Messgeräte der Firma „Tinkerforge GmbH“. Darüber hinaus wurden auf Basis der Messwerte Simulationsmodelle validiert, mithilfe derer die Ergebnisse auf andere Standorte und Situationen übertragbar werden.

Somit wurden wöchentlich die folgenden Parameter erfasst, beziehungsweise überwacht:

Physiologische Begutachtung, Aktivitätsmessung, EC-Messung, pH-Messung, Überwachung von Temperatur- und Luftfeuchtigkeit; Beleuchtungsstärke der Solarstrahlung; Zeiträume und Durchführung von Pflege und Wartung der Pflanzen.



Abbildung 56 Aufbau der Teststände mit Sensorik zur Messung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit. [Foto: © Van Lier, Kilian.]

Entwicklung der Bepflanzung der Teststände

Die Teststände wurden planmäßig im März 2022 errichtet und am 02. April 2022 in Betrieb genommen. Dazu wurden die 48 Kletterpflanzen in die Kulturtöpfe mit dem Substrat eingepflanzt und in die Systemscheiben der Kunststoffgefäße eingesetzt. Nach dem Einsetzen wurden die Teststände wöchentlich betreut und hinsichtlich der oben genannten Parameter untersucht. Die Betreuung der Teststände ist fortlaufend und wird auch nach Abschluss des Forschungsprojektes fortgeführt.

Die erfolgreiche Messung der Solarstrahlung ist maßgeblich von der Entwicklung der Pflanzen abhängig. Aus diesem Grund wurde eine eigene, auf die Pflanzen und das örtliche Trinkwasser abgestimmte Nährlösung entwickelt, um die bestmögliche Versorgung der Pflanzen zu gewährleisten. Nach der Anwuchsphase von vier Wochen, in der keine zusätzliche Nährstoffversorgung erfolgt ist, wurde am 30. April 2022 ein Austausch des Wassers mit einer Nährlösung durchgeführt. Die Pflanzenversorgung mit der Nährlösung wurde bis zur Umstellung auf die Winterhärte (1. Oktoberwoche) durchgehend sichergestellt.

Das Wachstum einzelner Pflanzenarten wurde durch die Faktoren Spätfrost (Ende April) und Hitzeperiode (Juli/August) gehemmt. So wurden am 21. April 2022 Spätfrostschäden an *Akebia quinata* erkannt (s. Abb. 56). Die starke Hitzeentwicklung im Juli und August hatte ebenfalls Auswirkungen auf die Pflanzen. Die gemessenen Temperaturen von bis zu 48 Grad Celsius im Bereich der Teststände hat zu starken Schäden, bis zum Totalausfall einzelner Pflanzenarten geführt. Pflanzen wie *Aristolochia macrophylla* (durior) oder *Lonicera brownii* erwiesen sich jedoch als äußerst robust und widerstandsfähig gegenüber Umwelteinwirkungen.



Abbildung 57 Spätfrostschäden *Akebia auinata* (links) und Hitzeschäden *Actinidia kolomikta* [Foto: © Van Lier, K.]

Die Messinfrastruktur zur Erfassung der Solarstrahlung an verschiedenen Punkten der Versuchsstände zeichnete wie geplant auf. Aufgrund von Lieferengpässen in der Beschaffung der Messinfrastruktur wegen Mangels an Microchips konnte die Installation des Messgerätes erst Ende August erfolgen. Daraus resultiert eine reduzierte Datengrundlage für die Sommermonate. Eine Verzögerung ergibt sich hieraus nicht, da die Messungen als Grundlage für eine Simulation dienen. Die Messwerte dienen als Grundlage für eine Modellvalidierung. Nach Kalibrierung und Validierung der Simulationsmodelle können simulativ verschiedenste Besonnungs-Szenarien dargestellt werden. Für die Simulationen wurden Rohlinge mit den Kubaturen und Aufbauten des Teststandes an den exakten Koordinaten erstellt. Die Validierung erfolgte im Anschluss an den Abschluss der Messungen.

Statt wie ursprünglich geplant, konnte nur an einem der Teststände die Messinfrastruktur aufgebaut werden. Zum Zeitpunkt der verspäteten Lieferung waren die verschattenden Pflanzen an den anderen Ständen bereits aufgrund der extremen Hitze in diesem Sommer nicht mehr in einem Zustand, der aussagekräftige Schlüsse über die Verschattungswirkung zugelassen hätten. Aufgrund dessen wurde entschieden, den Teststand mit der intakten Bepflanzung mit mehr Sensoren für eine höhere Ergebnisgüte auszustatten.

Mittelverwendung

Für die Teststände wurden folgende Ausgaben getätigt:

- | | |
|--|---------------------|
| • Aufbau der Teststände (inkl. Bodenplattenkonstruktion, Holzkonstruktion, Dach, Fensterrahmen, Seilkonstruktionen aus verzinktem Drahtseil) | 1.751,01 € (brutto) |
| • Gefäße GKR Prestige 120 | 3.979,88 € (brutto) |
| • Bepflanzung | 376,30 € (brutto) |
| • Nährlösung | 235,07 € (brutto) |
| • Wasseranalyse | 61,80 € (brutto) |

Ergänzungen:

- | | |
|---|------------------|
| • Raspberry PI als Sammelstation für die Messergebnisse | 257,99€ (brutto) |
| • Messinfrastruktur der Firma Tinkerforge GmbH | 875,77€ (brutto) |
| ○ Lichtsensoren inkl. Gehäuse und Verkabelung | 484,12€ (netto) |
| ○ „Masterbricks“ als Anschlüsse für Sensoren | 205,80 € (netto) |
| ○ Weitere Verkabelung und Zubehör | 41,02 € (netto) |

Neben der Hardwarebeschaffung waren bis dato zwei Ortstermine nötig. Zunächst wurde vor Ort die Messinfrastruktur aufgebaut. Ein weiterer Termin war notwendig, da nicht mehr per Fernzugriff auf den Computer zugegriffen werden konnte. Ursächlich dafür war eine Unterbrechung der Stromversorgung.

Weitere Ausgaben sind nicht zu erwarten.

Neben der Planung und Umsetzung wurden die Teststände seit der Umsetzung wöchentlich betreut.

Ergebnis der Teststände

Gesamtheitlich betrachtet, haben sich die Pflanzen in den Linearbehältern mit Kulturtöpfen und freier Wasserebene in der ersten Vegetationsperiode sehr unterschiedlich entwickelt. Bei gleichen Wasser- und Nährstoffbedingungen konnte bei einigen Pflanzenarten eine gute Entwicklung festgestellt werden, bei anderen Arten wurde ein Totalausfall sichtbar. Grundsätzlich wurde jeder Trog wöchentlich hinsichtlich des Wasserpegels überprüft und nach Bedarf Wasser aufgefüllt. Das Gießwasser wurde in einem 500 Liter Gefäß mit Nährsalzen versetzt. Eingesetzt wurde der Dünger Peters Excel der Firma ICL, der wirkungsvoll den pH-Wert Anstieg verhindern sollte. Der Dünger hat zudem den Vorteil den pH-Wert im Gießwasser zu stabilisieren und gleiche Ausgangswerte für alle Pflanzen zu schaffen. In dem Behälter für Gießwasser wurden so 2 g je Liter Gießwasser aufgelöst und anschließend auf die Tröge bis zum optimalen Pegel der Wasserstandsanzeiger aufgefüllt. Durch die optimierte Nährstoffversorgung konnte bei einigen Pflanzen eine geschosshohe Begrünung bereits in der ersten Vegetationsperiode sichergestellt werden (s. Abb. 57). Nachdem die Pflanzen die Oberkante der Rahmenkonstruktion erreicht hatten, erfolgte eine wöchentliche Kontrolle sowie ein regelmäßiger Rückschnitt. Dadurch haben die Pflanzen vermehrt Nebentriebe ausgebildet, die zur Verdichtung der Begrünung geführt haben.

Durch die sehr unterschiedliche Entwicklung der einzelnen Pflanzengattungen in den Kulturtöpfen kann zum jetzigen Zeitpunkt eine Empfehlung für die folgenden Pflanzen ausgesprochen werden: *Aristolochia macrophylla* (durior), *Campsis tagliabuana* (Mme Galen), *Lonicera japonica* (Hall's prolific), *Lonicera X brownii* (Dropmore scarlet). *Celastrus orbiculatus* hat zwar eine gute Entwicklung aufgezeigt, jedoch war hier schon in einer sehr frühen Blattphase ein Blattlausbefall erkennbar, der sich bis zum Blattfall im Herbst fortgeführt hat. Zwischenzeitlich wurde die Pflanze mehrfach mit einem Pflanzenschutzmittel behandelt. Bei *Akebia quinata* wurden Spätfrostschäden festgestellt, wodurch zwei Pflanzen im Trog ausgefallen sind. Die anderen beiden Pflanzen zeigten jedoch ab Mai ebenfalls eine gute Entwicklung. Aufgrund der Spätfrostempfindlichkeit ist *Akebia quinata* in dieser Bauweise jedoch nur bedingt zu empfehlen. Bei *Periploca graeca* wurde ebenfalls ein Blattlausbefall erkannt, jedoch waren die beiden eingesetzten Pflanzen weniger stark befallen als *Celastrus orbiculatus*.



Abbildung 58 Entwicklung *Aristolochia macrophylla* (Durior) – Ausrichtung West – innerhalb der ersten Vegetationsperiode.
 [Fotos: © Van Lier, Kilian]

Mehrere Pflanzengattungen haben am Standort in den vorgesehenen Pflanzgefäßen nicht funktioniert. Bei *Actinidia kolomikta* konnte schon sehr früh eine Schädigung durch Hitze an der Pflanze erkannt werden. Langanhaltende Höchsttemperaturen führten trotz ausreichenden Wassers zu einem stetigen Blattverlust bis hin zum Totalausfall. *Hydrangea petiolaris* war schon vorab aufgrund des Wuchsverhaltens nicht optimal für die Begrünung an der Seilkonstruktion geeignet. Auch hier zeigten sich Hitzeschäden aufgrund der hohen Temperaturen rund um die Teststände. Die beiden eingesetzten Clematis-Sorten zeigten ebenfalls kein vitales Wuchsverhalten im Begrünungsaufbau. Die eingesetzte Kletterrose *Rosa Perennial Blush* zeigte in der ersten Vegetationsperiode kein starkes Wuchsverhalten. Hier war ebenfalls ein starker Blattlausbefall erkennbar.



Abbildung 59 Auswertung Entwicklung der Teststände nach einer Vegetationsperiode (grün dargestellt sind die Pflanzen mit guter Entwicklung, rot dargestellt sind die Pflanzen mit einer schlechten Entwicklung im Begrünungsaufbau, ohne farbliche Markierung funktioniert, ist jedoch nicht vital). [Fotos und Bearbeitung: © Van Lier, Kilian]

Die Entwicklung der Pflanzen in den Linearbehältern mit freier Wasserebene konnte in den Testständen innerhalb einer Vegetationsperiode getestet werden. Die Entwicklung der Pflanzen war sehr unterschiedlich. Um festzustellen, ob die Schäden an den Pflanzen nur durch Hitze entstanden sind oder aber auf die

Pflanzbehälter zurückzuführen sind, wurden die Pflanzen in ihren Behältern auch nach der ersten Vegetationsperiode und nach Abschluss des Projektes weiter untersucht.

Ergebnisverwendung

Alle Ergebnisse und Daten, die über den Projektverlauf wöchentlich gesammelt werden, fließen in eine Gesamtbetrachtung der Vegetationsperiode ein und geben Aufschluss zur geeigneten Pflanzenauswahl für das Modellprojekt Mannheim. Die Verwendung von Kletterpflanzen in einem Gefäß mit freier Wasserebene wurde bisher noch nicht ausreichend untersucht und bildet daher wichtige Grundlage für die Wissenschaft, als auch Hinweise für die Pflanzenverwendung in der Praxis. Die Untersuchungen werden bis zum Ende der Vegetationsperiode fortgeführt.

Die Messungen zur solaren Strahlung wurden bis November des Testjahres weitergeführt. Sobald die Temperaturen unter den Gefrierpunkt fallen, ist eine fehlerfreie Fortführung der Messungen bei Positionierung der Messgeräte im Außenbereich nicht mehr gewährleistet. Auch der Computer sowie die Messgeräte sind für sehr kalte Temperaturen nicht geeignet. Im Anschluss erfolgt die Validierung der Simulationsmodelle. Dabei werden die bereits erstellten Modellrohlinge an die Messwerte angeglichen. Dafür werden ortsgenaue Klimadatensätze so modifiziert, dass die außen vor der Verschattung gemessenen Strahlungswerte, denen in der Simulation entsprechen. Daraufhin wird im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse bewertet, welche Effektivität die Verschattung bei unterschiedlichen Strahlungsintensitäten sowie Sonnenständen zeigt. Anhand von Typwochen in Sommer und Winter wird daraufhin gezeigt, welche Effekte die Verschattung im Sommer / Winter auf die Strahlungsintensität an der Fassade hat.

Ergebnisse der messtechnischen Untersuchung hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes

An der vorderen Holzkonstruktion wurden (weitgehend unverschattete) Lichtsensoren der Tinkerforge GmbH angebracht, die als Referenzwert zur Beurteilung der Verschattungswirkung der Pflanzen dienen. Dabei wurden je Himmelsrichtung zwei Sensoren angebracht, um Messfehlern vorzubeugen und kurzzeitige Verschattung einzelner Sensoren zu erkennen. Zentral hinter der Bepflanzung wurden auf verschiedenen Höhen Lichtsensoren angebracht. Die unterschiedlichen Höhen der Sensoren dienen der Berücksichtigung der horizontalen Verschattung durch das Dach des Versuchsstandes. Dieses wird in der Erstellung der Simulationsmodelle berücksichtigt.



Abbildung 60 Versuchsstand mit installierten Lichtsensoren. [Fotos: © Van Lier, Kilian]

Die Auswertung zeigt prozentuale Abminderungen der Strahlung zwischen den Messpunkten vor und hinter der Verschattung von bis zu 95 %. Dabei gibt es Unterschiede zwischen den Himmelsrichtungen sowie der Auswahl des ausgelesenen Sensors. Durch die Dachkonstruktion wird der obere Lichtsensor hinter der Verschattungsebene stärker verschattet als der vordere. Nachfolgend sind die prozentualen Abminderungen über den Zeitraum von zwei Wochen dargestellt. Vereinzelt Werte von 100 % zeigen Messfehler, die im Nachgang im Einzelfall bewertet werden.

