



FASSADENBEGRÜNUNG UND
BIOMASSEVERWERTUNG
FÜR KLIMASCHUTZ AN SCHULEN

FASSADENBEGRÜNUNGEN AN SCHULEN: POTENZIAL FÜR KLIMASCHUTZ, KLIMAAANPASSUNG UND BILDUNGSARBEIT

AM BEISPIEL DES PILOTPROJEKTES
FASSADENBEGRÜNUNG UND BIOMASSEVERWERTUNG
FÜR KLIMASCHUTZ AN SCHULEN (FABI KL I)

SWENJA ROSENWINKEL¹, NICOLE WOZNY¹, YANNICK DAHM²,
HANNA HANKEL², MAIKE GÜNTHER^{1,3} UND THOMAS NEHLS²

¹ Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU) e.V., Greifswalder Straße 4, 10405 Berlin

² Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

³ Berliner Hochschule für Technik, Luxemburger Straße 10, 13353 Berlin

IMPRESSUM

HERAUSGEBER:

Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU) e.V.
Greifswalder Straße 4
10405 Berlin
www.ufu.de

DURCHFÜHRUNG DER STUDIE:

Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU) e.V.
Greifswalder Straße 4
10405 Berlin

und

Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

ABSCHLUSSDATUM:

Dezember 2024

PUBLIKATIONEN ALS PDF:

www.ufu.de/publikationen

PRESSEKONTAKT:

Jonas Rüffer
jonas.rueffer@ufu.de
T: +49 (0)30 4284 993-36

INHALTLICHE NACHFRAGEN:

Dr. Swenja Rosenwinkel
swenja.rosenwinkel@ufu.de
T: +49 (0) 30 428 4993-45

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

HINWEIS ZUM LESEN DIESER STUDIE

Diese Studie beleuchtet das Potenzial von Fassadenbegrünungen aus den Perspektiven Klimaschutz und -anpassung, Umsetzungsbarrieren und Wirkung einer Fassadenbegrünung im Schulkontext. Leserinnen und Leser können gerne auch nur einzelne Kapitel dieser Studie lesen. Im letzten Kapitel sind Empfehlungen für verschiedene Stakeholder gegeben, die einer vermehrten Umsetzung förderlich wären und bei einer Integration in den Schulunterricht helfen sollen.

GENDER HINWEIS

In der vorliegenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit nach der Leitlinie¹ des Deutschen Blinden- und Sehbehinderten Verbandes e.V. (DBSV) eine Kombination aus geschlechtsneutralen Formulierungen und der Beidnennung des Maskulinums und Femininums verwendet. Die verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich aber explizit auf alle Geschlechter.

¹ <https://www.dbsv.org/gendern.html>

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) und in Zusammenarbeit und gefördert durch den Fachbereich Naturschutz des Umwelt- und Naturschutzamtes Charlottenburg-Wilmersdorf

Projektpartner:



in Zusammenarbeit mit dem
Fachbereich Naturschutz des
Umwelt- und Naturschutzamtes
Charlottenburg-Wilmersdorf

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



ZUSAMMENFASSUNG

*„Wir sitzen alle im selben Boot. Wir wollen Klimaschutz!
[...] Und jetzt sind wir nur noch alle in der Bringschuld,
das möglichst schnell und unkompliziert zu gestalten.“*

(Vertreter des Projektträgers, persönliche Kommunikation, 14.08.2023)

Das Potenzial von Fassadenbegrünungen für Klimaschutz und -anpassung im urbanen Raum mit begrenztem Platz für Grünflächen und steigender Verdichtung der Bebauung scheint groß. Gleichzeitig steigt das Fördermittelangebot für eine vermehrte Umsetzung bundesweit. Das hier vorgestellte Pilotprojekt *Fassadenbegrünung und Biomasseverwertung für Klimaschutz an Schulen* (FaBiKli) setzte erstmals Fassadenbegrünungen an drei Berliner Bestandsschulgebäuden um und untersuchte dabei den Beitrag von Fassadenbegrünungen sowohl als Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahme als auch für eine Bildungsarbeit im Sinne einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Das Ziel dieser Studie ist es, das identifizierte Potenzial von Fassadenbegrünungen an Schulen als integrierte Lösung für Klimaschutz, Klimaanpassung und Bildung für nachhaltige Entwicklung zu demonstrieren und durch das Aufzeigen von Implementierungsbarrieren, Lösungsvorschlägen, Voraussetzungen und Rahmenbedingungen die Umsetzung von Fassadenbegrünungen an Schulen zu fördern.

Ein Blick in den aktuellen Stand der Forschung zeigt die Vorteile von Fassadenbegrünungen durch ihre Ökosystemdienstleistungen insbesondere in Städten, etwa durch CO₂-Sequestrierung², Kühlung und Luftfilterung wurden. In FaBiKli wurde daran anknüpfend untersucht, inwiefern Fassadenbegrünungen als städtische Biomasse und somit CO₂-neutrale Energielieferanten zum Klimaschutz beitragen können. Dazu wurde ein innovatives Fassadenbegrünungssystem genutzt, das die Ernte der jährlich aufwachsenden Fassadenbegrünung zulässt. Es wird gezeigt, dass Fassadenbegrünungen vergleichbare Biomasseproduktionsraten zu anderer Gebäudebegrünung und Land- und Forstwirtschaft erreichen können. Die Untersuchung der Produktionsraten unterschiedlicher Pflanzen ergibt, dass sich als energetische Nutzung für krautige Biomasse die Vergärung (Biogas) und für hölzerne Biomasse die Verbrennung besser eignet. Früchte und andere Pflanzenteile können außerdem als anderweitige Produkte verwendet werden und durch die permanente Festlegung der Biomasse in beispielsweise Baustoffen der Kohlenstoff sequestriert und Klimapositivität erreicht werden.

Hinsichtlich des Beitrags von Fassadenbegrünungen zur Klimaanpassung, insbesondere ihre Kühlungseffekte, zeigen Forschungsstudien, dass Fassadenbegrünungen Wandtemperaturen im Freien um bis zu 15,5 K (Hoelscher et al., 2016)

und in Südeuropa bis zu 20 K (Mazzali et al., 2013) senken können. Diese Abkühlung bewirkt eine Reduktion der Wandtemperatur in Innenräumen um bis zu 1,7 K. In den Untersuchungen des FaBiKli-Projekts zur Innenraumkühlung waren die Auswirkungen der Transpirationskühlung der Pflanzen auf die Innenraumkühlung geringfügig. Allerdings spielt der latente Wärmestrom bei großflächiger Anwendung von Fassadenbegrünungen eine bedeutende Rolle für die Kühlung der Außenumgebung (Schmidt, 2006). Die Innenraumkühlleistung wird hauptsächlich durch die Beschattung der Pflanzen bestimmt aber auch Pflanzenart, -alter und Physiologie haben einen signifikanten Einfluss – im FaBiKli-Projekt kühlte die Feuerbohne beispielsweise besser als der Hopfen.

Trotz ihrer vielfältigen Vorteile werden Fassadenbegrünungen in Städten selten im Bestand umgesetzt, gerade an öffentlichen Gebäuden, die im Sinne eines Whole Institution-Ansatzes einer Bildung für nachhaltige Entwicklung besonders gut zu dieser beitragen könnten. Aus diesem Grund widmet sich diese Studie auch den Implementierungsbarrieren und zeigt anhand einer systematischen Analyse von Prozessbarrieren mit relevanten Stakeholdern des FaBiKli-Projekts, dass fehlendes Wissen und Kompetenzen, der ungeklärte bauaufsichtliche Umgang mit Fassadenbegrünung sowie akteursübergreifend fehlende zeitliche und finanzielle Ressourcen als wesentliche Barrieren wirken. Als zentrale Lösungsansätze wurden dabei eine Standardisierung des Begrünungssystems und der Zuständigkeiten im Implementierungsprozess wie auch die Entwicklung einer anwendungsorientierten, forschungsbasierten Planungshilfe zur Unterstützung der Planungs- und Verwaltungsakteure identifiziert.

Zur Ermittlung des Verstetigungspotenzials von Fassadenbegrünungen an Schulen werden abschließend technische, ökologische und standortbezogene Voraussetzungen, rechtliche Rahmenbedingungen, Fördermöglichkeiten und das Potenzial von Fassadenbegrünungen für eine Bildungsarbeit im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung beleuchtet. Zusammen mit den Lösungsansätzen für die ermittelten Implementierungsbarrieren werden im letzten Kapitel allgemeine sowie an Schulen, Verwaltungen und Fördermittelgebende gerichtete Empfehlungen gegeben, die zu mehr Zusammenarbeit und Standardisierung und dem Blick auf andere Städte aufrufen, die die Umsetzung von Fassadenbegrünungen durch Planungshilfen und Vereinfachungen in den Genehmigungsrichtlinien bereits vereinfacht haben.

² Prozess der CO₂-Abscheidung und -Speicherung.



Abbildung 1: Hopfen und Feuerbohnen ranken die Seile der FaBiKli Fassadenbegrünung hoch (© S. Rosenwinkel).

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis, Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
1. ZIELSETZUNG DER POTENZIALSTUDIE	8
2. PILOTPROJEKT FASSADENBEGRÜNUNG UND BIOMASSEVERWERTUNG FÜR KLIMASCHUTZ AN SCHULEN (FABIKLI)	9
2.1 Fassadenbegrünung im Kontext des Klimawandels und einer Bildung für nachhaltige Entwicklung	9
2.2 FaBiKli-Fassadenbegrünungssystem	12
3. FASSADENBEGRÜNUNGEN FÜR URBANEN KLIMASCHUTZ	13
3.1 Direkte und indirekte Treibhausgasemissionsminderung	14
3.2 Quantifizierung des Biomasseertrags und der Kohlenstoffbindungsrate	14
3.3 Potenzialanalyse der Biomasse-Verwertungsoptionen	17
3.4 Bewertung des Sequestrierungspotenzials	18
4. FASSADENBEGRÜNUNGEN FÜR URBANE KLIMAFOLGENANPASSUNG	19
4.1 Kühlungseffekte	19
4.2 Wassernutzung	20
5. FASSADENBEGRÜNUNGEN FÜR EINE BILDUNG FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG	21
5.1 Bildungsangebote des FaBiKli Pilotprojekts	22
5.2 Evaluation der Bildungsarbeit	23
5.3 Treibhausgasemissionseinsparungen durch die Bildungsarbeit	26
6. IMPLEMENTIERUNGSBARRIEREN INTEGRATIVER FASSADENBEGRÜNUNG AN BERLINER SCHULEN	27
6.1 Implementierungsbarrieren	27
6.2 Lösungsansätze	28
7. VERSTETIGUNGSPOTENZIAL VON FASSADENBEGRÜNUNGEN IM GEBÄUDEBESTAND VON SCHULEN	29
7.1 Technische und ökologische Voraussetzungen	30
7.2 Rechtliche Rahmenbedingungen	31
7.3 Finanzierung von Fassadenbegrünung	34
7.4 Potenzial einer Fassadenbegrünung für die Bildungsarbeit	36
8. FAZIT UND EMPFEHLUNGEN	37
Referenzen	42

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BNE	Bildung für nachhaltige Entwicklung
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
FaBiKli	Fassadenbegrünung und Biomasseverwertung für Klimaschutz an Schulen
SuS	Schülerinnen und Schüler
THG	Treibhausgas
TU Berlin	Technische Universität Berlin
UfU	Unabhängiges Institut für Umweltfragen
WIA	Whole Institution Approach

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Hopfen und Feuerbohnen ranken die Seile der FaBiKli Fassadenbegrünung hoch	4
Abbildung 2:	Wirkungslogik von FaBiKli-Projekts	9
Abbildung 3:	Kategorisierung verschiedener möglicher Pflanzenfassaden	10
Abbildung 4:	FaBiKli Fassadenbegrünung an einer Schule in Berlin mit Bewässerungssystem mit Solarzellen-betriebener Pumpe	12
Abbildung 5:	Begrünungssystem des FaBiKli-Projekts	12
Abbildung 6:	Schwimmerventil in einer Zisterne, um die Zisterne vor dem Überlaufen zu hindern	13
Abbildung 7:	Entwurf für eine Begrünung der Studierenden des Studienganges Landschaftsbau und Architektur der TU Berlin, Sommersemester 2022	13
Abbildung 8:	Entwurf für eine Begrünung der Studierenden des Studienganges Landschaftsbau und Architektur der TU Berlin, Sommersemester 2022	13
Abbildung 9:	Einfluss der jeweiligen Produkte auf die Lebenszyklusanalyse im Projekt mit einer Gesamtemission bei der Implementierung von 410,8 kg CO ₂ äq	14
Abbildung 10:	Trockenmasse der Biomasseernte an den drei Schulen (links) und für die unterschiedlichen Pflanzenbestandteile (rechts) in 2023	15
Abbildung 11:	Trockenmasse der Ernte an Schule C im Jahr 2023	15
Abbildung 12:	Der Kreislauf der Biomasse im Zusammenhang mit der FaBiKli-Fassadenbegrünung	18
Abbildung 13:	Graphische Darstellung der verschiedenen Aspekte der Bildungsarbeit rund um eine Fassadenbegrünung (© A. Huskamp & B. Metzger).	21
Abbildung 14:	Fragebogenantworten der Fragen 1.1 - 1.12 der Likert Skala in Prozent. Die Fragestellungen sind hier in Kurzform dargestellt	24
Abbildung 15:	Verteilung der Antworten auf Multiple-Choice Frage 2 (links) und Frage 3 (rechts) in Prozent	25
Abbildung 16:	CO ₂ -Einsparungen durch FaBiKli-Bildungsmaßnahmen in Tonnen mit insgesamt 6.963 t	26
Abbildung 17:	Visuelle Zusammenfassung der Hamburger Regelungen hinsichtlich der Baugenehmigungspflicht von Fassadenbegrünungen	33
Abbildung 18:	Der vertikale Garten der Johannes-Gigas-Schule in Lügde	36

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Biomasseproduktionsraten anderer Gebäudebegrünung im Vergleich zur FaBiKli-Vertikalbegrünung	16
Tabelle 2:	Stichprobe des Print-Fragebogen	23
Tabelle 3:	Material- und Honorarkosten für ein Fassadenbegrünungssystem im FaBiKli-Pilotprojekt	34

I. ZIELSETZUNG DER POTENZIALSTUDIE

Das Potenzial scheint groß zu sein: In dicht bebauten, städtischen Gebieten gibt es zahlreiche ungenutzte, öffentliche Flächen für Klimaschutz und Klimaanpassung – man muss nur in der Vertikale suchen! Vor dem Hintergrund der Klimafolgenanpassung, dem Klimaschutz durch natürliche Kohlenstoffsenken und der Energiequelle Biomasse sowie der steigenden Flächenkonkurrenz im Anbau von Biomasse, wurden mit dem Pilotprojekt Fassadenbegrünung und Biomasseverwertung für Klimaschutz an Schulen (FaBiKli) erstmals Bestandsgebäude dreier Schulen in Berlin mit einem Fassadenbegrünungssystem ausgestattet. Das Projekt war dabei sowohl ökologisches Forschungsprojekt hinsichtlich des Anbaus und der Verwertung von Biomasse an Fassaden, als auch Bildungsprojekt im Sinne der Integration der Fassadenbegrünung in den Schulalltag. So wurde zum einen der Einfluss der Begrünung auf CO₂-Einsparungen wissenschaftlich ausgewertet und die Möglichkeit einer energetischen und stofflichen Nutzung vertikal angebaute Biomasse analysiert.

Das in FaBiKli genutzte innovative Fassadenbegrünungssystem zeichnet sich durch ein Pflanzenranksystem aus, welches eine jährliche Ernte der Pflanzen zur Biomassegewinnung erlaubt. In Deutschland wird Biomasse bereits in verschiedenen Anwendungen genutzt, beispielsweise Biogas für die Energieerzeugung oder Holz für die Baubranche und die Nachfrage wird voraussichtlich weiter steigen (Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022). Wenn es künftig gelingen würde vertikale, sonst ungenutzte Flächen zur Biomasseproduktion zu nutzen, hätte dies die Entlastung des horizontalen Flächenanbaus zugunsten der Nahrungsmittelproduktion zum Vorteil.

Des Weiteren trägt die Integration von Fassadenbegrünungen an Schulen im Sinne einer Bildung für nachhaltige Entwicklung in zweierlei Hinsicht zu einer Akzeptanzsteigerung und damit zur langfristigen Umsetzungsförderung für diese nachhaltige Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahme bei (Abbildung 2): Die Integration von Fassadenbegrünungen in den Unterricht vermittelt den Lernenden anschaulich wie Klimaanpassung und Klimaschutz gelingen können. Es lassen sich komplexe Zusammenhänge zwischen der ökologischen, ökonomischen, sozialen und kulturellen Dimension nachhaltiger Entwicklung sichtbar machen und den Schülerinnen und Schülern (SuS) bewusst machen, wo ihre eigenen Handlungsmöglichkeiten liegen - vom Kleinen zum Großen, von der individuellen zur systemischen Ebene. Die begrünte Wand animiert im Sinne des Whole Institution-Ansatzes zu einem Umdenken und verursacht dadurch weitere Treibhausgasemissionseinsparungen.