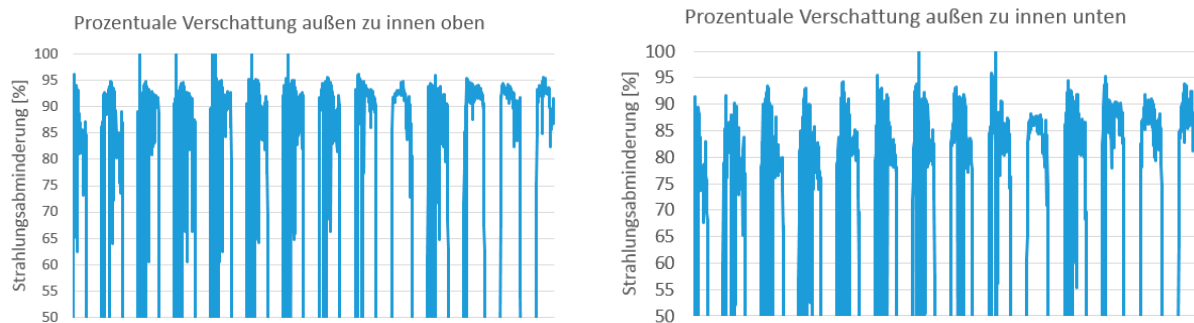


Abbildung 61 Abminderung der Lichtstärke durch die Verschattung hin zu den oberen (links) und unteren (rechts) Messfühlern. [© Van Lier, Kilian]

Die qualitativen Zusammenhänge zwischen den Messhöhen sowie der Positionierung vor oder hinter der Verschattung sind in allen Himmelsrichtungen gleich. Insgesamt lässt sich im Mittel eine Strahlungsabminderung durch die Verschattung von ca. 80–90 % beobachten. Messfehler wurden in der Auswertung identifiziert und eliminiert. Dabei wurden vereinzelte Messwerte, die auf sekundenweise Strahlungsabminderung von >99 % und <5 % schließen lassen, herausgefiltert. Eine Abweichung von >100 % gegenüber dem vorangegangenen Messwert wurden, abseits der Morgen- und Abendstunden, ebenfalls nicht berücksichtigt. Insgesamt mussten so <1 % der Messwerte unberücksichtigt bleiben. Die Ergebnisse beziehen sich lediglich auf die spezifische Situation im Innenhof an der Hochschule Höxter.

Ergebnisse der Modellparametrierung

Um eine bessere Übertragbarkeit und Verwertbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, wurden detaillierte Strahlungssimulationsmodelle in der Software IDA ICE der Firma EQUA Simulation AB erstellt. Darin enthalten sind die exakten Abmessungen und Aufbauten der Messstände sowie die zu präzisierende Verschattung. Außerdem wurde ein detailliertes Verschattungsmodell der Nachbarbebauung berücksichtigt.

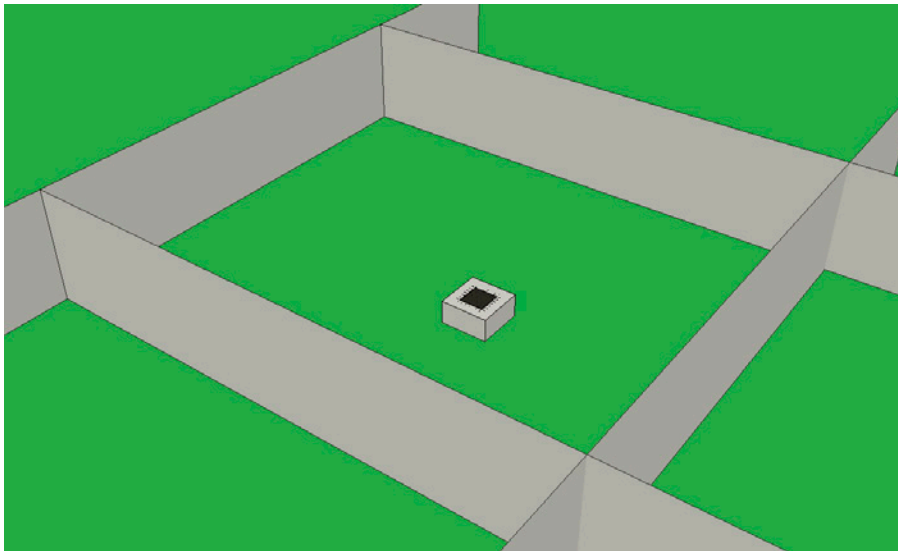


Abbildung 62 Simulationsmodell unter Berücksichtigung der Umgebungsbebauung. [© Eigene Darstellung Fitzgerald, N.; angefertigt mit der Software IDA ICE Version 4.8]

Zur Validierung der Modelle wurden zunächst ortsgenaue Klimadatensätze verwendet. Diese beinhalten die direkte und diffuse Strahlung in Form von Testreferenzjahr-Datensätzen, die von dem Strahlungsverlauf im Messzeitraum abweichen. Die Strahlungswerte werden angepasst, bis die simulierten Beleuchtungsstärken an der unverschatteten Außenseite der Messstände mit den gemessenen Werten übereinstimmen. Die Pflanzen werden mithilfe einer vereinfachten homogenen Fläche dargestellt. Auf eine detailliertere Integration der genauen Struktur der Pflanzen wird aufgrund des Rechenaufwandes verzichtet. Darüber hinaus wird auch dadurch eine genauere Berechnung nicht garantiert, da eine grobe zeitliche Auflösung des Wachstums sowie eine feine zeitliche Auflösung der Windbewegungen in den Modellen nicht berücksichtigt werden kann. Die Validierung des Modells wird durch Erreichen eines MAPE < 5 % (Mean average percentage error) zwischen den Mess- und Simulationswerten abgeschlossen.

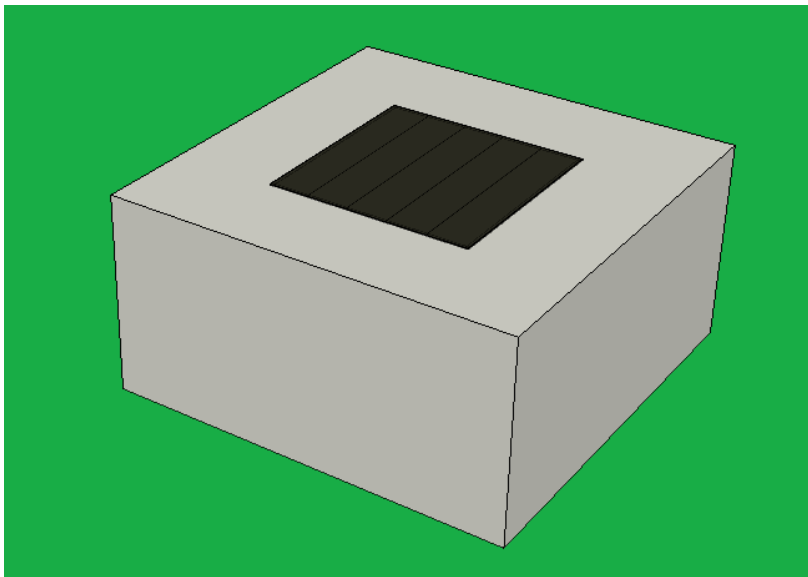


Abbildung 63 Simulationsmodell mit vereinfachter grafischer Darstellung der verschattenden Bepflanzung. [© Eigene Darstellung Fitzgerald, N.; angefertigt mit der Software IDA ICE Version 4.8]

Ergebnisse der Ermittlung von Abminderungsfaktoren der Solarstrahlung durch die Verschattung am Modellprojekt

Zur Ermittlung der Verschattungswirkung der Bepflanzung wurde das Modell mit der Verschattung verglichen mit einem Modell ohne Verschattung. Dadurch kann isoliert die Wirkung der Pflanzen ermittelt werden, während die Verschattung durch das Dach berücksichtigt bleibt.

Die isolierte Wirkung der Bepflanzung als Verschattung lieferte einen äquivalenten F_c -Wert von 0,25. Dadurch zeigte sich der adressierte Unterschied zu den Messwerten durch Herausrechnung des Einflusses der baulichen Umgebungsverschattung und der Verschattung durch das Dach des Versuchsstandes.

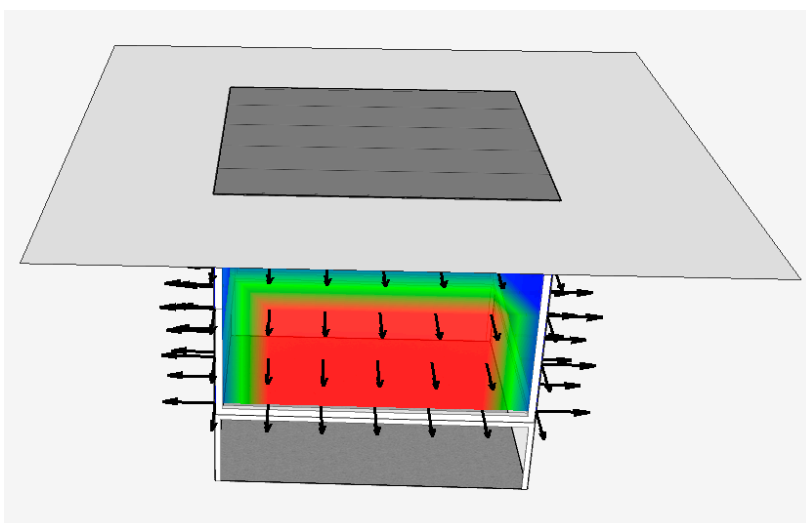


Abbildung 64 Simulationsmodell mit grafischer Darstellung der Beleuchtungsstärke hinter der verschattenden Bepflanzung. [Foto: © Eigene Darstellung Fitzgerald, N.; angefertigt mit der Software IDA ICE Version 4.8]

Im Anschluss an die Validierung des Simulationsmodells wurde der Standort von Höxter auf Mannheim geändert. Dadurch lassen sich die Simulationsmodelle für detaillierte Ermittlungen des Innenraumkomforts der an die bepflanzten Balkone angrenzenden Räume verwenden. Die Verschattungswirkung der Pflanzen ist am Standort Mannheim nahezu identisch zum Standort Höxter. Der Grund der Unterschiede liegt in der unterschiedlichen Aufteilung der direkten und indirekten Strahlung aufgrund unterschiedlicher Bewölkungsgrade der Testreferenzjahrklimadatenätze.

Identifikation und Einfluss von Eingangsparametern der Verschattung und deren Wirkung auf den sommerlichen Wärmeschutz sowie die Gebäudeenergiebilanz

Die messtechnische Untersuchung repräsentiert den Versuchsstand an der Hochschule Höxter und ist damit ein dedizierter Demonstrator für ein Wohngebäude in Mannheim. Um allgemeingültige Aussagen zur Wirksamkeit der Verschattungswirkung von Fassadenbegrünung abzuleiten, müssen Einflussparameter und ihre Wirkung identifiziert werden. Die Zielgröße stellt hierbei der F_c -Wert dar. Dieser ist, individuell je nach Gebäudetyp, Nutzungsart, Verglasungsvariante, Ausrichtung, Fensterflächenanteil und vielen weiteren Faktoren, relevant, um den sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108 sowie den Einfluss solarer Erträge auf den Kühlenergiebedarf zu ermitteln. Nachfolgend werden die identifizierten Hauptparameter sowie ihr Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz sowie den Kühlenergiebedarf als Eingangsgröße der Energiebilanz nach DIN V 18599 benannt. Analog zum ansteigenden Kühlenergiebedarf geht, bei fehlender Kühlung, ein erhöhter Innenraumtemperaturverlauf mit negativem Einfluss auf den sommerlichen Komfort einher.

Die **Blickdichtigkeit der Begrünung (B)** wird in diesem Fall quantifiziert als der opake Anteil der verschattenden Begrünungsfläche bei horizontaler Betrachtung. Je mehr Lücken in der Begrünung sind, desto geringer ist die Blickdichtigkeit. Die Blickdichtigkeit bewegt sich daher im Bereich zwischen 0 und 1 und entspricht bei klassischen Verschattungselementen dem Öffnungsanteil bei geschlossenem Sonnenschutz. Dieser Faktor ist im Sonneneintragskennwert in einen möglichen künftigen Nachweis nach DIN 4108 zu integrieren. Durch den unmittelbaren Einfluss auf die solaren Erträge im Gebäude und damit den Kühlenergiebedarf ist dieser Einflussfaktor ebenso in der Energiebilanzierung mit zu berücksichtigen.

$$B = \frac{A_{opak}}{A_{Begrünung}}$$

Die bisherige Betrachtung geht, wie in der Untersuchung in dieser Studie, von einer vollflächigen Begrünung vor den Fensterflächen aus. Es kann, ob gewünscht oder ungewünscht, auch dazu kommen, dass einzelne Bereiche nicht durch die Begrünung verschattet werden. So können Bereiche freigelassen werden, um einen ungehinderten Blickkontakt zur Umgebung zu gewährleisten (s.a. Kapitel zum „Nutzungskonflikt“). Das Absterben einzelner Pflanzen kann ebenfalls zu größeren Lücken in der Begrünung führen. Während die Blickdichtigkeit der Begrünung sich auf die Opazität fokussiert, wird mit der **Gleichmäßigkeit der Begrünung (G)** makroskopischen Lücken Rechnung getragen. Hierbei wird ergänzend zur Blickdichtigkeit der Begrünung, berücksichtigt, dass es Bereiche auf der Fensterfläche und damit im Innenraum gibt, die durch die Begrünung gänzlich unverschattet bleiben. Die Berücksichtigung in der Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes sowie der Gebäudeenergiebilanz ist analog zur Blickdichtigkeit relevant.

$$G = \frac{A_{Begrünung}}{A_{Fenster}}$$

Der **Abstand der Begrünung von der Fensterebene** ist auf unterschiedlichen Ebenen relevant. Einerseits weitet sich der Schattenwurf einzelner Blätter proportional zum Abstand zur verschatteten Fassade weiter auf. Dem gegenüber ist die Intensität des Schattenwurfes der einzelnen Blätter mit größerem Abstand zum Fenster geringer. Mit dem zunehmenden Abstand stellt sich demzufolge eine größere Homogenität des

Schattenbildes auf der Fensterfläche ein. Der Einfluss auf den sommerlichen Wärmeschutz und die Gebäudeenergiebilanz lässt sich hier nicht eindeutig feststellen. Eine Relevanz besteht hingegen bei detaillierter thermischer und visueller Simulation des Gebäudes inklusive der Verschattung, sofern ein realitätsgetreues Modell der Pflanze importiert werden kann. Hierdurch lassen sich genaue Schattenbilder auf der Fassade und damit stärker oder geringer belichtete Bereiche im Innenraum identifizieren mit der Möglichkeit, die unterschiedliche Beleuchtungsstärke in der Inneneinrichtung mit zu berücksichtigen.