Als Teil des FaBiKli Pilotprojekts verfolgt die vorliegende Potenzialstudie das übergeordnete Ziel, das Potenzial von Fassadenbegrünungen an Schulen als integrierte Lösung für Klimaschutz, Klimaanpassung und Bildung für nachhaltige

Entwicklung (BNE) zu demonstrieren und durch das Aufzeigen von Implementierungsbarrieren und Lösungsvorschlägen die Umsetzung von Fassadenbegrünungen an Schulen zu fördern. Der Kontext Schule lenkt den Blick über seine Schulträger und die oftmals angespannte Schulfinanzierung unausweichlich in die Richtung weiterer zentraler Akteure. Die Studie richtet sich somit nebst Schulen selbst auch an kommunale Verwaltungen und Fördermittelgeber für Fassadenbegrünungen. Dabei zielt diese Studie insbesondere darauf ab:

- **Biomasse- und CO₂-Sequestrierungspotenziale als Klimaschutzbeitrag aufzuzeigen:** Die gewonnenen Daten der Fassadenbegrünungen zu Biomasseertrag, Verwertungsszenarien und CO₂-Sequestrierungspotenzial werden vorgestellt und diskutiert (Kapitel 3).
- **Kühlungs- und Regenwassernutzungspotenziale als Klimaanpassungsbeitrag aufzuzeigen:** Die Ökosystemdienstleistungen Kühlung und Wassernutzung der Fassadenbegrünung werden für eine ganzheitliche Betrachtung aufgeführt und am Beispiel Berlin erläutert (Kapitel 4).
- **Potenziale der Bildungsarbeit zu Fassadenbegrünungen für eine BNE vorzustellen:** Die Wirkung des Projektes und seiner Bildungsarbeit im Zusammenhang mit der Fassadenbegrünung auf die Verhaltensweise der Zielgruppen Schülerinnen und Schüler sowie Lehrkräfte wird evaluiert, um das Potenzial von Verhaltensänderungen zu ermitteln (Kapitel 5).
- **Implementierungsbarrieren von Fassadenbegrünungen an Schulen aufzuzeigen:** Barrieren in der Umsetzung von FaBiKli werden analysiert und zusammen mit Stakeholdern ermittelte Lösungsvorschläge vorgestellt (Kapitel 6).
- **Verstetigungspotenzial von Fassadenbegrünungen an Schulen zu beleuchten:** Technische und ökologische Voraussetzungen sowie rechtliche, finanzielle und bildungsrelevante Aspekte werden mit Blick auf das Potenzial weiterer Fassadenbegrünungen an Bestandsgebäuden von Schulen beleuchtet (Kapitel 7).
- **Empfehlungen für die Förderung von künftigen Fassadenbegrünungen an Schulen zu geben:** Aufgeschlüsselt nach verschiedenen Zielgruppen werden Handlungsmöglichkeiten zur Schaffung verbesserter Rahmenbedingungen für Fassadenbegrünungen an Schulen aufgezeigt (Kapitel 8).

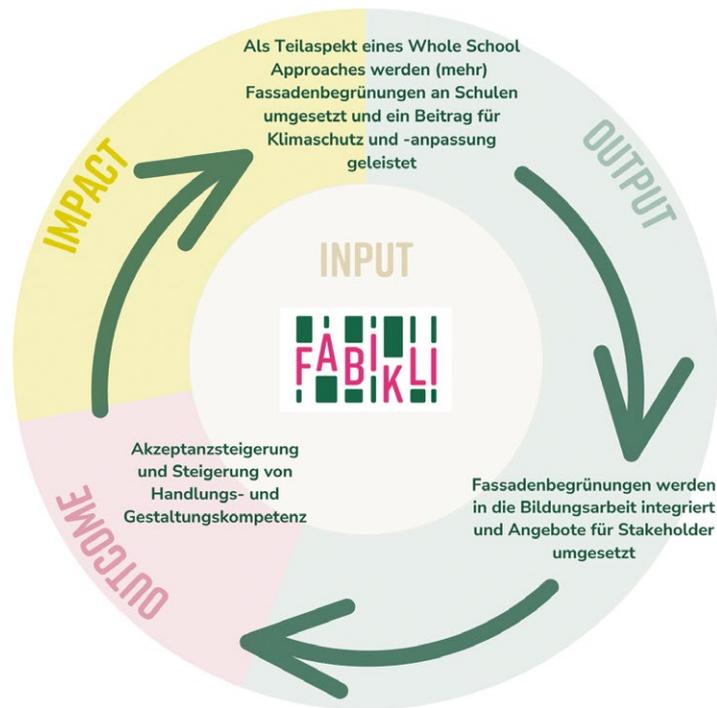


Abbildung 2: Wirkungslogik des FaBiKli-Projekts (eigene Darstellung).

2. PILOTPROJEKT FASSADENBEGRÜNUNG UND BIOMASSEVERWERTUNG FÜR KLIMASCHUTZ AN SCHULEN (FABIKLI)

2.1 FASSADENBEGRÜNUNG IM KONTEXT DES KLIMAWANDELS UND EINER BILDUNG FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG

Steigende Temperaturen, häufiger auftretende Extremwetterereignisse, Rückgang der Biodiversität: Die Folgen des Klimawandels sind weltweit spürbar und die Warnungen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eindeutig. Es besteht akuter Handlungsbedarf, diese durch Menschen verursachten Entwicklungen zu begrenzen, da mit der Überschreitung des 1,5 °C-Ziels irreversible Prozesse eingeleitet werden könnten,

die durch die Überschreitung von Kipppunkten im globalen Klimasystem entstehen. Die Einhaltung dieses Ziels, das 2015 im Übereinkommen von Paris beschlossen wurde, scheint allerdings immer weniger realistisch zu sein, da der Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Ausstoß und seine Konzentration in der Atmosphäre weiterhin ansteigen (Engels et al., 2024).

Umso wichtiger wird es, Anpassungsstrategien zu entwickeln, die die Klimawandelfolgen abmildern und gleichzeitig emissionsarm sind, um den Klimawandel nicht weiter zu befeuern. Die urbanen Zentren in Deutschland sind schon jetzt die wärmsten Regionen und werden bis Ende des 21. Jahrhunderts mit weiter steigenden Temperaturen, Hitze, Trockenheit und Starkregenereignissen rechnen müssen (UBA, 2021). Durch Flächenversiegelung, dichte Verbauung, erhöhte Emissionen und reduzierte Verdunstung entstehen städtische Wärme-

inseln, die insbesondere vulnerable Gruppen gefährden (vgl. Kapitel 4).

Vertikale Begrünungen sind wirksame systemische Gegenmaßnahmen gegen die städtische Wärmeinsel und gleichzeitig Anpassungs- und Mitigationsstrategie für den Klimawandel. Doch nicht nur im Angesicht des Klimawandels bieten Fassadenbegrünungen Vorteile. Ihre vielfältigen Ökosystemdienstleistungen umfassen u.a. passive Kühlung durch Verschattung und Transpiration (Hoelscher et al., 2016) auf einem horizontal begrenzten Raum (Natarajan et al., 2015), die Entlastung von städtischen Entwässerungssystemen, biologische Primärproduktion, d.h. die Assimilation von CO₂ zum Aufbau von Biomasse (sogenannte CO₂-Sequestrierung) (Nehls et al., 2015), Lärminderung durch Schallabsorption und -refraktion, Habitatfunktion, Bienen- und Insektenweide, Steigerung der Biodiversität und Wohn- sowie Arbeitsumfeldverbesserung

insbesondere hinsichtlich des psychischen Wohlbefindens (Mayrand et al., 2018). Vertikale Begrünungen sind wirksame systemische Gegenmaßnahmen gegen die städtische Wärmeinsel und gleichzeitig Anpassungs- und Mitigationsstrategie für den Klimawandel.

Je nach Ausgestaltung der Fassadenbegrünungen kommen die verschiedenen Vorteile unterschiedlich stark zum Tragen. Generell lassen sich Fassadenbegrünungen in ihrer Ausgestaltung in zwei Haupttypen unterscheiden. Wandgebundene Systeme basieren auf in die Wand fixierte Pflanzgefäße, Körbe oder Substrattextilien. Bodengebundene Begrünungen arbeiten mit Pflanzen, die mit oder ohne Kletterhilfe vom Boden an der Fassade hochwachsen. Bekanntestes Beispiel hierfür sind mit Efeu als Selbstklimmer bewachsene Hausfassaden. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht dieser Haupttypen und eine Mischform als Kombination der Systeme.