Neben der Betrachtung der transparenten Fläche in der Begrünungsebene ist die Transparenz des vermeintlich opaken Anteils der Begrünung zu berücksichtigen. Dabei ist, je nach Pflanzenart, die **Transparenz des Blattwuchses** als optischer Hauptbestandteil der Pflanze zu quantifizieren. Hierfür sind weitere Variantenstudien notwendig, um die Lichtdurchlässigkeit unterschiedlicher Blätter zu untersuchen. Hieraus ist ein Tabellenwerk mit pflanzenspezifischen Undurchlässigkeiten zu erstellen.

Ohne Einfluss auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108 bleibt die Verdunstungsfläche und damit einhergehende **Verdunstungskühlleistung** der Begrünung. Diese hat jedoch einen Einfluss auf den Kühlenergiebedarf beziehungsweise die Innenraumtemperaturen während der Kühlperiode. Hierfür sind weitere Versuchsreihen mit unterschiedlichen Pflanzen in unterschiedlichen Abständen zur Fassade notwendig, um die Kühlleistung und damit die Temperaturabsenkung zu quantifizieren.

Fazit zur Verschattungswirkung der Pflanzen

Der errechnete Fc-Wert der Bepflanzung erreichte in dieser Untersuchung Werte von ca. 0,25. Die Bepflanzung lässt sich für eine Berechnung nach DIN 4108-2 jedoch zum jetzigen Stand nicht ansetzen, da nur bauliche Verschattungen berücksichtigt werden dürfen. Es wird daher empfohlen, die Berechnung nach 4108-2 zu novellieren, um die Verschattungswirkung der Pflanzen mit anrechnen zu dürfen. Die reduzierte Verschattungswirkung im Winter aufgrund des saisonalen Verlaufs des Blattwachses spielt in der Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes keine Rolle. Die Bepflanzung als Sonnenschutz ist dabei als Hybrid aus beweglichem und baulichem Sonnenschutz konzipiert. Während der bauliche Sonnenschutz nach Einbau nicht ohne weiteres beeinflusst werden kann und der bewegliche Sonnenschutz vom Nutzer zeitgenau gesteuert werden kann, stellt die Bepflanzung eine Zwischenstufe dar.

Die Energiebilanz nach DIN V 18599 der verschatteten Räume wird durch die Begrünung gleichwertig der Reduktion der solaren Eintragsleistung um diesen Aufschlag auf den Kühlenergiebedarf beeinflusst. Hierbei sind ganzheitliche Aussagen hinsichtlich des Gesamtenergiebedarfs während der Kühl- und Heizperiode jedoch erst zu treffen, wenn der Einfluss auf die Windexponiertheit des Gebäudes je Pflanzenart quantifiziert wird.

Eine Unsicherheit besteht im Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer, da diese für die Entwicklung der Pflanzen mit verantwortlich sind. Diese Unsicherheit besteht jedoch ebenso bei der Bedienung konventioneller Sonnenschutzinstallationen, wodurch auch hier einer Berücksichtigung der Pflanzen nichts entgegensteht. Darüber hinaus werden weitere Untersuchungen angeraten, um die Verschattungswirkung anderer Pflanzen zu bewerten. Außerdem sind Zwischenzustände innerhalb eines Jahres sowie über den Lebenszyklus der Pflanze weiter zu untersuchen.

Verbesserungspotentiale dieses Fc-Wertes ergeben sich durch alternative Pflanzenwahl unter Berücksichtigung der zuvor genannten Einflussparameter. Damit einhergehend ist stets der reduzierte Blickkontakt zur Umgebung zu sehen, der anders als bei mobilen Verschattungsvarianten aber analog zu feststehenden / baulichen Verschattungselementen nicht bedarfsgesteuert angepasst werden kann.

Funktionaler und gestalterischer Anspruchs

Um eine klare Zieldefinition für die Bauweise und Funktionalitäten des Prototypen beim Projekt „WohnWerk“ zu erarbeiten, wurden die zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer eng in den Prozess eingebunden. Ihr Input war für die konkrete Ausgestaltung der Bauweise hilfreich und leistete einen wichtigen Beitrag zur praktischen Umsetzung.

Das Gebäude des „WohnWerks“ hat ein starkes Raster. Der Entwurf für die Gesamtanlage sah unter anderem vor, dass der Außenraum im Gegensatz zum eher geometrischen Raster der Fassade organisch und weicher sein sollte (Stichwort: Vom Quadrat zum Kreis). Durch die feste massive Materialität des Holzbaus entsteht ein Gegenpol zu den langen und weichen Stauden bzw. Gräsern der Außenraum-Bepflanzung. Auch die Fassadenbegrünung sollte entsprechend einen reizvollen, optischen Kontrast darstellen.

Die Bauweise aus Balkonkästen und Pflanztrögen setzt sich um die gesamte Fassade fort, die Auswahl der Pflanzen wird auf solitäre Kleingehölze / Stauden beschränkt. Die Balkonkästen wurden an den Geländern befestigt. Diese sind zur individuellen Begrünung („kleine Gärten“) vorgesehen.

Die manuelle Bewässerung der Pflanzkästen überträgt die Verantwortung für das Gedeihen der Fassadenbegrünung auf die Bauherrin beziehungsweise die einzelnen Bewohnerinnen und Bewohner. Eine kontinuierliche und angepasste Versorgung mit Wasser und Nährstoffen ist durch die Bewohnerschaft zu leisten, um das gewünschte Erscheinungsbild zu erhalten. Dies ist nicht nur planungsrechtlich relevant, sondern stellt im Rahmen dieses Forschungsprojekt einen gewissen Grad an Unsicherheit dar (s.a. Kapitel „Fazit zur Verschattungswirkung der Pflanzen“).

Gerade, weil die Bewohnerschaft die Bewirtschaftung der Fassadenbegrünung in Eigenregie übernimmt, wurde die Bauherrin intensiv in die detaillierte Planung des Systems involviert. So wurden im Planungsprozess Einzelaspekte, wie die Bodenvorbereitung, die richtige Auswahl der Pflanztröge, deren Standorte und die Systeme der Kletterhilfen, intensiv diskutiert. Beispielsweise ist für die Vorbereitung Wasser vom Haus wegzuleiten. In gebührendem Abstand zum Haus ist im Wurzelbereich ein geeignetes Substrat für die Pflanzen anzubieten, um das Wurzelwachstum weg vom Haus in Richtung der feuchten und durchwurzelungsfähigen Schichten wachsen zu lassen. Bei den Kletterhilfen ist zwischen den bodengebundenen und der wandgebundenen Kletterhilfe zu unterscheiden. Die Bewohnerinnen und Bewohner müssen über diese Kenntnisse verfügen, um das System über lange Zeit erfolgreich pflegen zu können.

Das entwickelte Konzept für die Fassadenbegrünung basiert auf der Verschattungsstudie (s. Kapitel „Sonnenstandsanalyse“) und den verschiedenen Bedürfnissen der Bewohnerschaft, der Verschattungsleistung des Systems und den bautechnischen und baurechtlichen Regularien. Das konzeptionierte Element lässt sich an die räumlich verschiedenen Situationen anpassen. Auf dieser Grundlage wurden für die Zieldefinition folgende Parameter beschrieben:

Wünsche Bewohnerschaft:

- Individuelle Begrünung, auch mit kleinen Hängepflanzen,
- Ausblick in die Nachbarschaft erhalten,
- Selbstregulierung der Verschattung,
- solarer Ertrag im Winter,
- Austritt auf den Laubengang.

Anforderungen für Verschattungspotential:

- Möglichst große Verschattungsleistung als sommerlicher Wärmeschutz,
- solarer Ertrag im Winter,
- Low-Tech System,

- gute Zugänglichkeit zur Wartung.

Gesetzliche und bautechnische Regularien:

- Absturzhöhen,
- Holzschutz,
- Brandschutz,
- Abstandsflächen, Kenntnissgabeverfahren.

Das Gebäude wird allseitig begrünt. An der Ost-, Süd- und West-Fassade kommt eine wandgebundene Begrünung zum Einsatz.



Abbildung 65: Detailansicht der Grünfassade im Süden (Rendering), Planungsphase. [Quelle: DGJ Architektur GmbH].

Für eine erfolgreiche Entwicklungspflege sind die Nutzerinnen und Nutzer sorgfältig anzuleiten, beispielsweise was das Anbinden der neuen Triebe an die Kletterseile angeht. Pflanzentriebe sollen für einfachere Wartung das Kletterseil nicht umwinden (boden- und wandgebundene Begrünung). Das Anbinden der Pflanzentriebe sollte 2-3 Mal pro Wachstumsphase geschehen. Das Anbinden der Triebe an das Kletterseil ist sinnvoll, um die Lasten der Pflanzen auf die Konstruktion zu reduzieren und die Pflege / Rückschnitt zu vereinfachen. Außerdem ist ein möglichst fachgerechter Rückschnitt der Vegetation nötig. Um ein optimales Wachstum zu fördern und das gewünschte Erscheinungsbild der Fassade zu erhalten, müssen die Pflanzen entsprechend versorgt werden. Zur Versorgung mit Wasser kommt die entsprechende Versorgung mit Nährstoffen hinzu sowie eine regelmäßige visuelle Kontrolle der Zustände der Pflanzen.

Planung und Umsetzung

Nachdem die Evaluation der Teststände abgeschlossen war, konnte auf der Grundlage der erarbeiteten Ergebnisse die Stufe 3 der konkreten Umsetzung für das Modellprojekt „WohnWerk Mannheim“ vorangetrieben werden.

Technische Detailplanung

Für die technische Detailplanung von DGJ Architektur war vor allem die beschriebene Lösung des Nutzungskonflikts in Abstimmung mit der Bewohnerschaft wichtig. Im Dialog mit den Auftraggeberinnen und Auftraggebern wurde eine möglichst ideale bauliche Situation erarbeitet, die unter anderem den Laubengang im Abstand zum eigentlichen Gebäude ergab. Der Versatz zwischen Fensterfront und Bepflanzung zeitigt verschiedene Vorteile. Zum einen erhält die insbesondere im Winter tiefstehende Sonne dadurch eine bessere Chance, auch in die Tiefe der Wohnräume vordringen zu können. Der Laubengang bildet individuell nutzbare Balkone.

Bei den technischen Details ist das Ranksystem an Stahlseilen hervorzuheben. Die Pflanzen können mit zunehmendem Wachstum und kontinuierlich kräftiger werdenden Ranken eine hohe Spannkraft erzeugen, die über die Jahre schleichend in der Lage ist, Pflanztröge oder Topfwände zu sprengen. Aus diesem Grund sind die Stahlseile der Kletterhilfe nicht direkt an den Pflanztrögen befestigt, sondern, wie im Beispiel der Abbildung 63, am Fuß, am Geländer des Laubengangs und am Kopf im Holzbalken der nächsten Etage befestigt. Für die bodengebundene Bepflanzung werden die Stahlseile im Randstein aus Beton am Fuß befestigt. Die Pflanzen werden dann bei ausreichender Höhe entsprechend an die Stahlseile geführt und angebunden. Ein im Stahlseil integriertes Spannschloss erlaubt es, die Spannung zu regulieren und bei starken Wachstum anzupassen, so dass keine Schäden am System entstehen.

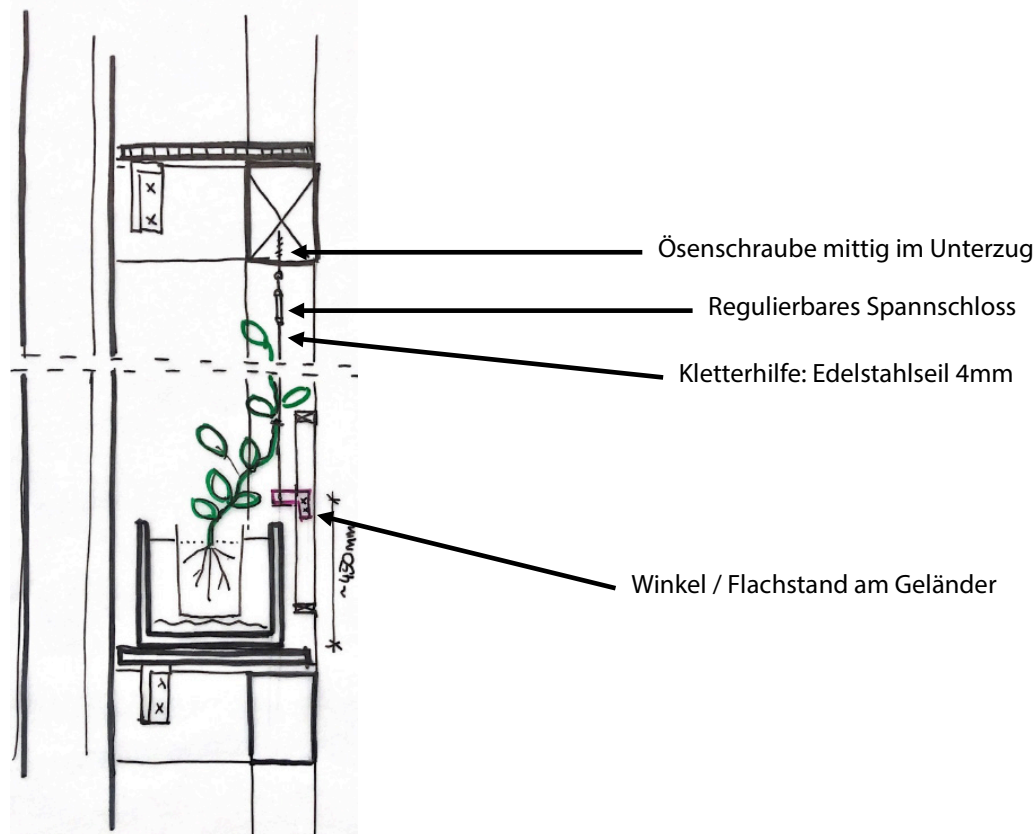


Abbildung 66: Skizze der Befestigung der Stahlseile für Pflanzen in Pflanztrögen. [Quelle: DGJ Architektur GmbH].