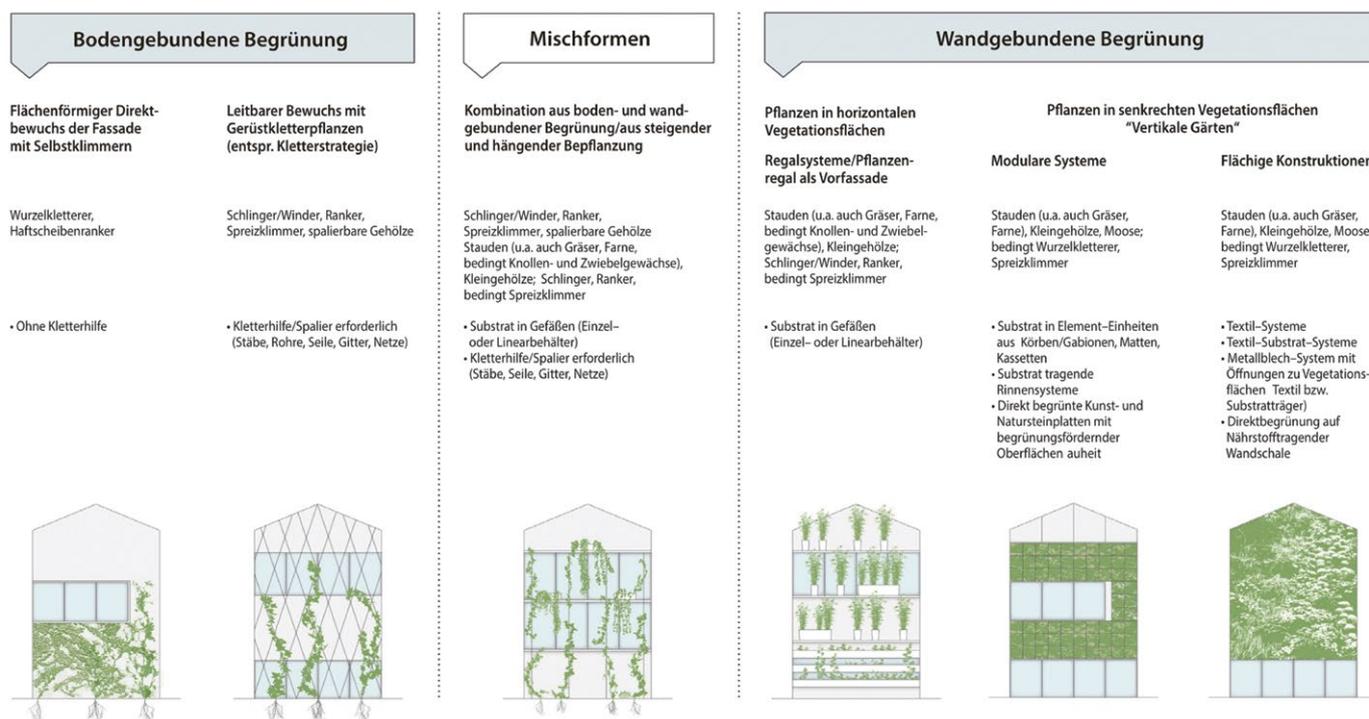


Abbildung 3: Kategorisierung verschiedener möglicher Pflanzenfassaden (© N. Pfoser)

Trotz der Vorteile die Fassadenbegrünungen insbesondere für dicht besiedelte Gebiete liefern, sind sie erstaunlich wenig im Stadtbild verankert. Studien haben gezeigt, dass die eher dürftige Umsetzung von Fassadenbegrünungen insbesondere auch an mangelndem Wissen über ihre Funktionsweise liegt (vgl. Kapitel 6). Daher kommt der Vermittlung von Wissen und Kompetenzen im Rahmen einer BNE eine zentrale Rolle beim Ausbau von Fassadenbegrünungen zu.

Das Konzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung, dessen Grundstein mit der Agenda 21 für eine nachhaltige Entwicklung auf der UN-Konferenz in Rio de Janeiro gelegt wurde, dient als ganzheitliches Bildungskonzept für lebenslanges

Lernen der Befähigung der Menschen zukunftsorientiert zu denken und zu handeln (UN Conference on Environment & Development, 1992). In diesem Sinne kann die Implementierung von BNE in der Bildung auch zu einer Akzeptanzsteigerung und Umsetzungsförderung von Fassadenbegrünungen führen. Zentraler Bestandteil einer BNE ist das Umdenken von einem Unterricht, der auf Wissensvermittlung ausgelegt ist, hin zu einem Unterricht, der sich als Ziel den Kompetenzerwerb setzt. In dem von de Haan und Harenberg 1998 entwickelten Kompetenzkonzept spielt dabei die Gestaltungskompetenz eine entscheidende Rolle (Haan & Harenberg, 1999). Ein weiterer zentraler Baustein der BNE, der zu einem Umdenken und zu mehr sozial-ökologischem Denken und

Handeln führt, ist der Whole Institution-Ansatz (WIA). Dieser Ansatz zielt darauf ab, dass grundsätzlich alle Organisationen und Institutionen nachhaltige Strukturen etablieren müssen, um einerseits selbst klimafreundlicher zu werden und andererseits einer Vorbildfunktion gerecht zu werden (Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung, 2017). Denn Lernen findet nicht nur in der formalen (z. B. Schule) und nichtformalen (z. B. außerschulische Bildungsangebote) Bildung statt, sondern auch in der informellen Bildung (Holzbaur, 2020). Durch letztere lernen Menschen in ihrem alltäglichen Leben, ganz beiläufig, wenn etwa die Schule ein veganes und/oder faires Mittagessen anbietet, eine Dachbegrünung hat oder Energie-sparkonzepte umsetzt. Dadurch können Schulen ganzheitlich zu mehr Nachhaltigkeit transformieren und dabei im Sinne der

BNE die Schulbeteiligten partizipativ und mitgestaltend einbeziehen, sodass diese Gestaltungskompetenzen gewinnen (Greenpeace e. V., 2023).

Mit einer Fassadenbegrünung als lösungsorientiertes Beispiel für Handlungsmöglichkeiten gegen die Klimakrise und der Partizipation der Schulgemeinschaft am Projekt wird die Mitgestaltung an der Transformation zur Motivationsquelle. Vor diesem Hintergrund hat sich das FaBiKli-Projekt neben der pilothaften Installation von Fassadenbegrünungen im Kontext Schule und der Untersuchung der spezifischen Klimaschutz- und Klimaanpassungswirkungen auch zum Ziel gesetzt anhand der praktischen Begrünungsmaßnahme (inter)disziplinäre Inhalte und übergeordnete klimarelevante Zusammenhänge schulisch zu vermitteln.

PILOTPROJEKT FASSADENBEGRÜNUNG UND BIOMASSEVERWERTUNG FÜR KLIMASCHUTZ AN SCHULEN (FABIKLI)

AUF EINEN
BLICK

DURCHFÜHRENDE ORGANISATIONEN:

Unabhängiges Institut für Umweltfragen e.V. & Technische Universität Berlin
(Institut für Ökologie – Fachgebiet Ökohydrologie und Landschaftsbewertung)

LAUFZEIT:

08/2021 – 12/2024

FÖRDERUNG:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) & Fachbereich Naturschutz des Umwelt- und Naturschutzamtes Charlottenburg-Wilmersdorf

PROJEKTZIEL:

Implementierung von Fassadenbegrünung an Bestandsgebäuden von Schulen und in der Bildungsarbeit als konkrete Maßnahme zu Klimaschutz und -anpassung. Dabei soll das Potenzial energiepositiver Gebäudebegrünungen für direkte CO₂-Sequestrierung und indirekte CO₂- und Energieeinsparungen quantifiziert und durch die Verankerung des Themas in die Bildungsarbeit dem gesamten Querschnitt der Gesellschaft, insbesondere der Jugend und der kommunalen Verwaltung praxisnah vermittelt werden.

ZIELGRUPPEN:

- **Schülerinnen und Schüler** (SuS) werden durch praktische Arbeit an der Fassadenbegrünung motiviert, selbst aktiv zu werden und nachhaltige Verhaltensänderungen vorzunehmen.
- **Lehrkräften** wird dargelegt, wie die Themen Fassadenbegrünung und Biomasseverwertung in den (praktischen) Unterricht eingebracht werden können und im Sinne einer BNE Schlüsselkompetenzen für den Wandel fördern können.
- **Verwaltung und Planungsakteure** kommen miteinander über identifizierte Implementierungsbarrieren ins Gespräch und entwickeln Lösungsansätze.
- **Öffentlichkeit:** Durch die Sichtbarkeit der Fassadenbegrünung an Schulen wird das Bewusstsein für Klimaschutzmaßnahmen in der breiten Öffentlichkeit geschärft.
- **Fachkreise:** Die gewonnenen Daten zu Biomasseertrag, Verwertungsszenarien und Sequestrierungspotenzial tragen zur Wissenserweiterung in Fachkreisen bei.

MEHR INFORMATIONEN UNTER:

www.fabikli.de

2.2 FABIKLI- FASSADENBEGRÜNUNGSSYSTEM



Abbildung 4: FaBiKli Fassadenbegrünung an einer Schule in Berlin mit Bewässerungssystem mit Solarzellen-betriebener Pumpe. Die Pumpe befüllt die Grundwasserspiegel und überwindet den Türbogen auf der rechten Seite. (© Y. Dahm).

Das neuartige bodengebundene Fassadenbegrünungssystem (Abbildung 4), das im FaBiKli-Projekt angewandt wurde, wurde durch das Center for Innovation and Science on Building Greening der TU Berlin mit der Motivation eines geringen Ressourceneinsatzes bei gleichzeitiger Option der Erntemöglichkeit der Biomasse entwickelt. So kann das Ranksystem für die Fassadenbegrünung bei Erreichen der Zielbiomasse ohne großen personellen oder maschinellen Aufwand herabgelassen werden, um die Biomasse zu ernten und weiter zu verwerten (Abbildung 5). Die unterstützende Struktur arbeitet mit Kletterseilen aus recyceltem Hanfmaterial, die an einem gespannten Stahlseil befestigt sind, wodurch die Notwendigkeit für Bohrlöcher reduziert wird. Es wurden Bohnen- und Hopfenpflanzen wegen schnellem Wuchs, schneller Erreichung der Zielbiomasse und Fruchtbildung verwendet, die als Nahrungspflanzen auch in der Bildungsarbeit den Vorteil haben essbar zu sein. Nach der Ernte kann im gleichen Arbeitsgang oder im Frühjahr des nächsten Jahres das Ranksystem für die neue Vegetationsperiode ebenso ohne maschinellen Aufwand installiert werden. Das System wurde mittels Lebenszyklusanalyse (eng. life assessment analysis (LCA)) bezüglich des ökologischen Fußabdrucks optimiert (vgl. Kapitel 3.1). Zudem wurden zwei Regenwasser-Bewässerungssysteme entwickelt, mittels derer Regenwasser von den Schuldächern abgeleitet und aufgefangen wird (Abbildung 6). Die entwickelten Systeme erleichtern nicht nur die Wartung, sondern haben auch eine deutlich höhere Wassernutzungseffizienz als beispielsweise Tropfbewässerungssysteme (Dahm et al., 2021). Der drucklose Betrieb des Bewässerungssystems ohne

Stromanschluss ermöglicht den Einsatz in abgelegenen/„netzfernen“ Anwendungen. Das erste System kann auch modifiziert und als Tropfbewässerung oder als andere Bewässerungsform eingesetzt werden. Die mit Solarzellen betriebene Pumpe verbindet die Vorteile der autarken Bewässerung mit der Möglichkeit der Verteilung über größere Entfernungen und Höhen. Das zweite Bewässerungssystem als rustikale, wartungsarme/einfache Grundwasserbewässerung hat ohne Pumpe die Vorteile, dass sie leicht von ungelerntem Personal repariert werden kann.

Für das konkrete Design der Fassadenbegrünungssysteme an den drei Berliner Schulen erstellten Studierende der Landschaftsarchitektur und Umweltplanung Fassadenbegrünungsentwürfe für die ausgewählten Schulwände (bspw. Abbildung 7 und Abbildung 8). Die Schulgemeinschaft wurde sodann im Sinne einer co-kreativen Planung über Planungsworkshops und Online-Umfragen in die Entwurfsphase und den Entscheidungsprozess eingebunden. Durch diese aktive Mitgestaltung wurden co-kreativ verschiedene Perspektiven beleuchtet und ein Austausch gefördert.

Da die Installation der Fassadenbegrünungen an den Schulen eine Baugenehmigung bedurfte (siehe Kapitel 7.2), wurden die gewählten Fassadenbegrünungsdesigns zunächst provisorisch installiert. An einer Schule wurde ein sich an der Fassade befindendes Pflanzenbeet für die Rankpflanzen genutzt, während an zwei anderen Schulen gebrauchte Intermediate Bulk Container (IBCs) als Pflanzgefäße genutzt wurden. Diese wurden dann zusammen mit den Schülerinnen, Schülern und Universitätsstudierenden befüllt und bepflanzt. Weitere IBCs dienten auch als Bewässerungszisterne für die entwickelten Regenbewässerungssysteme. Um die IBCs ästhetisch zu integrieren, wurden sie schließlich mit Holz verkleidet. Zuletzt



Abbildung 5: Begrünungssystem des FaBiKli-Projekts – die Biomasse kann herabgelassen und vom Boden aus geerntet werden (© Y. Dahm).

wurden DIY-Wetterstationen an den Fassadenbegrünungen eingerichtet, um die Systeme zu überwachen und die Daten (Außenwand- und Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, solare Strahlungsintensität und Zisternenfüllstand) auf einen öffentlichen Server hochzuladen.



Abbildung 6: Schwimmventil in einer Zisterne, um die Zisterne vor dem Überlaufen zu hindern (© Y. Dahm).

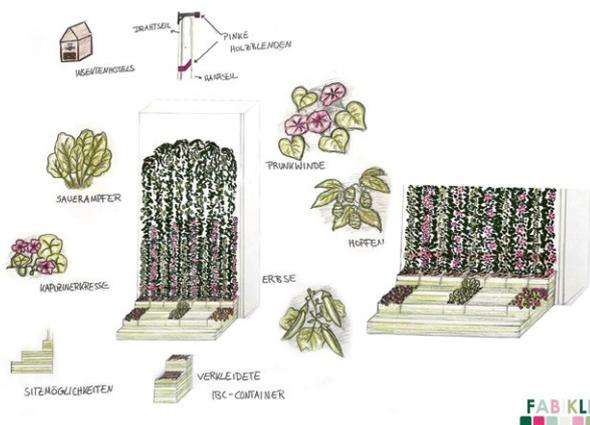


Abbildung 7: Entwurf für eine Begrünung der Studierenden des Studienganges Landschaftsbau und Architektur der TU Berlin, Sommersemester 2022 (© Goertz, Freese, Rodrigues, Eyer und Rispler).

Für die langfristige Pflege der Systeme wurden Lehrkräfte zur Durchführung der spezifischen Pflege- und Wartungsaufgaben durch das Projektteam geschult, wie etwa dem Bewässern und dem Herablassen und Hochziehen der Fassadenbegrünungseile. In Schulen kann die Pflege und Wartung auch pädagogischen Wert haben, wenn diese Aufgaben in den Unterricht integriert werden. Im Falle des FaBiKli-Systems beinhaltet die Pflege ein Ernten der Seile gemeinsam mit der daran gewachsenen Biomasse und ein Wiederanbringen neuer Seile. Diese Arbeit nimmt mit etwas Übung etwa 30 Minuten ein und lässt sich von ein bis zwei Personen durchführen. Die Seile werden dabei mit „geerntet“ und können beispielsweise im schuleigenen Kompost kompostiert oder auch energetisch verwertet werden (siehe Kapitel 3.3).

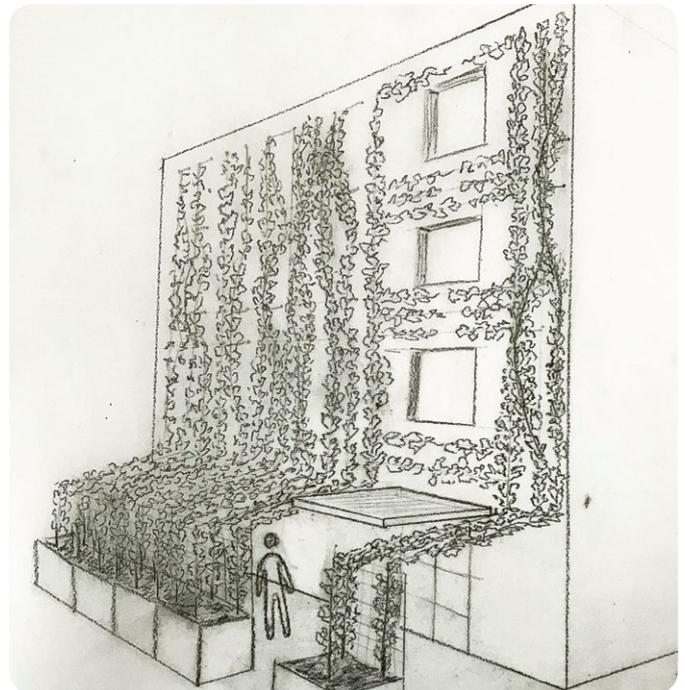


Abbildung 8: Entwurf für eine Begrünung der Studierenden des Studienganges Landschaftsbau und Architektur der TU Berlin, Sommersemester 2022 (© Durmaz, Jimin, Potje, Ruß und Holder).

3. FASSADENBEGRÜNUNGEN FÜR URBANEN KLIMASCHUTZ

Vor dem Hintergrund der Erschließung ungenutzter Flächen zur Biomasseproduktion mit anschließender Option auf stofflicher oder energetischer Biomasseverwertung, wurde das Potenzial von Fassadenbegrünungen für den urbanen Klimaschutz im FaBiKli-Projekt aus dreierlei Hinsicht beleuchtet. Einerseits wurden a) die Fassadenbegrünungen in ihrer Gesamtheit betrachtet, um direkte und indirekte Aspekte für

Treibhausgas (THG)-Emissionsminderungen zu identifizieren. Des Weiteren wurde b) das Potenzial verschiedener Verwertungsszenarien der Biomasse, wie etwa zu einer klimaneutralen Energieerzeugung genutzt zu werden, bewertet, sowie c) das CO₂-Sequestrierungspotenzial aus der angewachsenen Biomasse bewertet.

3.1 DIREKTE UND INDIREKTE TREIBHAUSGASEMISSIONS-MINDERUNG

THG-Emissionsminderungen durch Fassadenbegrünungen können aus mehreren Ökosystemdienstleistungen der Pflanzen resultieren. Beispielsweise mittels der Kapazität der Pflanzen Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre zu binden. Dabei unterscheidet sich die Klimaschutzwirkung einerseits bei unterschiedlichen Pflanzen und Pflanzenbestandteilen mit variierenden CO₂-Sequestrierungsraten. Andererseits impliziert auch die Kühlleistung der Fassadenbegrünung THG-Emissionsminderungen.

Doch erst durch eine ganzheitliche Betrachtung der Ökosystemdienstleistungen von Fassadenbegrünungen und des Ressourcenverbrauchs für ihre Systeme, kann ihr Potenzial für den Klimaschutz abgeschätzt werden. Dafür wurde im FaBiKli-Projekt eine Lebenszyklusanalyse erstellt, d.h. eine Gesamtbilanz (Ökobilanz) ihrer Wirkungen im Klima- und Ökosystem während Installation, Nutzung und Entsorgung. Hierfür wurden alle Klimaeinflüsse der Transporte, Materialien und Produkte, die für die Implementierung benutzt wurden, als Gesamt-Treibhausgasemission zusammengezählt und in Abbildung 9 dargestellt.