Eine Besonderheit der Fassadenbegrünung in Mannheim besteht in der geschossübergreifenden Bepflanzung an der Nordfassade. Hier wurden auf Wunsch der Bewohnerschaft nur bodengebundene (s. Abbildung 64) Pflanzen ausgewählt, die die Fassade über die gesamten vier Etagen begrünen soll. Deshalb wurde hier das Ranksystem entsprechend modifiziert, um auch eine Pflanzhöhe von 10 bis 12 Metern gewährleisten zu können.

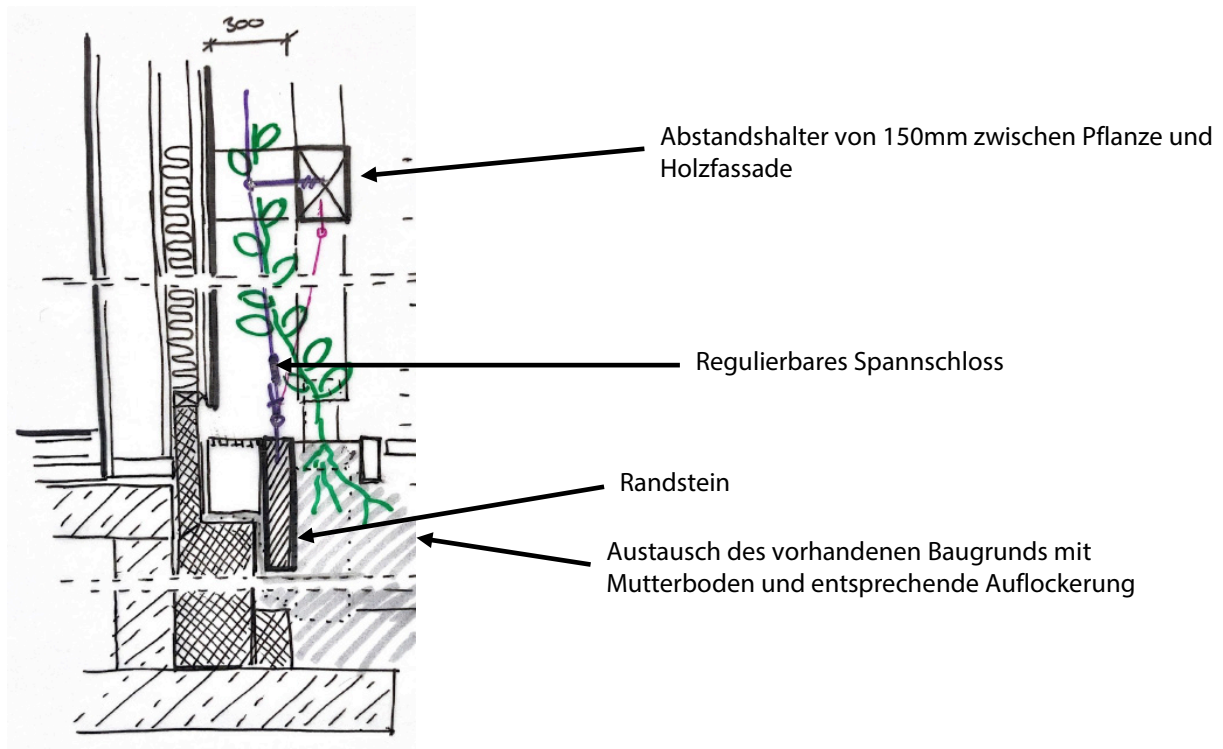


Abbildung 67: Skizze der Systemlösung bei bodengebundener Pflanzung. [Quelle: DGJ Architektur GmbH].

Bezüglich des oben beschriebenen Nutzungskonfliktes zwischen Ausblick und Verschattung wurde außerdem die Positionierung der Pflanzen je Fassadenseite individuell angepasst. Grundsätzlich wurden die Gerüstkletterpflanzen auf jeder Fassadenseite immer südlich ausgerichtet, was dazu führt, dass an der Westfassade die Gerüstkletterpflanzen von der Betrachterin aus rechts platziert sind. An der Ostfassade sind die Gerüstkletterpflanzen aber von der Betrachterin aus links platziert, um im Winter die Einstrahlung der tiefstehenden Sonne möglichst lange im Tagesverlauf ausnutzen zu können (s. Abbildung 65).

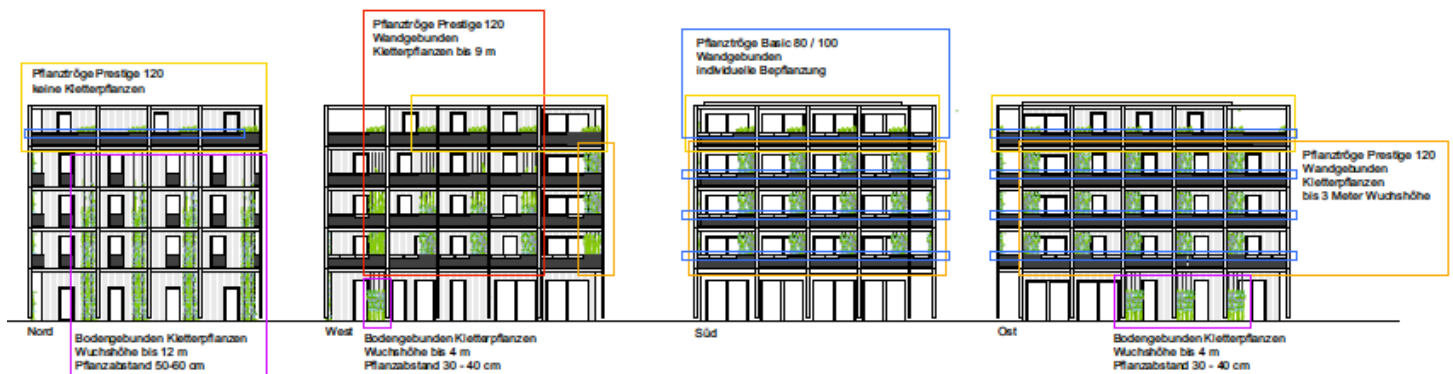


Abbildung 68: Wechselseitige Positionierung der Gerüstkletterpflanzen und der „kleinen Gärten“ mit individueller Bepflanzung, je nach Fassade. [Quelle: DGJ Architektur GmbH].

Vorbereitung der Ausschreibung und Ausschreibung

Als Grundbedarf wurde für die Ausschreibung folgender Pflanzenbedarf ermittelt:

- **23 Pflanzen bodengebunden**, davon min. 8 mit erreichbarer Wuchshöhe 10-12m.
- **119 Pflanzen in Pflanztrögen**, mit erreichbarer Wuchshöhe 2-3m.

Die Konsolidierung der erarbeiteten Parameter wurden entsprechend in einer Ausschreibung („Lastenheft“) an verschiedene Dienstleister weitergeleitet, von denen zwei ausgewählt wurden, die auch bei der Bundesgartenschau aktiv waren und daher großes Interesse am Auftrag hatten. Grundsätzlich richtet sich die Ausschreibung an Dienstleister im Bereich „Garten- und Landschaftsbau“, die auch in der Lage sein sollten, die entsprechenden Erdarbeiten darzustellen. Im Fall „WohnWerk“ wurde die Zulieferung der Pflanzen durch eine Gärtnerei abgedeckt, die auch die Anpflanzungspflege übernahm, während die Erdarbeiten, der Aushub der Pflanzlöcher, die Montierung des Pflanzsystems und die Platzierung der Pflanztröge von einem Garten- und Landschaftsbauer übernommen wurden.

Da Pflanzen ein begrenztes Gut sind und die Verfügbarkeit schwankt, wurden bei der Auswahl mehr Pflanzen und Sorten angefragt als nötig wären. Der Dienstleister erhielt den Spielraum, das Angebot zwar möglichst umfangreich zu erfüllen, dabei aber die individuelle Menge bestimmter Sorten entweder zu unterschreiten oder überzuerfüllen, um damit eventuelle Lücken auszugleichen. Ziel war vor allem die Abdeckung der Summe der angeforderten Pflanzen gemäß der ihr jeweils zugeordneten Funktion (bodengebunden oder Pflanztrög). So wurde beispielsweise bei den Pflanzen für die Tröge rund 40 Pflanzen je 8 Sorten, also rund 300 Pflanzen, abgefordert. Die Pflanzen werden mit Fotografien bemustert.

Aus dem beim gewählten Anbieter Verfügbarem wurde in Abstimmung mit der Bauherrin eine Auswahl getroffen.

Als weitere Bausteine der Ausschreibung wurden folgende, konkrete Dienstleistungen abgefordert:

- Herstellen der Pflanzlöcher für bodengebundene Pflanzen inkl. Fertigstellungspflege nach DIN 18916,
- Auffüllen des Pflanzlochs mit Mutterboden, inkl. Befestigen an Kletterhilfe, Angießen, Grundversorgung und Fertigstellungspflege,
- Entwicklungspflege im ersten Jahr: Anbinden der neuen Triebe an die Seile,
- Zurückschneiden der Vegetation.

Die Pflanztriebe sollen für eine einfachere Wartung das Kletterseil nicht umwinden (bodengebundene und wandgebundene Begrünung). Das Anbinden der Pflanztriebe sollte, wie obenstehend geschildert, 2-3 Mal pro Wachstumsphase geschehen.

Um ein optimales Wachstum zu fördern und das gewünschte Erscheinungsbild der Fassade zu erhalten, ist die entsprechende Versorgung im ersten Jahr Bestandteil der Ausschreibung an den Dienstleister. Zur Versorgung mit Wasser kommt die entsprechende Versorgung mit Nährstoffen und eine visuelle Kontrolle des ordnungsgemäßen Pflanzenwachstums. Im Rahmen der Anpflanzungsbegleitung wird von einer ungefähren Ausfallwahrscheinlichkeit von 15 – 20% ausgegangen. Die in dieser Spanne nicht angehenden Pflanzen werden im ersten Jahr vom Dienstleister ausgetauscht. Die Ausfallwahrscheinlichkeit ist allerdings dadurch wesentlich minimiert, dass die Auswahl der Pflanzen sich nach den Ergebnissen der Teststände vor allem auf die Pflanzen konzentriert, die möglichst wenig Schaden genommen und sich als robust erwiesen haben.

Nach dieser Maßgabe wurde folgende, konkrete Pflanzenauswahl in die Ausschreibung übernommen:

- *Aristolochia macrophylla* („Pfeifenwinde“ // bodengebundene Kletterpflanze mit voraussichtlicher Wuchshöhe ca. 12m, in Mutterboden im EG, Empfehlung: für nördliche Fassade, Wuchshöhe: min. 0,6m)
- *Clematis Montana* („Bergwaldrebe“ // bodengebundene Kletterpflanze)
- *Campsis tagliabuan* („Trompetenblume“ // Kletterpflanze für Pflanztrog, Wuchshöhe: ca. 2 – 3m, für OG),
- *Actinidia kolomikta* („Strahlengriffel“ // Kletterpflanze für Pflanztrog)
- *Periploca graeca* („Griechische Baumschlinge“ // Zusatzauswahl, da gute Funktionalität auf den Testständen)
- *Lonicera brownii* („Rote Geißschlinge“ // Zusatzauswahl, da gute Funktionalität auf den Testständen)
- *Akebia Quinta* („Klettergurke“)
- *Lonicera japonica* ‚Purpurea‘ („Japanisches Geißblatt“)
- *Clematis integrifolia* ‚Arabella‘ („Waldrebe“)
- *Clematis viticella* ‚Etoile Violett‘ („Waldrebe“)
- *Clematis tangutica* ‚Helios‘ („Gold-Waldrebe“)

Projektverlauf

Arbeitspakete und Meilensteine

PAKET 1: Grundlagenermittlung und Systementwicklung

Im ersten Teil des Projekts wurde das System entwickelt. Dabei wurden theoretisch Varianten von technischen Systemen und botanischem Besatz untersucht, um Versuchsaufbauten zu identifizieren, so dass auch unabhängig von dem spezifischen System die übergeordneten Prinzipien beschrieben werden konnten.

PAKET 2: Parametrisierung, Evaluation und Simulation

Es wurden die Auswirkungen der unterschiedlichen Fassadenbegrünungen in ihrer Funktion als Sonnenschutz auf den solaren Eintrag durch transparente Bauteile untersucht. In der DIN V 18599 werden dabei der Sommer- und der Winterfall unterschieden um den Sonnenstand zu berücksichtigen. Ein ähnliches Verfahren wäre für pflanzliche Sonnenschutzsysteme in und außerhalb der Vegetationsperiode denkbar. Die Auswirkungen auf den thermischen Komfort und das Zusammenspiel mit unterschiedlichen Glasarten wurde durch die Messungen in Raumsimulationen ermittelt. Zur Validierung und zum Vergleich wurden konventionelle Sonnenschutzsysteme (zum Beispiel Lamellenrollos) simuliert.

PAKET 3: Prototypen Tests

Aus der Konzeption und den Simulationen wurden 3 bis 5 Ansätze als Teststand konstruiert und in Messreihen untersucht (versch. Ausrichtungen und Witterungsverhältnissen). Die Messung der Licht- und Energietransmission ist relativ unabhängig von den Witterungsverhältnissen, weil jeweils nur der Abminderungsfaktor vor und hinter dem System bestimmt wird. Direkte und diffuse Strahlung sowie Besonnungswinkel haben unterschiedliche Verschattung zur Folge, die durch Messreihen abgebildet werden können.