CO₂-Äq.-Emissionen für die Bereitstellung (Startjahr) pro Referenzfläche von 1,2qm

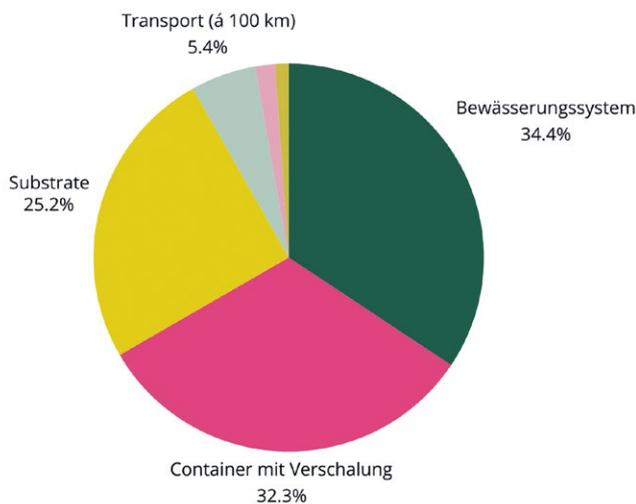


Abbildung 9: Einfluss der jeweiligen Produkte auf die Lebenszyklusanalyse im Projekt mit einer Gesamtemission bei der Implementierung von 410,8 kg CO₂ äq. Die Referenzfläche von 1,2 m² ergibt sich aus der Grundfläche eines IBCs (eigene Darstellung).

Für einen laufenden Meter Fassade wurde ein ökologischer Fußabdruck von 410,8 kg CO₂ äq ermittelt, der maßgeblich durch die verwendeten IBCs als Pflanzcontainer, das Substrat, das Bewässerungssystem und ihres Transports bestimmt wurde (siehe Abbildung 9). Noch weniger Materialintensive Systeme hätten demzufolge eine bessere Ökobilanz. Im FaBiKli-Projekt wurde vor dem Hintergrund der Ökobilanz des

Systems auf die Verwendung recycelter Materialien geachtet, beispielsweise bestehen die genutzten Rankseile und IBCs aus recycelten und wiederverwendeten Materialien. Bei der Verwendung weiterer Produkte wurde auf einen geringen CO₂-Fußabdruck geachtet, wodurch die Umwelt- und Klimaauswirkungen reduziert und die Ökobilanz optimiert werden können (Ottelé et al., 2011; Perini et al., 2021). Mit dem genutzten neu entwickelten Erntesystem (vgl. Kapitel 2.2) kann zudem der Wartungsaufwand reduziert werden, wodurch ebenfalls Ressourcen gespart werden können, wie etwa durch das Wegfallen von Hebebühnen oder anderen Maschinen zur Pflege von Fassadenbegrünungen. Die Ökobilanz wurde vereinfacht berechnet und stellt eine Annäherung dar. So wurden weder weitere recycelte Materialien, die Emissionen, die durch die Einsparung von Wasser- durch den Verzicht auf Trinkwasser und die Ableitung von Regenwasser durch die Regenwasserbewässerung eingespart wurden, noch andere Ökosystemdienstleistungen, wie die Gebäudekühlung berücksichtigt. Dabei können Fassadenbegrünungen die höchsten Kühlleistungen unter der Gebäudebegrünung erreichen (Buchin et al., 2015), wodurch elektrische Energie eingespart werden kann. Für eine ganzheitliche Ökobilanz müssten die fehlenden Aspekte miteinbezogen werden. Living Wall Systeme (wandgebundene Fassadenbegrünungssysteme) und Gründächer schneiden in Ökobilanzen schlechter ab als die Fassadenbegrünungssysteme der TU Berlin (Ottelé et al., 2011; Tams et al., 2022). Da ein Schwerpunkt des FaBiKli-Projekts jedoch auf der Biomasse lag, wurden die potenzielle Ernte und Nutzung der Biomasse in die Ökobilanz einbezogen, um den Break-even-Punkt zu berechnen, also den Zeitpunkt, an dem sich die CO₂-Emissionen der Implementierung mit der CO₂-Sequestrierung der Biomasse ausgleichen, denn durch die kontinuierliche Bindung des in der Herstellung emittierten CO₂ können diese Emissionen wieder aufgehoben werden (siehe Kapitel 3.4).

Damit eine Fassadenbegrünung also Klimapositivität erreicht, müssen die bei Installation und Pflege entstehenden Emissionen durch ihre CO₂-Sequestrierung kompensiert werden. Bei materialintensiven und pflegeintensiven Projekten, wie komplexen wandgebundenen Systemen, ist das oft nicht möglich, da zu viele Emissionen bei Ressourcenverbrauch, Installation und Pflege emittiert werden (Raji et al., 2015; Wang et al., 2020).

3.2 QUANTIFIZIERUNG DES BIOMASSEERTRAGS UND DER KOHLENSTOFFBINDUNGSRATE

Um der Frage nachzugehen, welche Klimaschutzwirkung die Fassadenbegrünungen durch CO₂-Sequestrierung haben und verschiedene Verwertungsszenarien zu bewerten, wurden im FaBiKli-Projekt die Fassadenbegrünungen geerntet und analysiert. Hierfür wurde die Biomasse zuerst frisch geerntet, dann gewogen und getrocknet und der Wassergehalt bestimmt. Im Folgenden wird der Trockenmasse-Ertrag vorgestellt, da nur so Vergleiche zwischen Pflanzen möglich sind, deren Wassergehalte stark schwanken können.

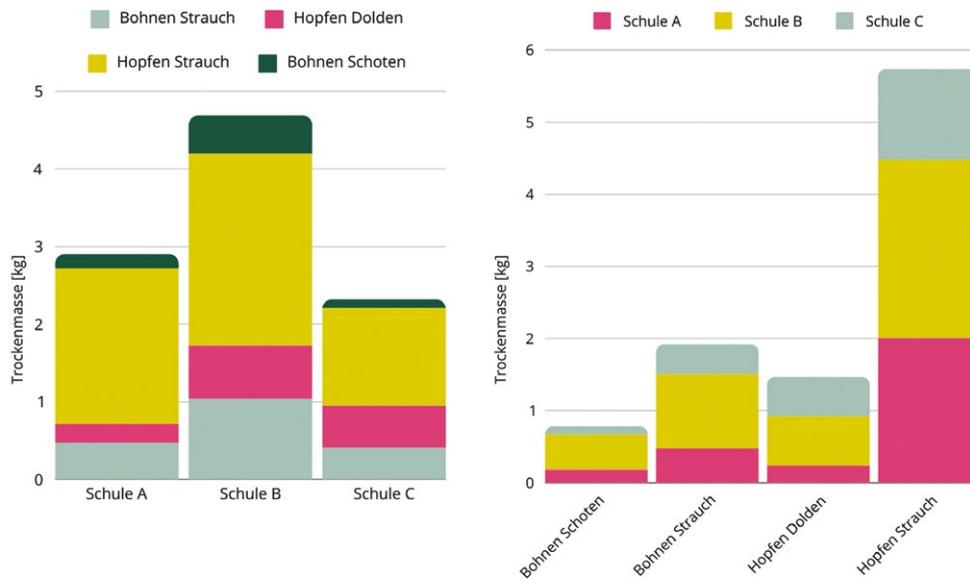


Abbildung 10: Trockenmasse der Biomasseernte an den drei Schulen (links) und für die unterschiedlichen Pflanzenbestandteile (rechts) in 2023 (eigene Darstellung).

BIOMASSEERTRAG

Der Biomasseertrag wurde während der Laufzeit des FaBiKli-Projekts an allen drei Projektschulen in allen drei Projektjahren analysiert. Die im Jahr 2022 gesetzten Jungpflanzen produzierten ein noch geringes Biomassepotenzial von 1,1 kg, 1,2 kg und 0,3 kg Trockenmasse für die Schulen A, B und C. Im Jahr 2023 wurden höhere Biomasse Erträge produziert (Abbildung 10). Die Hopfensträucher machen im Vergleich zu den Bohnen den Hauptbestandteil der Ernte aus. Generell war jedoch an Schule C ein verringerter Biomassezuwachs in der Mitte der Fassade zu beobachten (Abbildung 11). Es wird vermutet, dass dies mit der Aktivität auf dem Fußballplatz

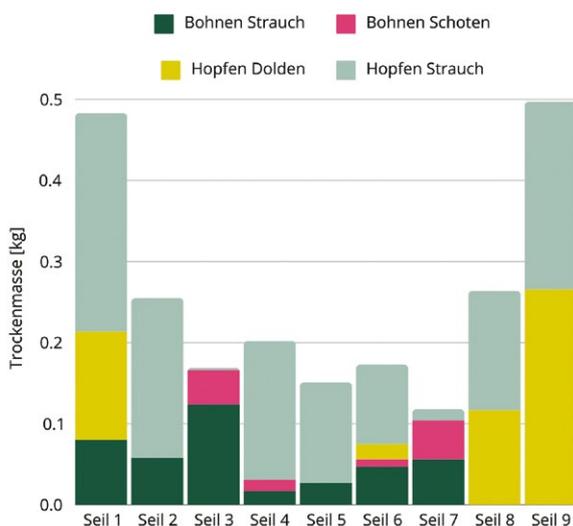


Abbildung 11: Trockenmasse der Ernte an Schule C im Jahr 2023 (eigene Darstellung).

neben der Fassadenbegrünung zu tun hat und die Pflanzen durch die Fußbälle Schaden nahmen.

Die Ernte im Jahr 2024 erzeugte vergleichbare Produktionsraten. Die Schulen A und B erzeugten weiterhin die gleichen Produktionsraten an Hopfenstrauch. Die Menge der Dolden an Schule A verdoppelte sich zu Jahr 2023, während sich die Menge der Dolden an Schule B halbierte, da die Bohnen im Unterricht der Schulen verwertet wurden, weshalb hierzu keine Biomassedaten für das Jahr 2024 zur Verfügung stehen. Schule C erzeugte weiterhin signifikant weniger Biomasse als die anderen beiden Schulen, was mit dem Fußballplatz in Zusammenhang gebracht wurde. Aus diesem Grund wurde von einer weiteren Begrünung an dieser Fassade abgesehen.

Feuerbohne und Hopfen sind landwirtschaftlich angebaute Pflanzenarten, deren Biomasse und Fruchtertrag in der Literatur beschrieben sind (Mozny et al., 2009; Munteanu et al., 2013). Es wurden zwar zahlreiche Studien zur Biomasseproduktion an grünen Wänden durchgeführt, die wissenschaftliche Literatur wird jedoch von Studien über die Biomasseproduktion von wandgebundener Fassadenbegrünung dominiert (siehe Tabelle 1), während über bodengebundene Fassadenbegrünungen nur wenige Informationen verfügbar sind. Mahabadi & Arenz (2000) listen das Gewicht des Holzes zahlreicher ausgewachsener Fassadenbegrünungen und verschiedener Pflanzenarten auf. Und Dettmar et al. (2016) liefert eine Schätzung des Nasspflanzengewichts, um die strukturelle Stabilität von Fassadenbegrünungen zu berechnen.

BESTIMMUNG DER KOHLENSTOFFBINDUNGSRATE

Unter Berücksichtigung des Kohlenstoffanteils der jeweiligen Fassadenbegrünungspflanze und deren Bestandteile kann über die Trockenproduktionsrate die jährliche Kohlenstoffbindungsrate bestimmt werden. Hierfür wurde der Kohlenstoff-

anteil der jeweiligen Pflanzen auf die Gesamtmasse und das aufgenommene CO₂ übertragen. Die Daten der drei Schulen wurden noch um Daten aus den Forschungsfassaden der TU Berlin ergänzt. Die Feuerbohne zeigte hier besseren Wuchs als an den drei Schulen.

Die einzige verfügbare Literatur über die Trockensubstanz-Produktionsraten von Fassadenbegrünungen von Jiang et al. (2023) zeigt deutlich höhere Werte als unsere Messungen (siehe Tabelle 1). Dies könnte auf die untersuchte Pflanzenart (Chinesischer Blauregen), die potenziell noch höhere Produktionsraten aufweist oder einen unrealistischen Modellierungsansatz zurückzuführen sein. Die Ergebnisse zur Trockensubstanz-Produktion von den Fassadenbegrünungen des FaBiKli-Projektes erreichen ähnliche Bereiche aus Berichten über andere Gebäudebegrünungen (siehe Tabelle 1). Skaliert man die Ergebnisse auf landwirtschaftliche Fläche (Jankowski et al., 2020; Kranvogel et al., 2013; Morandi et al., 2016) liegen unsere Ergebnisse unter den dort aufgezeichneten Trockenmasseproduktionsraten. Auch bei forstwirtschaftlichen Flächen ist dies der Fall, während hier von leicht geringeren Trockenmasseproduktionsraten berichtet wurden (Nassi o di Nasso et al., 2010; Roehle et al., 2008). Ein Vergleich zwischen horizontal und vertikal angebauter Trockensubstanz ist

jedoch grundsätzlich problematisch, da er einen buchstäblichen Wechsel der Dimensionen beinhaltet. Während die horizontale Ebene durch Flächenkonkurrenz geprägt ist, bietet die vertikale Ebene eine hohe Verfügbarkeit von Raum, was die beiden Ansätze schwer vergleichbar macht.

Für den totalen jährlichen Biomasseaufwuchs ist auch die Pflanzhöhe entscheidend, da diese über die erzeugte Biomasse pro laufendem Meter entscheidet. Für die zwei hier beschriebenen Pflanzen ergeben sich maximale Wuchshöhen von 9 m (Feuerbohne) und 12 m (Hopfen). Diese führen dann zu Kohlenstoffbindungsraten von 1,6 kg m⁻¹ a⁻¹ (Feuerbohne) und 1,2 kg m⁻¹ a⁻¹ (Hopfen). Zum Vergleich: Ein durchschnittlicher ausgewachsener Baum bindet in etwa 24,6 kg a⁻¹ und eine Buche etwa 15,9 kg a⁻¹ (Riedel et al., 2017). Würde man nun die Kohlenstoffbindungsraten eines durchschnittlichen Baumes erreichen wollen, bräuchte man demzufolge 15,3 m laufenden Meter Feuerbohne Fassadenbegrünung und 20,1 m Hopfen Fassadenbegrünung. Und für die Kohlenstoffbindungsraten einer Buche, bräuchte man 10 m Feuerbohne Fassadenbegrünung und 13,3 m laufenden Meter Hopfen Fassadenbegrünung. Dieser jährlich anfallende Kohlenstoff kann auf viele Arten genutzt werden. Dazu zählen energetische und stoffliche Nutzungen, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

TYP	BIOMASSE-PRODUKTIONSRATE [KG M-2 YR-1]	KOHLLENSTOFF-PRODUKTIONSRATE [KG M-2 YR-1]	REFERENZ
Gründach	2.10* - 5.26*	0.88 - 2.21	(Jiang et al., 2023)
Gründach	0.4*	0.168	(Getter et al., 2009)
Gründach	15.40*	6.47	(Luo et al., 2015)
Gründach	3.02* - 73.36*	1.27 - 30.81	(Whittinghill et al., 2014)
Wandgebundene Fassadenbegrünung	0.59*	0.25	(Pulselli et al., 2014)
Wandgebundene Fassadenbegrünung	0.10* - 1.38*	0.04 - 0.58	(Marchi et al., 2015)
Wandgebundene Fassadenbegrünung	0.14 - 1.92	0.06* - 0.81*	(Serra et al., 2017)
Wandgebundene Fassadenbegrünung	0.09 - 0.73	0.04* - 0.31*	(Amaddin et al., 2020)
Bodengebundene Fassadenbegrünung	3.33*	1.4	(Jiang et al., 2023)
Bodengebundene Fassadenbegrünung	0.22 - 0.39	0.09* - 0.17*	FaBiKli-Projekt

Tabelle 1: Biomasseproduktionsraten anderer Gebäudebegrünung im Vergleich zur FaBiKli-Vertikalbegrünung. Markierte Felder (*) wurden unter der Annahme eines Kohlenstoffanteils von 42 % der Biomasseproduktionsrate auf die Kohlenstoffproduktionsrate überführt (eigene Darstellung).

3.3 POTENZIALANALYSE DER BIOMASSE- VERWERTUNGSOPTIONEN

Im Folgenden werden die verschiedenen Verwertungsoptionen der energetischen und stofflichen Nutzung hinsichtlich Energieerzeugungseffizienz bzw. Klimaschutzindex gegenübergestellt.

Biomasse leistet bereits einen bedeutenden Beitrag zur globalen Energieproduktion (Ürge-Vorsatz et al., 2015). Dabei wird die meiste aus Biomasse gewonnene Energie durch feste Biomasse erzeugt (z. B. Holz), während auch Bioöle (flüssig) und Biogas zur Bioenergie gehören. Der Gebäudesektor weist dabei den höchsten Bioenergieverbrauch auf (IEA, 2020). Während Biomasse im globalen Norden eine geringe Rolle für das Heizen spielt (15 %), beträgt der Biomasseinsatz für das Heizen im globalen Süden mehr als 50 % (Ürge-Vorsatz et al., 2015). In Deutschland werden etwa 8 % des Stroms und 18,2 % der Wärme durch Biomasse erzeugt. Das Potenzial von Biomethan (Biogas) liegt in der Substitution von Erdgas und damit in der Reduzierung von CO₂-Emissionen. Laut S. Werner (2017) macht die Verbrennung von Erdgas 40 % der weltweiten Fernwärme aus. Darüber hinaus ist die Stabilität des Stromnetzes von der Nutzung von Gasturbinengeneratoren in einer Vielzahl von Regionen auf der ganzen Welt abhängig (DiCampli & Schulke, 2013).

Für Deutschland quantifizierten Wagner et al. (2012) das urbane Biomassepotenzial Sachsens und ICU (2021) das urbane Biomassepotenzial Berlins. Der größte Teil des städtischen Grünschnitts wird allerdings kompostiert (ebd.). Doch der Klimaschutzindex der Kompostierung ist schlechter als der der Verbrennung, der Vergärung und der Kohlenstoffsequestrierung, die von ICU (2021) und Wagner et al. (2012) empfohlen werden. Für Städte ergibt sich außerdem ein hohes Kohlenstoffspeicherungspotenzial durch die Verwertung von Biomasse für Baustoffe und die Vegetation (Churkina et al., 2010). Zumindest in Deutschland lässt sich in diesem Sinne ein Paradigmenwechsel von der Entsorgung der städtischen Biomasse hin zu einer energetischen oder stofflichen Nutzung beobachten (ICU, 2021; Wagner et al., 2012).