PAKET 4: Auswertung Teststände und Verallgemeinerung durch Parameterstudie

Die Ergebnisse der Messungen und der Simulationen wurden abgeglichen. Aus den Messungen wurden Verschattungskoeffizienten ermittelt, die als Eingangsparameter einer breit angelegten Parameterstudie genutzt wurden, mit der sich die Eingangskoeffizienten für andere Anwendungen verallgemeinern lassen.

Erkenntnisse und Erlerntes

Ökonomischer Vergleich: Variantenvergleich Prototyp Mannheim

Zum Vergleich zwischen verschiedenen mehr oder weniger aufwändigen Fassadenbegrünungssystemen soll im Folgenden eine Abschätzung der Kosten am Beispiel des Prototypen-Gebäudes vorgestellt werden.

Der ökonomische Vergleich gibt – in einer auf 50 Jahre angelegten Betrachtungsweise – wichtige Orientierung für eine praktische Implementierung einer Fassadenbegrünung. Die untenstehende Tabelle zeigt, dass initial sehr niedrig erscheinende Implementierungskosten auf lange Sicht gesehen nicht immer die sparsamste Variante darstellen, da sich über einen langen Zeitraum anfangs hoch erscheinende Kosten amortisieren können und sowohl ökonomische als auch qualitative Faktoren in die Überlegung mit einbezogen werden müssen.

	VAR 1: Nur boden-gebundene Begrünung mit Rankhilfen	VAR 2: Pflanzträge mit Rankhilfen / manuelle Bewässerung	VAR 3: Pflanzträge mit Rankhilfen / technische Bewässerung
Kurzbeschreibung System	- bodengebundene Pflanzen, die im Laufe der Zeit über die gesamte Höhe wachsen - keine Bepflanzung auf den Geschossen - keine Bewässerung	- EG: bodengebundene Pflanzen mit Rankhilfen - Pflanzträge auf den Geschossen mit Rankhilfen - manuelle Bewässerung durch Bewohnerinnen und Bewohner	- EG: bodengebundene Pflanzen mit Rankhilfen - Pflanzträge auf den Geschossen mit Rankhilfen - technische Bewässerung mit MRT (Feuchtsensoren)
Kurzbeschreibung Bepflanzung	- Efeu: Immergrün, sehr robust - Glyzinie: Saisonal, langsames Wachstum	- Efeu: Immergrün, sehr robust - Scharfzähnlige Strahlengriffel: robust, winterhart (erdgebunden) - Pfeifenwinde: starkwüchsig, Wuchshöhen von etwa 10 bis 20 Metern (erdgebunden + Pflanzträge) - Geißblatt: Wuchshöhe bis etwa 2 bis 3 Meter (Pflanzträge) - Fingerblättrige Akebie/Klettergurke: immergrün, Wuchshöhen bzw. Längen von 12 Meter (erdgebunden)	- Efeu: Immergrün, sehr robust - Scharfzähnlige Strahlengriffel: robust, winterhart (erdgebunden) - Pfeifenwinde: starkwüchsig, Wuchshöhen von etwa 10 bis 20 Metern (erdgebunden + Pflanzträge) - Geißblatt: Wuchshöhe bis etwa 2 bis 3 Meter (Pflanzträge) - Fingerblättrige Akebie/Klettergurke: immergrün, Wuchshöhen bzw. Längen von 12 Meter (erdgebunden) - Japanisches Geißblatt/Purpurea: immer- oder wintergrün
Kosten Bau und Betrieb für 50 Jahre gesamt (netto)	55.096,00	592.860,00	354.560,00
Kosten Bau und Betrieb für 50 Jahre gesamt (netto) / Fläche	1050 qm 52,47	1050 qm 564,63	1050 qm 337,68
Investitionskosten:	Anzahl EP Gesamt 23.376,00	Anzahl EP Gesamt 100.860,00	Anzahl EP Gesamt 117.360,00
Kosten Bau gesamt (netto) / Fläche Pflanzen, Pflanzträge und Zubehör	1050 qm 22,26 23.376,00	1050 qm 96,06 100.860,00	1050 qm 111,77 100.860,00
Pflanzträge:	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	72 Stk. 550,00 150 Stk. 90,00	72 Stk. 550,00 150 Stk. 90,00
Erdarbeiten und Substrat EG:	24 Stk. 100,00 24 Stk. 100,00	24 Stk. 100,00 222 Stk. 20,00	24 Stk. 100,00 222 Stk. 20,00
Substrat OG:	24 Stk. 112,00 24 Stk. 112,00	216 Stk. 90,00 600 Stk. 25,00	216 Stk. 90,00 600 Stk. 25,00
Pflanzen groß:	24 Stk. 112,00 24 Stk. 550,00	600 Stk. 25,00 72 Stk. 90,00	600 Stk. 25,00 72 Stk. 90,00
Pflanzen klein:	24 Stk. 550,00 0 Stk. 0,00	72 Stk. 90,00 0 Stk. 0,00	72 Stk. 90,00 0 Stk. 0,00
Rankhilfen:	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	1 Stk. 3.500,00 350 lfm. 35,00
Bewässerungstechnik	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	1 Stk. 750,00 750,00
Zentrale Anlage (Tanks, Pumpen)	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00
Verteilung:	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00
Mess- und Regeltechnik:	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00	0 Stk. 0,00 0 Stk. 0,00
Laufende Kosten	Zeitraum 50 Jahre Gesamt 31.720,00	Zeitraum 50 Jahre Gesamt 492.000,00	Zeitraum 50 Jahre Gesamt 237.200,00
Wartung und Pflege:	Jahre Kosten Gesamt 25.000,00	Jahre Kosten Gesamt 60.000,00	Jahre Kosten Gesamt 60.000,00
Pflanzen und Pflanzträge	50 a 500,00 25.000,00	50 a 1.200,00 60.000,00	50 a 1.200,00 60.000,00
Pflege Pflanzen (Düngen, Schnitt):	0,00	1.500,00	5.000,00
Bewässerungstechnik	50 a 0,00 0,00	50 a 0,00 Eigenleistung	50 a 0,00 Eigenleistung
Aufwand Bewässerung:	50 a 0,00 0,00	50 a 30,00 1.500,00	50 a 100,00 5.000,00
Wasser- und Stromverbrauch:	50 a 0,00 0,00	50 a 0,00 0,00	50 a 0,00 0,00
Instandhaltung und Ersatz:	Jahre Kosten Gesamt 6.720,00	Jahre Kosten Gesamt 430.500,00	Jahre Kosten Gesamt 172.200,00
Pflanzen und Pflanzträge	50 a 0,05 6.720,00	50 a 0,25 430.500,00	50 a 0,10 172.200,00
Ersatz Pflanzen inkl. Arbeitsaufwand	0,00	0,00	0,00
Bewässerungstechnik	50 a 0,00 0,00	50 a 0,00 0,00	50 a 0,00 0,00
Instandhaltung Technik	0,00	0,00	0,00
Bewertung	Bewertung	Bewertung	Bewertung
Skala -10 (schlecht) bis +10 (bestens)	Qualitativ Kommentare	Qualitativ Kommentare	Qualitativ Kommentare
Zeithorizont bis geplanter Zustand	-10 min. 15 Jahren bis voller Bewuchs erreicht ist	5 1 bis 2 Jahre	5 1 bis 2 Jahre
Verschattungswirkung	-5 In der Anfangszeit (10 Jahre) wenig Verschattung	0 Verschattung gut, aber hohes Ausfallrisiko	5 Verschattung gut
Mikroklima	0 Wirkung gut, aber lange Anfangszeit	0 Mikroklima gut, aber hohes Ausfallrisiko	10 Mikroklima gut, geringes Ausfallrisiko
Einschränkung des Ausblicks	5 Wenig Einschränkung, lineares Wachstum	5 Gut steuerbar durch Einbindung der BewohnerInnen	5 Gut steuerbar durch Einbindung der BewohnerInnen bei Pflege und Bewässerung
Positive psychologische Wirkung	5 Tradiertere und geschätzte Form der Gebäudebegrünung	10 Eigene Pflege erhöht die Wertschätzung für die Bepflanzung	5 Gut, geringere Identifikation
Robustheit der Bepflanzung	10 Sehr robust, wenig Ausfall	-10 Hohes Ausfallrisiko bei unzureichender Wässerung und Pflege	5 Geringes Ausfallrisiko
Robustheit Technik und Hardware	10 Keine Technik erforderlich	10 Keine Technik erforderlich	0 Wartungsaufwand und Ausfallrisiko
Anforderungen an Betrieb / NutzerInnen	10 Kaum Aufwand, wenig Pflege	-10 Viel Aufwand und durchgehendes Engagement (wöchentliches Gießen erforderlich)	0 Mittlerer Aufwand für Pflege, aber kein Aufwand für Bewässerung
	3,13	1,25	4,38

Abbildung 69: Ökonomischer Vergleich der Investitions- und langfristigen Betriebskosten der drei in dieser Studie eingehender betrachteten Varianten von Fassadenbegrünung [Quelle: DGJ Architektur GmbH].

In der Tabelle wird ersichtlich, dass die Variante 3 – Pflanztröge mit Rankhilfen und einer technischen Bewässerungsanlage – im Vergleich der kurz- und langfristigen Investitionen und der Betrachtung qualitativer Faktoren, wie bester Verschattungsleistung, beste Einflüsse auf das Mikroklima oder die Robustheit der Pflanzen, am besten abschneidet.

Zwar sind bei der Variante 1 – eine bodengebundene Begrünung mit Rankhilfen ohne Bewässerungssystem – mit dem geringsten, technischen und ökonomischen Aufwand verbunden, denn die Pflanzen wachsen quasi „von selbst“ aus dem Boden an Rankhilfen am Gebäude nach oben. Diese Variante entspricht am ehesten dem „Low-Tech“-Ansatz. Allerdings zeitigt diese Variante in der Langzeitbetrachtung eine Mischung aus Vor- und Nachteilen. Die Bepflanzung braucht sehr lange (ca. 15 Jahre), bis die Pflanzen den geplanten Wachstumszustand erreicht haben, um alle qualitativen Vorteile der Begrünung substantiell nutzbar zu machen. So tritt die vollständige Verschattungswirkung erst nach einem geschätzten Zeitraum von 10 Jahren ein. Das Mikroklima wird ebenfalls erst nach einer längeren Zeit wesentlich positiv beeinflusst. Dafür ist die Robustheit der Pflanzen sehr gut. Bei der richtigen Pflanzenwahl (beispielsweise Efeu) es ist mit wenig Ausfall zu rechnen, da die Pflanzen auch sich selbst überlassen robust wachsen. Der Aufwand für die Wartung ist aufgrund fehlenden, technischen Equipments und dem Ausbleiben kontinuierlicher Pflanzenpflege ebenfalls gering. Die Einschränkungen des Ausblicks sind für Nutzerinnen und Nutzer gut zu handhaben, weil das langsame, kontinuierliche Pflanzenwachstum eine gute Kontrolle und rechtzeitige Anpassung des Ausblicks ermöglicht. Die Investitionskosten betragen ca. 24.000,00 Euro, stehen aber laufenden Kosten von ca. 32.000,00 Euro auf 50 Jahre gesehen gegenüber. Diese Variante erzielt in der Wertungsskala (Wert von 3,13 in der Bewertungsskala von 1 – 10 / 1 = Höchstplatzierung, 10 = niedrigste Platzierung) den zweiten Platz.

Bei der Variante 2, die in der Gesamtbetrachtung im Mittelfeld liegt, werden die Pflanzen (gegebenenfalls von Nutzerinnen und Nutzern oder durch Dienstleister) manuell bewässert. Durch die kontinuierliche Bewässerung, die allerdings von der verlässlichen Durchführung der damit betrauten Personen abhängt, können die Pflanzen schneller das gewünschte Stadium erreichen. So kommen alle qualitativen Vorteile der Fassadenbegrünung schneller zur Geltung. Man kann mit einem Zeithorizont von ca. 2 Jahren rechnen, bis dieses System alle seine Erträge entfaltet. Insbesondere sind hier die positiven, psychologischen Wirkungen zu betonen, weil Nutzerinnen und Nutzer durch die eigenverantwortliche Pflege der Pflanzen eine hohe Wertschätzung für die Anlage entwickeln können und Freude an deren Erhalt haben. Außerdem wird dies dadurch unterstützt, dass sie die eventuelle Einschränkung des Ausblicks ebenfalls eigenverantwortlich beeinflussen können. Schwieriger sind die Aspekte der Verschattungswirkung und des Mikroklimas, die auf die Robustheit der Pflanzen zurückzuführen ist. Da die Bewässerung in der Verantwortung von Nutzerinnen und Nutzern liegt (s.a. weiter unten die Kapitel zur Mitwirkung und Eigenverantwortung der Nutzerinnen und Nutzern) besteht im Bezug auf die erfolgreiche Aufzucht und das Wachstum der Pflanzen ein hohes Ausfallrisiko. Die Anforderungen an die Nutzerinnen und Nutzer ist bei dieser Variante sehr hoch. Beide Faktoren – Ausfallrisiko bei der Robustheit der Pflanzen und die Anforderungen an die Bewohnerschaft – ziehen die Gesamtbewertung dieser Variante 2 maßgeblich nach unten und sorgen für die Drittplatzierung im Vergleich (Wert von 1,25 in der Bewertungsskala von 1 – 10 / 1 = Höchstplatzierung, 10 = niedrigste Platzierung). Zwar ist in dieser Variante auch keine Technik erforderlich, was ein großer Pluspunkt sein kann, aber die Lebenserfahrung zeigt, dass eine hundertprozentige Kontinuität bei der Pflege und Bewässerung nur sehr selten bei einer Bewohnerschaft erzielt werden kann. Selbst, wenn alle grundsätzlich gewillt sind, mitzuhelfen, können bestimmte Bewohnerinnen und Bewohner aus persönlichen Gründen gegebenenfalls gar nicht in der Lage sein, ihren entsprechenden Anteil zu leisten. Die durch unzuverlässige Bewässerung erforderlich werdenden Ersatzpflanzungen können im Laufe der Existenz der Begrünung wiederholt erheblich Kosten nach sich ziehen.

Wird eine Fassadenbegrünung bodengebunden mit Rankhilfen und zusätzlicher Bepflanzung von Pflanztrögen auf den Geschossen mit einer technischen Bewässerungsanlage mit MRT (Feuchtsensoren) ergänzt, so ergibt sich in der vorliegenden Betrachtung das beste Bewertungsergebnis, wie es in der Variante 3 des Vergleichs dargestellt wird. Die Unterstützung der Bewässerung durch eine technisch niederschwellige, aber widerstandsfähige Anlage kann viele der in den beiden anderen Varianten vorliegenden Risiken minimieren. Beispielsweise ist durch die Bewässerungsanlage mit Feuchtesensoren nicht nur eine

kontinuierliche, genau auf den Bedarf der Pflanzen abgestimmte Bewässerung möglich, wodurch das Ausfallrisiko und potenzielle Aufwände für den Ersatz abgestorbener oder verdorrter Pflanzen wesentlich minimiert werden. Dadurch erzielt diese Variante insbesondere in Sachen Mikroklima sehr gute Resultate. Es wird nachhaltig und im Zeithorizont relativ schnell positiv beeinflusst. Der Wartungsaufwand für die Bewässerung durch die Bewohnerschaft entfällt vollständig. Die Nutzerinnen und Nutzer müssen sich lediglich um gelegentliche Pflegearbeiten, wie anlassbezogenes Zurückschneiden bei Behinderung des Ausblicks oder anlassbezogener Kontrolle von Schädlingsbefall, kümmern. Insgesamt betragen die Investitionskosten geschätzte 120.000,00 Euro, was im Verhältnis zur Variante 2, nur ca. 20.000,00 Euro mehr sind. Die Kosten für Bau und Betrieb in der 50-Jahre-Langzeitbetrachtung amortisieren sich im Vergleich mit Variante 2 maßgeblich. Sie ergeben einen Unterschied von rund 240.000,00 Euro, die die finanzielle Belastung der Variante 3 auf 50 Jahre gerechnet geringer ausfällt als die der Variante 2.

Grundsätzlich kann hier keine pauschale Empfehlung für ein bestimmtes System gegeben werden, denn, wie mehrfach erläutert, spielen die örtlichen und individuellen Gegebenheiten eines jeweiligen Einsatzortes, der Kontext, die Bewohnerschaft, die regionalen, klimatischen Verhältnisse, eine wesentliche Rolle für einen Projekterfolg und müssen im gesonderten Fall sorgfältig gegeneinander abgewogen werden. Lässt sich beispielsweise die Pflege und eigenverantwortliche Bewässerung der Pflanzen durch die Bewohnerschaft zuverlässig und kontinuierlich darstellen, so kann die Variante 2 durchaus empfehlenswert sein. Sollten die klimatischen Verhältnisse für ein selbstregulierendes System wie die Variante 1 an einem geplanten Standort günstig sein, beispielsweise, weil dort mit wenig Dürrezeiten und auskömmlichem Regenfall zu rechnen ist, kann auch dieses System – insbesondere bei geringem Budget, Vorteile haben. Dennoch lässt sich in der vorliegenden Betrachtung darstellen, dass die Variante 3 für einen langfristigen Projekterfolg sorgen kann und damit auch die Nachhaltigkeitsaspekte eines Gebäudes auf lange Frist positiv beeinflusst.

Eine Empfehlung kann aber im Sinne der Nachhaltigkeit sicher ausgesprochen werden: Die Fassadenbegrünung sollte von Beginn an essenzieller Bestandteil sowohl der Planung als auch der Kostenkalkulation und der Lebenszyklusbetrachtung eines Projektes sein. Nur so lässt sich beurteilen, welche Variante den größten Nutzen für das Bauwerk, die Bewohnerschaft, das Quartier und die Umwelt erbringen wird.

Architektonische und konstruktive Integration

Die Sinnhaftigkeit von begrünten Fassaden in Hinblick auf das Mikroklima, das Stadtklima, aber auch das Wohlbefinden der Bewohnerinnen und Bewohner konnte in verschiedenen Studien nachgewiesen werden. Die vorliegende Studie eröffnet eine Möglichkeit, die Fassadenbegrünung bei geeigneter Konstruktion und Pflege auch als Verschattungssystem einzusetzen. Aufgrund der zahlreichen Vorteile sind Fassadenbegrünungen immer häufiger Bestandteil von Hochbauprojekten. In vielen Städten und Gemeinden sind grüne Fassaden bereits fester Bestandteil von Bebauungsplänen und anderen städtebaulichen Planungsinstrumenten. Dabei werden Vorgaben zur prozentual zu begrünenden Fläche in die Programme aufgenommen. Es ist also davon auszugehen, dass die Integration von Begrünung eine wichtige Zukunftsaufgabe für den Entwurf und die Planung / Konstruktion von Gebäuden wird. Gleichzeitig zeigen die Beispiele (s. dazu: Best Practice, S. 49ff.) und die Planung des Prototypen in Mannheim, dass die konstruktive Integration und der erfolgreiche Unterhalt durchaus herausfordernd sind.

Wie lassen sich die technischen und baulichen Bauweisen zur Begrünung von Fassaden vereinfachen?

Konstruktive Umsetzung und mögliche Vereinfachungen

Der konstruktive Aufwand für die Begrünung setzt sich zusammen aus den folgenden Komponenten:

- Pflanztröge,
- Substrat,
- Pflanzen,
- Rankhilfen,
- Bewässerungssysteme (Leitungen, Tanks, Pumpen),
- Mess- und Regeltechnik (MRT).

Im Sinne der Hypothese des Projekts wurde ein Low-Tech Ansatz für die Begrünung angestrebt, bei dem keine Sensorik oder Steuerungstechnik zur Versorgung der Pflanzen eingerichtet wurde.

Deutlich reduziert wird der Wasserverbrauch und damit auch die Notwendigkeit der Bewässerung durch den Einsatz der geschlossenen Pflanzgefäße. Die Abdeckung der Tröge reduziert die Verdunstung über das Substrat. Das Wasser wird über eine freie Wasserebene am Boden der Pflanzgefäße gleichmäßig verteilt. Auch lassen sich die Pflanztröge auf einer gleichen Einbauhöhe miteinander koppeln, so dass nur in einem Trog und an einer Stelle Wasser zugeführt werden muss und sich auf der Höhenlage auf alle Tröge verteilt. Dadurch reduziert sich der Aufwand für die Bewässerung. Bei der manuellen Bewässerung ist der Pflanzenerfolg abhängig von dem Einsatz der Bewohnerinnen und Bewohner. Somit ist die gesamte Begrünung auf die kontinuierlichen Bewässerungsgänge angewiesen. Eine technische Steuerung der Bewässerung würde hingegen eine kontinuierliche Versorgung mit Wasser und Nährstoffen, ohne dauerhaften menschlichen Einsatz sicherstellen. (s.u.: Low-Tech-Fassadenbegrünung: Mitwirkung der Nutzerinnen und Nutzern).

Bewässerungssysteme, Mess- und Regeltechnik

Anfangsidee des Forschungsvorhabens war es, ein System zu entwickeln, das auf der einen Seite einfach und kostengünstig ist, auf der anderen Seite die Vorteile einer automatischen Bewässerung für den Pflanzenerfolg kombiniert. Die Idee war, es mit einer weitgehend passiven Technologie das Wasser durch die Schwerkraft in die Pflanztröge zu verteilen, indem auf dem Dach ein Zwischenspeichertank installiert wird. Die potentielle Energie (Lageenergie), die notwendig ist, um das Wasser auf das Dach zu pumpen, muss dem System aktiv zugeführt werden. Im Idealfall wäre diese Lageenergie direkt durch Solarenergie zu erzeugen.

Bei dem Modell-Projekt „Wohnwerk“ in Mannheim ist dieses Konzept nicht umgesetzt, weil auf eine technische Bewässerung der Pflanzen verzichtet wurde (s.u.: Low-Tech-Fassadenbegrünung: Mitwirkung der Nutzerinnen und Nutzern).

Weiter reduziert werden kann der Aufwand, wenn auf eine automatische Messung und Regeltechnik verzichtet wird. Eine automatische Steuerung für die Wasserzufuhr ist vergleichsweise günstig. Solche Systeme werden auch in privaten Gärten eingesetzt und steuern die elektrischen Pumpen elektronisch mit einstellbaren Rhythmen an. Natürlich schwankt der Wasserverbrauch des Systems im Laufe des Jahres erheblich. Mit höheren Temperaturen und in der Wachstumsphase brauchen die Pflanzen mehr Wasser. Eine flächendeckende Messung des Wasserspiegels bedeutet einen hohen Aufwand. Ein Kompromiss wäre darin zu sehen, dass der Wasserstand an einer Stelle gemessen wird und dann die gesamte Anlage entsprechend dieser punktuellen Messung gesteuert wird.

Auch eine zu starke Bewässerung ist für die Pflanzen schädlich. Bei den meisten Töpfen und Gefäßen wird aber einem zu hohen Wasserspiegel durch einen Überlauf am Boden der Gefäße oder an der Seite vorgebeugt. Dieser Überlauf bedeutet keinen zusätzlichen Aufwand und reduziert Risiken für den Pflanzenerfolg durch zu viel Wasser.

Low-Tech-Fassadenbegrünung: Mitwirkung der Nutzerinnen und Nutzern

Der Verzicht auf die aktive Bewässerung vereinfacht das System deutlich. Gleichzeitig bestehen Zweifel hinsichtlich des Pflanzenerfolges, wird die Bewässerung der Pflanzen ausschließlich den Bewohnerinnen und Bewohnern überlassen. Auf der einen Seite ließe sich dafür argumentieren, dass viele Menschen in Gärten, Wohnungen und auf Balkonen schon Erfahrungen mit Pflanzen gemacht haben und auch mehr oder weniger erfolgreich diese Pflanzen pflegen und bewässern. Auch sind Routinen für solche Pflege etabliert, dass beispielsweise in Abwesenheit der Bewohnerinnen und Bewohner die Pflanzen von Nachbarn, Freunden und Verwandten gepflegt werden. Auf der anderen Seite lehrt die Lebenserfahrung, dass auch diese Pflanzen häufig ersetzt werden und der Pflanzenerfolg nicht durchgehend ist. Im privaten Bereich ist dies unproblematisch. Wenn jedoch die Pflanzen eine wichtige Funktion für den Wärmeschutz der Gebäude haben, dann müssten die Pflanzen durchgehend gepflegt und gewässert werden, aber auch bei Ausfall ersetzt werden. Die Chancen, dass die Bepflanzung aufrechterhalten wird, sind grundsätzlich dadurch begünstigt, dass die Bewohnerinnen und Bewohner ein Eigeninteresse haben, dass die Pflanzen gedeihen und damit die eigene Wohnung vor Überhitzung schützen. Aber es ist vorstellbar, dass die Pflege und der Pflanzenerfolg sehr unterschiedlich ausfallen werden und damit auch die Ergebnisse der Bepflanzung für den sommerlichen Wärmeschutz.

Bessere Chancen haben die Low-Tech-Systeme, die auf aktive Komponenten verzichten, sicher bei gewerblichen oder öffentlichen Immobilien, bei denen die Pflege und der Unterhalt der Pflanzen im Außenbereich oder auch in Innenbereichen ein Teil der laufenden Pflege und Wartungsarbeiten, beispielsweise durch vertraglich verpflichtete Dienstleister, ist. So werden routinemäßig und professionell von Dienstleisterinnen und Dienstleistern oder auch von Hausmeisterin oder Hausmeister Pflanzen gewässert, gepflegt und ersetzt. Wenn die Fassadenbegrünung in diese Routinen eingebunden ist, dann ist der Pflanzenerfolg gewährleistet, allerdings entstehen dann auch Kosten für die Bewirtschaftung. Hier sollte allerdings bedacht werden, dass auch technische Verschattungssysteme häufig wartungsintensiv und störanfällig sind. Fast alle Systeme haben bewegliche Teile und/oder Motoren. Diese beweglichen Teile sind erhöhtem Verschleiß ausgesetzt. Die verbreiteten Raffstoren oder Lamellen haben den Vorteil, dass ihr Winkel so eingestellt werden kann, dass der Ausblick auch bei gleichzeitiger Verschattung gegeben ist. Raffstoren sind anfällig für Wind. Die Lebensdauer lässt sich entsprechend verlängern, wenn die Raffstoren mit den Windwächtern und Motoren ausgestattet sind, die sie hochfahren, wenn die Windstärke einen kritischen Wert übersteigt. Dennoch sind auch die Storen mit Windwarnern oder manuelle Systeme anfällig gegen Wind. Auch die Spann- und Tragseile sind Abrieb und Verschleiß ausgesetzt. Im Allgemeinen werden die Lamellen auch gereinigt, wobei dies für Funktion und Lebensdauer keine Rolle spielt. Lebenserwartung, Wartungs- und Instandhaltungsaufwand hängen bei dem technischen System stark von der Größe, der technischen Ausführung (z.B. Breite und Stabilität der Lamellen sowie Anzahl und Art der Führungen mit Seilen oder Schienen) ab.

Partizipativer Prozess und Eigenverantwortung von Nutzerinnen und Nutzern

Wie eingangs erwähnt und weiter oben beschrieben, stellt die Übertragung der Pflegeverantwortung an die Nutzerinnen und Nutzer ein gewisses Erfolgsrisiko dar. Um an dieser Stelle einen gedeihlichen Prozess zu gewährleisten, ist ein nicht unerheblicher Aufwand in Sachen Kommunikation von Beginn an vorzusehen. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn das Pflanzsystem beispielsweise zukünftig bei einem bereits existierenden Gebäude implementiert werden soll. Je eher die zukünftigen Anwenderinnen und Anwender eingebunden und an der Entscheidung für die individuelle Ausformung der Bauweise eingebunden werden, desto besser.

Es sollte auch über die Form der Einbindung und die konkrete Einführung in das System mit ausreichendem Vorlauf sorgfältig nachgedacht und die Kommunikationsaufwände für diesen Prozess rechtzeitig mit eingeplant werden. Dies gilt vor allem für die langfristige Sicherstellung des gedeihlichen Pflanzenerfolgs und der Systempflege. Bewohnerinnen und Bewohner von Häusern wechseln, neue Menschen ziehen ein und brauchen dann eine Einführung und Anleitung zur Pflege der Begrünung. Es müssen also auch Übergabeformen und -materialien eingeplant werden. Die hier nötigen Kommunikationsaufwände können beispielsweise in der Erstellung von schriftlichen Pflegeanleitungen, Workshops mit Anleitung vor Ort oder wiederholte Vor-Ort-Besuche im Planungsprozess bestehen. Ein schriftlicher Leitfaden, der gegebenenfalls auch Kontaktadressen und Ansprechpartnerinnen und -partner aufführt, bietet sich wegen der potentiell wechselnden Besetzung der Gebäude im Laufe der Zeit an, damit auch nachfolgende Personen eine leicht verständliche Anleitung zur Pflege der Fassadenbegrünung an der Hand haben. Letztlich muss nach den individuellen Voraussetzungen des jeweiligen Projekts entschieden werden, welche Kommunikationsmaßnahmen die wirksamsten und nachhaltigsten sind.

Wie lassen sich die Vorteile der Begrünung vor Glas quantifizieren?

Durch die Versuche und die Simulationen konnten die Vorteile der Bepflanzung quantifiziert werden. Die berechneten Werte sind dabei insofern konservativ, als dass der Beobachtungszeitraum von einer Saison kürzer ist als die Lebenserwartung der Pflanzen. Die meisten der eingesetzten Pflanzen setzen das Wachstum im Folgejahr fort und sind dann noch effektiver für die Verschattung.

Welche Eingangsparameter können für Fassadenbegrünungen bei der Berechnung und Simulation der Temperaturverläufe im Gebäude, insbesondere für die Verschattung, abgeleitet werden?

Als Eingangsparameter lassen sich die Blickdichtigkeit und Gleichmäßigkeit der Begrünung feststellen. Eine blickdichte und gleichmäßige Begrünung kommt dabei einer konventionellen Verschattung mit homogener flächendeckender Wirkung nah. Darüber hinaus ist die Lichtdurchlässigkeit der Begrünung selbst von Bedeutung, da diese der Transparenz einer konventionellen Verschattung gleichgesetzt werden kann. Je dunkler und blickdichter die Blätter, desto weniger Licht erreicht dahinterliegende Flächen und damit den Innenraum. Die Verdunstung an den Blattoberflächen führt zu einer Temperaturabsenkung rund um die Begrünung, die insbesondere einen Einfluss auf den dahinterliegenden Bereich hat. Einerseits werden Lufttemperaturen vor den Fenstern reduziert, andererseits entsteht ein langwelliger Strahlungsaustausch zwischen Fenstern und Begrünung, der die Fenstertemperaturen und damit Innenraumtemperaturen absenkt.

Welche Abminderungsfaktoren können im Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108 oder in der Energiebilanz nach DIN V 18599 angesetzt werden?

Aufgrund des extrem heißen Sommers 2022 und Wachstums an nur einem Versuchsstand konnten lediglich für diesen aussagekräftige Ergebnisse ermittelt werden. Dabei wurde isoliert für die Bepflanzung ein F_c -Wert von 0,25 gemessen werden. Dabei wurden keine Himmelsrichtungsbedingten oder sonnenstandabhängigen

Unterschiede festgestellt. Es handelt sich jedoch um gemittelte Werte, da die Bepflanzung keine einheitlich verschattende Fläche darstellen.

Optimierung im experimentellen Prozess

Die experimentelle Ermittlung der Abminderungsfaktoren fand mit lebenden Pflanzen und im Außenraum statt. Das Wachstum von Pflanzen ist von äußeren Bedingungen (Substrat, Bewässerung, Belichtung, Abstand zu anderen Pflanzen und zum Gebäude, Krankheiten und Schädlinge) und inneren Faktoren (Pflanzenart, individuelles Erbgut, Vorschädigungen) abhängig. Die Auswahl der Pflanzen und die äußeren Rahmenbedingungen wurden für das Experiment optimiert. In der Praxis und über längere Zeiträume ist dies nicht immer der Fall. So können die Bedingungen ungünstiger sein als in dem Experiment. Entsprechend kann die Verschattungsleistung der Pflanzen sich nicht oder bei langsamem Wachstum nicht so schnell entfalten. Diese Risiken sind in dem erarbeiteten Rechenmodell berücksichtigt über Korrekturfaktoren für die äußeren Bedingungen worden.

Extremhitze

In Bezug auf die Verschattungswirkung unter extremen Bedingungen sind die Pflanzen insbesondere durch den Klimawandel bereits diversen Hätetests ausgesetzt gewesen. Bei den Testständen wurden im Sommer 2022 direkt um die Pflanzen teilweise Temperaturen von bis zu 48 Grad gemessen. Insgesamt benötigten die Pflanzbehälter dadurch mehr Wasser als im Vorfeld angenommen. Pflegemaßnahmen waren im Minimum alle 10–14 Tage notwendig. Auch dieser Umstand kann für die Ergebnisse nur von Vorteil sein, da die unter diesen Parametern als widerstandsfähig erachtete Pflanzen sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auch im Modellprojekt „WohnWerk Mannheim“ bewähren werden.

Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

Drexler, Hans (DGJ Architektur GmbH)

Van Lier, Kilian (HfWU)

Fitzgerald, Niall (ina Planungsgesellschaft mbH)

Weitere Mitwirkende

Pfoser, Nicole (HfWU)

Hartwig, Joost (ina Planungsgesellschaft mbH)

Projektpartner und weitere Fördermittelgeber

GKR Hydro GmbH, München

Kurzbiographien



Dr.-Ing. Dipl. Arch. ETH M. Arch (Dist.) Hans Drexler

Hans Drexler studierte u. a. an der TU Darmstadt und der ETH Zürich und schloss an der Bartlett School for Architecture in London seine Masterarbeit mit Auszeichnung ab. 1999 gründete er mit zwei Partnern die DGJ Architektur GmbH, die nachhaltige, energiesuffiziente Gebäude entwirft. 2020 wurde seine Dissertation (PEP / TU Berlin) „Open Architecture“ im Jovis Verlag publiziert.



Prof. Dr.-Ing, M.sc., Dipl.-Ing. Nicole Pfoser

Architektin, Innenarchitektin, Master der Landschaftsarchitektur. Tätig in Planung, Forschung und Lehre der Architektur, Landschaftsarchitektur, Stadtentwicklung. Schwerpunkt nachhaltiges Entwerfen und Bauen, Gebäudebegrünung und ihre Auswirkung auf Stadt und Gebäude, Energieverbrauch, Klima und Lebensqualität. Studiengangsleiterin und Professorin des Studiengangs Landschaftsarchitektur der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU).



Kilian van Lier, M.Sc.

Kilian van Lier studierte Landschaftsarchitektur an der TH OWL in Höxter und promoviert an der HfWU Nürtingen und der TU Darmstadt im Bereich Feinstaubbindung durch wandgebundene Fassadenbegrünungen. Daneben begleitet er wissenschaftliche Projekte im Kontext Fassadenbegrünung und arbeitet bei Vertiko GmbH im Bereich Forschung und Entwicklung, Marketing und Unternehmensorganisation.



Dipl.-Ing Joost Hartwig

Joost Hartwig studierte Architektur an der TU Darmstadt und war dort anschließend als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Seit 2011 ist er geschäftsführender Gesellschafter der ina Planungsgesellschaft mbH. Daneben hat er einige Lehraufträge und von 2014-16 eine Vertretungsprofessur an der Frankfurt University of Applied Sciences wahrgenommen.



Niall Fitzgerald, M.Sc.

Niall Fitzgerald studierte an der TU München und der TU Darmstadt, wo er sein Studium in „Energy Science and Engineering“ abschloss. Seither arbeitet er am Fachbereich Architektur der TU Darmstadt sowie bei der ina Planungsgesellschaft mbH. Daneben arbeitete er als Lehrbeauftragter an der Frankfurt University of Applied Sciences und der Hochschule Mainz.

Literaturverzeichnis

- Baumann, Rudi (1980).** *Pflanzliche Verschattungselemente an der Gebäudeoberfläche als Maßnahme zur Reduzierung der Strahlungsbelastung unter sommerlichen Bedingungen - "Pullover"*. Kassel: Hochschulschrift / Fachbereich 12, Gesamthochschule Kassel.
- Blanc, Patrick und Véronique Lalot (2009).** *Vertikale Gärten: die Natur in der Stadt* / Patrick Blanc. Aus dem Franz. von Sabine Hesemann. Mit einem Vorw. von Jean Nouvel. Fotos: Patrick Blanc und Véronique Lalot. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- Fischer, Henriette und Alexander Blaha und Azra Korjenic (2020).** „Feuchteinträge in die Außenwandkonstruktion von Untergeschossen aufgrund von Kletterpflanzen“ in: *Bauphysik* (Zeitschrift), Bd. 42, Nr. 5: 246-254 (<https://doi.org/10.1002/bapi.202000016>).
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Hrsg.) (2018³).** Fassadenbegrünungsrichtlinien: Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- und Fassadenbegrünungen / aus der Arbeit des RWA „Fassadenbegrünung“; Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL); Bearbeitung durch: Prof. Dr. Mehdi Mahabadi (RWA-Leiter) et al. Bonn: FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- Kießl, Kurt und J. Rath (1995).** *Auswirkungen von Fassadenbegrünungen auf den Wärme- und Feuchtehaushalt von Außenwänden und Schadensrisiko*. Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau; Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Bereich Wärme/Klima]. Stuttgart: IRB-Verlag.
- Köhler, Manfred et al. (Hrsg.) (2022).** *Handbuch Bauwerksbegrünung: Planung – Konstruktion – Ausführung. Effekte und Potenziale für klimaresiliente Städte (Neuaufgabe mit E-Book)*. Köln: Rudolf Müller
- **und Cristian Rares Nistor (2018).** *Wandgebundene Begrünungen: Quantifizierung einer neuen Bauweise in der Klima-Architektur*. Hochschule Neubrandenburg. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- **(Hrsg.) (2012).** *Handbuch Bauwerksbegrünung: Planung – Konstruktion – Ausführung*. Köln: Rudolf Müller.
- Lambertini, Anna (2009).** *Vertikale Gärten* / Einf. Jacques Leenhardt. Text Anna Lambertini. Fotogr. Mario Ciampi. [Aus dem Ital. und Franz. übers. von Eva Dewes]. München: Dt. Verl.-Anstalt.
- Noder-Schab, Julia (2021).** „Rechtsgrundlagen zur Beurteilung von Gebäudebegrünungen in Deutschland“ in: *GebäudeGrün: Dach, Fassade, Raum, Grün* (Zeitschrift). Berlin, Hannover: Patzer Verlag, Nr. 1, 40-43.
- Pfoser, Nicole und Heike Böhmer et al. (2021).** *56. Frankfurter Bausachverständigentag. Konstruktion trifft Funktion: Neue Bauweisen, Neue Probleme?* Tagungsband. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- **(2018).** *Vertikale Begrünung*. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- **(2016).** *Fassade und Pflanze: Potenziale einer neuen Fassadengestaltung: eine Untersuchung zu Sachstand, Motivation und Zukunftseignung der weltweit zunehmenden Fassadenbestimmung als funktionale und ästhetische Fusion von Vegetation und vertikalen Bauteilen*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. Darmstadt: TU.
- **et al. (Hrsg.) (2014).** *Gebäude - Begrünung - Energie: Potenziale und Wechselwirkungen*. Technische Universität Darmstadt in Kooperation mit Technische Universität Braunschweig. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL). Darmstadt: TU.
- Scharf, Bernhard; Pitha, Ulrike; Oberarzbacher, Stefanie (2012):** „Graswalls - Example of a Facade Bound Greening System Including Grasses“ in: *Bioforsk*, Reviewed Abstracts Presented at The 3rd European Turfgrass Society Conference Quality Turf and Efficient Utilization of Resources (Quelle: https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.person_publicationen?sprache_in=de&menue_id_in=102&id_in=3428).

Internetquellen:

Deutsches Klima-Konsortium et al. (Hrsg.) (2021). *Was wir heute über das Klima wissen. Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind.*

https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/210609/basisfakten-zum-klimawandel_dkk.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Zu Patrick Blanc: <https://www.baunetz-id.de/menschen/patrick-blanc-10301813>;

<https://www.murvegetalpatrickblanc.com/>.

Umweltbundesamt (2021): Gesundheitsrisiken durch Hitze

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-hitze>.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Pflanzkästen und Fassade. [© DGJ Architektur GmbH]	13
Abbildung 2 Pflanzkästen und Bewässerungsschema. [© DGJ Architektur GmbH].....	13
Abbildung 3 CaixaForum in Madrid, wandgebundene Begrünung durch Patrick Blanc [Foto: © Roland Halbe; 2008: CaixaForum Madrid. Bauwelt (13): 16-27; Text: David Cohn.]	17
Abbildung 4 „Urban Farming“ am Büro, Ho-Chi-Minh-Stadt, Vietnam. [Foto: © Hiroyuki Oki. In: ArchDaily: Urban Farming Office / VTN Architects. Zugriff: https://www.archdaily.com/995655/urban-farming-office-vtn-architects/63d78772760dd253a38e6edd-urban-farming-office-vtn-architects-photo?next_project=no [abgerufen am: 06.03.2023].].....	18
Abbildung 5 Fassadenbegrünung an Le Corbusiers Mill Owners' Association Building in Ahmedabad, Indien. [Foto: ©: Thomas Winwood Mckenzie. In: Arch Daily, o. J.: AD Classics: Mill Owners' Association Building / Le Corbusier. Zugriff: https://www.archdaily.com/464142/ad-classics-mill-owners-association-building-le-corbusier?ad_medium=gallery [abgerufen am 02.03.2023].].....	18
Abbildung 6 Darstellung der Gebäudeoptimierung durch Fassadenbegrünungen. [© Pfoser 2016: 88].....	20
Abbildung 7 Skizze der Funktion einer Fassadenbegrünung. [© DGJ Architektur GmbH]	21
Abbildung 8 Darstellung der Umfeldverbesserung durch Fassadenbegrünung. [© Pfoser, N.: Gutachten Fassadenbegrünung]	22
Abbildung 9 Stadthaus M1 von Barkow Leibinger Gesellschaft von Architekten mbH, Freiburg im Breisgau. [Foto: © Zoöey Braun. In: Arch Daily, o. J.: Stadthaus M1 / Barkow Leibinger. Zugriff: https://www.archdaily.com/546225/stadthaus-m1-barkow-leibinger [abgerufen am: 02.03.2023].].....	25
Abbildung 10 Stadthaus M1, Freiburg. [Foto: © van Lier, Kilian, 2021]	26
Abbildung 11 Novartis-campus, Basel. [Foto: © Novartis. In: Openhouse Basel,2023: Novartis Campus – Highlights am Rhein (2022). Zugriff: https://openhouse-basel.org/orte/novartis-campus-highlights-am-rhein-2/ [abgerufen am: 02.03.2023].]	27
Abbildung 12 Bosco Verticale, Mailand. [Foto: © Stefano Boeri Architetti, o. J.: Vertikal Forest. Zugriff: https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/ [abgerufen am: 02.03.2023].].....	27
Abbildung 13 Senkrechte Grünfassade des MA48, Zentrale der Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und zugehörigen Fuhrparks in Wien. [Foto: © C. Fürthner/MA 20. In: Stadt Wien, 2020: Grünfassade der MA 48 feiert 10. Geburtstag. Zugriff: https://www.wien.gv.at/presse/bilder/2020/07/15/ma48-zentrale [abgerufen am: 02.03.2023].].....	28
Abbildung 14 : Übersicht Fassadenkonstruktionen und geeignete Begrünungsformen (© Pfoser 2016: 157) 30	
Abbildung 15 Konstruktive Illustration des Fußpunkts. [© Köhler et al., 2012].....	32
Abbildung 16 Pflanzgrube für bodengebundene Fassadebegrünungen. [© Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2018: 97].....	32
Abbildung 17 Prinzipskizzen einer fassadengebundenen Begrünung mit großen Kübeln. [© Köhler et al., 2012: 133].....	33
Abbildung 18 Anbringungsweisen Fassadenbegrünung. [© Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2018: 87].....	35
Abbildung 19 Formen von Kletterhilfen zur Fassadenbegrünung. [© Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Hrsg.), 2018: 85].....	36

Abbildung 20 Baukonstruktive Illustration einer nachträglich montierten Fassadenbegrünung. [© Köhler et al. (Hrsg.), 2012].....	36
Abbildung 21 Vorbeugender baulicher Holzschutz - Bauliche Maßnahmen (Übersicht). [Quelle: holzbau handbuch, Reihe 5, Teil 2, Folge 2; © Holzbau Deutschland Institut e.V. (Hrsg.), 2. Auflage 01/2023].....	38
Abbildung 22 Prinzip-Skizze eines herkömmlichen Systems. [© Kilian von Lier].....	41
Abbildung 23 Prinzip-Skizze eines zweischichtigen Systems. [© Kilian von Lier, nach: GKR].....	41
Abbildung 24 Varianten der Platzausnutzung bei Fassadenbegrünung. [© Kilian van Lier].....	44
Abbildung 25 Überblick der Bauweisen im Kostenvergleich. [© Pfoser 2018: 52].....	45
Abbildung 26 Potenziale von Fassadenbegrünung. [© Pfoser 2018: 49].....	45
Abbildung 27 Vergleichende Darstellung unterschiedlicher Pflanzansätze. [© DGJ Architektur GmbH].....	46
Abbildung 28 Wachsendes „Haus der Zukunft“, Wettbewerbsbeitrag von ludwig.schönle Architekten. [©Office for Living Architecture, 2012: Haus der Zukunft. Zugriff: https://www.o-l-a.eu/projekt/haus-der-zukunft/ . [abgerufen am: 02.03.2023].].....	48
Abbildung 29 Fassadenansicht Stadthaus M1 Freiburg. [Foto: © Van Lier, Kilian, 2021].....	49
Abbildung 30 Exemplarischer Grundriss 3. OG von Barkow Leibinger. [Foto : © BauNetz, 2014: Low-Tech für Vauban. Zugriff: https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Stadthaus_von_Barkow_Leibinger_in_Freiburg_4037067.html [abgerufen am: 02.03.2023].].....	50
Abbildung 31 Detailansicht der Fassade Stadthaus M1 Freiburg. [Fotos: © Van Lier, Kilian, 2021].....	51
Abbildung 32 Studentenwohnheim von Fink+Jocher, München. [Foto: © Michael Heinrich. In: Fink+Jocher Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH. Zugriff: https://fink-jocher.de/projekte/studentenwohnheim-tum-garching [abgerufen am: 02.03.2023].].....	52
Abbildung 33 Studentenwohnheim von Fink+Jocher, München. [© Fink+Jocher Gesellschaft von Architekten und Stadtplanern mbH: Studierendenwohnheim TUM Campus. Zugriff: https://fink-jocher.de/projekte/studentenwohnheim-tum-garching [abgerufen am: 02.03.2023].].....	53
Abbildung 34 Stücki Business Park, Diener & Diener, Basel. [Foto: © Jakob AG: Stücki Business Park. Zugriff: https://www.jakob.com/de/de/referenzen/stuecki-business-park [abgerufen am: 02.03.2023].].....	54
Abbildung 35 Bosco Verticale, Stefano Boeri, Mailand, Italien. [Foto: © Paolo Rosselli. In: Deutsche Bauzeitung: Vertikaler Großstadt-Dschungel Bosco Verticale, Mailand/I. Zugriff: https://www.dbz.de/artikel/dbz_Vertikaler_Grossstadt-Dschungel_Bosco_Verticale_Mailand_I-2403817.html [abgerufen am: 02.03.2023].].....	55
Abbildung 36 CaixaForum, Madrid. [Foto: © Roland Halbe. In: Cohn, D., 2008: CaixaForum Madrid. Bauwelt (13): 16-27.].....	57
Abbildung 37 Fassadenbegrünung MA48, Zentrale der Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und zugehörigen Fuhrparks in Wien. [Fotos: © C. Fürthner/M20. In: Stadt Wien, 2020: Grünfassade der MA 48 feiert 10. Geburtstag. Zugriff: https://www.wien.gv.at/presse/bilder/2020/07/15/ma48-zentrale [abgerufen am: 02.03.2023].].....	58
Abbildung 38 Beispiele für direkte und separate Begrünungsebenen. [© DGJ Architektur GmbH].....	60
Abbildung 39 Integrierte Fassadenbegrünung des dänischen Pavillons "con-nect-ed-ness" auf der Architektur-Biennale von Venedig 2021. [Foto: © Hampus Berndtson. In: Archipanic: Con-nect-ed-ness: The Danish pavilion in Venice evokes an indelible sense of connection between people and nature. Zugriff: https://www.archipanic.com/con-nect-ed-ness-danish-pavilion-venice-2021/ [abgerufen am: 02.03.2023].].....	61

Abbildung 40 MFO-Park in Zürich mit begrünter Tragstruktur. [Foto: © Paul Clemence. In: ArchDaily, 2022: Paul Clemence Captures Burckhardt & Partners' Zürich's MFO Park in Bloom. Zugriff: https://www.archdaily.com/980008/paul-clemence-captures-burckhardt-and-partners-zurichs-mfo-park-in-bloom [abgerufen am: 02.03.2023].]	62
Abbildung 41 Vorgesetzte Begrünung am Lausitztower, Andreas Ferstl Architekten. [Foto: © Andreas Ferstl Architekten, o. J.: Lausitztower. Zugriff: https://a-f-a.de/projekt/lausitztower/ [abgerufen am: 02.03.2023].]	63
Abbildung 42 Distanzbegrünung, Snøhetta Architects. [Foto: © Snøhetta Architects, o. J.: o. T.. Zugriff: https://snohetta.com/projects/513-asi-reisen-headquarters-a-lush-open-office-space-in-timber%20 [abgerufen am: 02.03.2023].]	63
Abbildung 43: Fassadenansicht des „WohnWerks“ im Rendering, Richtung Süden zum Gelände der Bundesgartenschau Mannheim 2023. [Quelle: DGJ Architektur GmbH]	65
Abbildung 44: Lageplan Spinelli. [Quelle: https://www.wohnwerk-mannheim.de]	67
Abbildung 45: Sonnenstudie, November 2021. [Quelle: DGJ Architektur GmbH, Stand November 2021]	68
Abbildung 46 Außentemperatur Mannheim für ein Testreferenzjahr, Stand 2015. [© DGJ Architektur GmbH]	69
Abbildung 47 Direkte und indirekte Solarstrahlung Mannheim für ein Testreferenzjahr, Stand 2015. [© DGJ Architektur GmbH]	70
Abbildung 48 Schematische Erfassung der Faktoren für die Entstehung eines Nutzungskonflikts. [© DGJ Architektur GmbH]	71
Abbildung 49 Visualisierung des Nutzungskonflikts beim Modellprojekt WohnWerk Mannheim. [© DGJ Architektur GmbH]	71
Abbildung 50 Lösung für den Nutzungskonflikt durch alternierenden Einsatz unterschiedlicher Bepflanzung und Pflanztrögen. [© DGJ Architektur GmbH]	72
Abbildung 51 Grundriss des Erdgeschosses, rot markierte Felder bezeichnen die bodengebundenen Pflanzflächen, die sich an drei Seiten der Fassade, mit Ausnahme der Südfassade, finden. Im Grundriss werden auch die abgekippten Seiten der Süd- und Ost-Fassade ersichtlich, die sich nicht im exakten 90-Grad-Winkel zu den Gebäudewänden befinden. [© DGJ Architektur GmbH]	73
Abbildung 52 Grundriss des 2. Obergeschosses. Grüne und blaue Felder markieren die alternierenden Flächen der Gerüstkletterpflanzen und der „kleinen Gärten“ mit Individualbepflanzung. [© DGJ Architektur GmbH]	74
Abbildung 53 Lage und Positionierung der Teststände auf dem Gelände der Technischen Universität Ostwestfalen-Lippe. [© DGJ Architektur GmbH Luftbild © google earth]	75
Abbildung 54 Grundriss und Axonometrie eines Teststands, Pflanztröge analog zum Modellprojekt WohnWerk Mannheim. [© DGJ Architektur GmbH]	76
Abbildung 55 Anordnung der Teststände und Pflanzen. [© Van Lier, Kilian]	77
Abbildung 56 Aufbau der Teststände mit Sensorik zur Messung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit. [Foto: © Van Lier, Kilian.]	78
Abbildung 57 Spätfrostschäden <i>Akebia auinata</i> (links) und Hitzeschäden <i>Actinidia kolomikta</i> [Foto: © Van Lier, K.]	79
Abbildung 58 Entwicklung <i>Aristolochia macrophylla</i> (Durior) – Ausrichtung West – innerhalb der ersten Vegetationsperiode. [Fotos: © Van Lier, Kilian]	81
Abbildung 59 Auswertung Entwicklung der Teststände nach einer Vegetationsperiode (grün dargestellt sind die Pflanzen mit guter Entwicklung, rot dargestellt sind die Pflanzen mit einer schlechten Entwicklung im	

Begrünungsaufbau, ohne farbliche Markierung funktioniert, ist jedoch nicht vital). [Fotos und Bearbeitung: © Van Lier, Kilian].....	81
Abbildung 60 Versuchsstand mit installierten Lichtsensoren. [Fotos: © Van Lier, Kilian]	83
Abbildung 61 Abminderung der Lichtstärke durch die Verschattung hin zu den oberen (links) und unteren (rechts) Messfühlern. [© Van Lier, Kilian]	83
Abbildung 62 Simulationsmodell unter Berücksichtigung der Umgebungsbebauung. [© Eigene Darstellung Fitzgerald, N.; angefertigt mit der Software IDA ICE Version 4.8]	84
Abbildung 63 Simulationsmodell mit vereinfachter grafischer Darstellung der verschattenden Bepflanzung. [© Eigene Darstellung Fitzgerald, N.; angefertigt mit der Software IDA ICE Version 4.8].....	85
Abbildung 64 Simulationsmodell mit grafischer Darstellung der Beleuchtungsstärke hinter der verschattenden Bepflanzung. [Foto: © Eigene Darstellung Fitzgerald, N.; angefertigt mit der Software IDA ICE Version 4.8]....	85
Abbildung 65: Detailansicht der Grünfassade im Süden (Rendering), Planungsphase. [Quelle: DGJ Architektur GmbH].	90
Abbildung 66: Skizze der Befestigung der Stahlseile für Pflanzen in Pflanztrögen. [Quelle: DGJ Architektur GmbH].	91
Abbildung 67: Skizze der Systemlösung bei bodengebundener Pflanzung. [Quelle: DGJ Architektur GmbH].	92
Abbildung 68: Wechselnde Positionierung der Gerüstkletterpflanzen und der „kleinen Gärten“ mit individueller Bepflanzung, je nach Fassade. [Quelle: DGJ Architektur GmbH].....	93
Abbildung 69: Ökonomischer Vergleich der Investitions- und langfristigen Betriebskosten der drei in dieser Studie eingehender betrachteten Varianten von Fassadenbegrünung [Quelle: DGJ Architektur GmbH].	96

Liste der Fotografinnen und Fotografen:

Roland Halbe: S. 16, S. 56; Hiroyuki Oki: S. 17; Kilian van Lier: S. 25, S. 48, S. 50, S. 77-78, S. 80, S. 82; Thomas Winwood Mckenzie: S. 17; Zooey Braun: S. 24; Stefano Boeri Architetti: S. 26; Novartis AG: S. 26; C. Fürthner/MA20: S. 27, S. 57; Michael Heinrich: S. 50; Jakob AG: S. 53; Paolo Rosselli: S. 54; Hampus Berndtson: S. 60; Paul Clemence: S. 61; Andreas Ferstl: S. 62; Snøhetta Architects: S. 62.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Eignung der Fassadenbegrünung in Abhängigkeit der baukonstruktiven Außenwand. [© Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, nach Pfoser 2016: 150f.].....	31
Tabelle 2 Kostenübersicht Fassadenbegrünung.....	43
Tabelle 3 Bepflanzungsschema. [© Van Lier, Kilian]	76