Die Energieerzeugungseffizienz, also die erzeugte Energie im Verhältnis zum Energiegehalt des Substrates, verschiedener thermo-chemischer Verfahren variiert erheblich: Während die Verbrennung eine Effizienz von 70-100 % erreicht, liegt diese bei der Vergärung bei 10-15 %, bei der Vergasung zwischen 15-90 % und bei der Pyrolyse bei 60-70 % (Faaij, 2006). Pyrolyse und Vergasung bieten vielversprechende Möglichkeiten für die Umwandlung kohlenstoffhaltiger Materialien. Während bei der Pyrolyse Stoffe wie pflanzliche oder hölzerne Biomasse sowie Klärschlamm in Öl, Gas und Biokohle zerlegt werden, geht der thermo-chemische Prozess bei der Vergasung weiter, um auch die Biokohle in gasförmige oder flüssige Brennstoffe umzuwandeln. Pyrolyse und Vergasung zeichnen sich durch ihre Flexibilität bei der Verarbeitung unterschiedlichster Materialien aus. Beide Prozesse

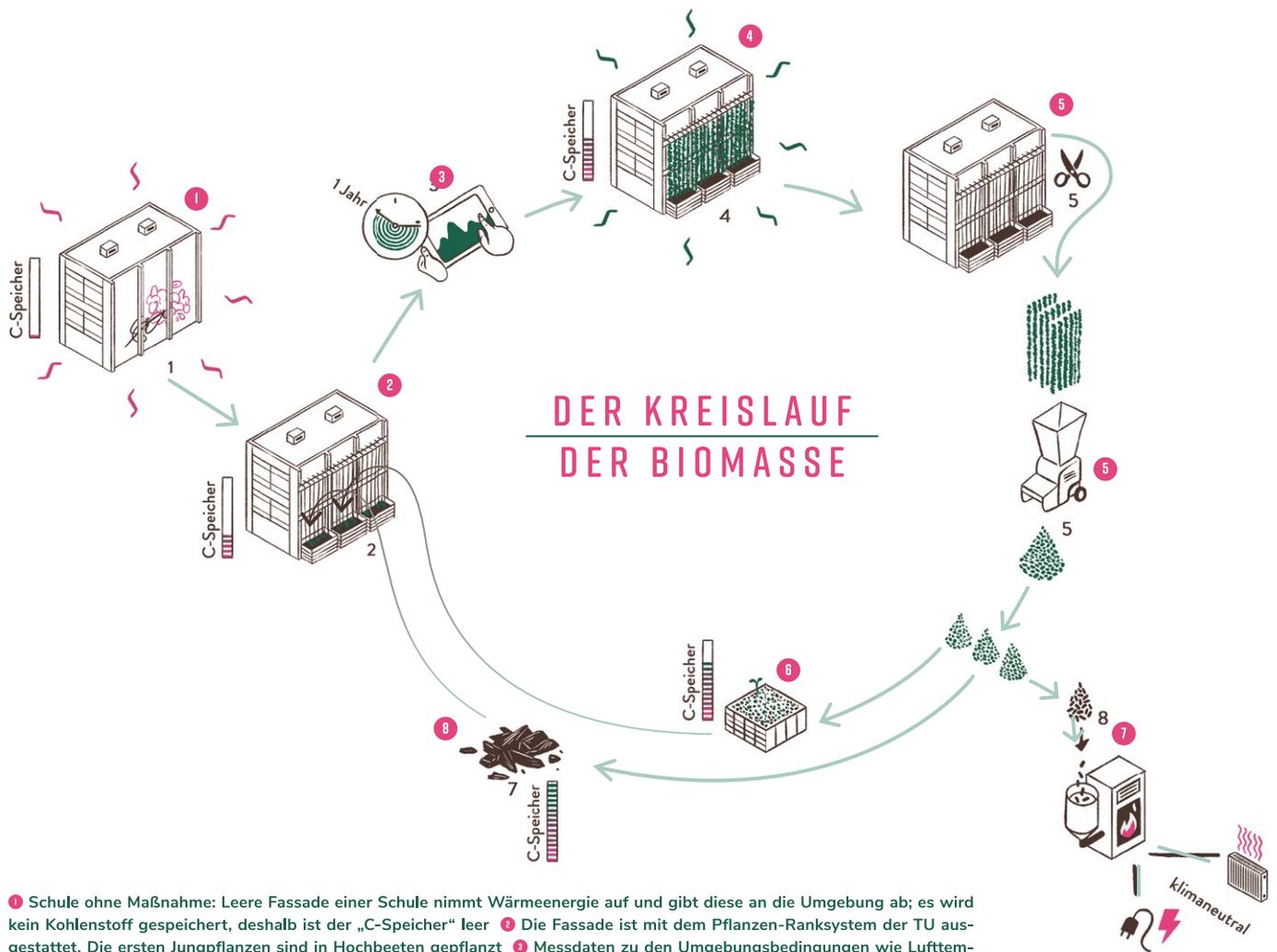
erfordern Temperaturen zwischen 300 und 900 °C, wobei sie in einer sauerstofffreien Umgebung ablaufen und spezifische Stoffe je nach Methode zugesetzt werden. Trotz des großen technologischen Potenzials stellt die Komplexität der Verfahren eine Herausforderung dar, die deren Umsetzung im industriellen Maßstab bislang verzögert hat. Insbesondere die Pyrolyse hat sich bislang aufgrund ihrer Instabilität nicht als wettbewerbsfähige Technologie durchgesetzt (Roy & Dias, 2017; Ruiz et al., 2013). Dennoch besteht die Aussicht, dass grundlegende pyrogene Verfahren in den kommenden Jahren realisierbar werden könnten. Fortgeschrittene und optimierte Prozesse, die die effiziente Umsetzung von Bioenergie sowie die Kohlenstoffabscheidung und -speicherung ermöglichen, werden jedoch voraussichtlich erst in 10-20 Jahren bzw. in mehr als 20 Jahren großflächig anwendbar sein (C. Werner et al., 2018).

Die Trockenmasse von Fassadenbegrünungen erzielt eine höhere Energieeffizienz, wenn sie direkt verbrannt wird, als wenn sie methanogen vergoren wird und das Methan verbrannt wird. Das liegt daran, dass die Mikroorganismen bei der Vergärung der Biomasse bereits Energie entziehen. Das gilt nur für die Trockenmasse, die vorher einen potenziell energetisch intensiven Trocknungsschritt benötigt. Einschlägige Literatur empfiehlt für energetische Verwertung eine methanogene Vergärung in Biogasanlagen für krautige Biomasse, während eine Verbrennung für hölzerne Biomasse effizienter ist (Wagner et al., 2012).

Im FaBiKli-Projekt wurden hierfür Brennwerte und methanogene Potenziale gemessen, die dies bestätigen. Daher ist eine Trennung dieser Komponenten energetisch sinnvoll und größtenteils jahreszeitlich abpassbar. Nachdem die Blätter im Herbst abgefallen, gesammelt und methanogen vergoren wurden, kann das restliche Holz beschnitten werden. Bei immergrünen Pflanzen wie Efeu ergeben sich potenziell effizientere Schnittregime/ Schnittfrequenzen, aber in der Literatur deutet alles auf einen jährlichen Schnitt mit höchster Effizienz hin (Kranvogel, 2013). Trotz des negativen klimatischen Einflusses bietet sich die Nutzung als Kompost im schulischen Kontext an, da die Biomasse so direkt im Kreislauf gehalten wird und weniger zugekaufte transportierte Materialien genutzt werden müssten (Abbildung 12). Auch eine durch Pyrolyse hergestellte Pflanzenkohle könnte direkt im Schulgarten verwendet werden, ist allerdings aufwendiger. Dies gilt auch für Experimente zur Biogaserzeugung und Verbrennung.

3.4 BEWERTUNG DES SEQUESTRIERUNGSPOTENZIALS

Während durch die energetische Nutzung von Biomasse maximal Klimaneutralität erreicht werden kann, ermöglicht die langfristige Abscheidung oder Sequestrierung von Kohlenstoff eine positive Klimabilanz, die auch als negative Emissionen bezeichnet werden (Dincer et al., 2020). Neben Methoden zur direkten technischen CO₂-Abscheidung aus der Luft (Madejski et



- ❶ Schule ohne Maßnahme: Leere Fassade einer Schule nimmt Wärmeenergie auf und gibt diese an die Umgebung ab; es wird kein Kohlenstoff gespeichert, deshalb ist der „C-Speicher“ leer
- ❷ Die Fassade ist mit dem Pflanzen-Ranksystem der TU ausgestattet. Die ersten Jungpflanzen sind in Hochbeeten gepflanzt
- ❸ Messdaten zu den Umgebungsbedingungen wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlungsintensität, Wasserverbrauch, Biomasseproduktion werden über die Projektlaufzeit erhoben
- ❹ Das Ranksystem ist vollständig begrünt: die Begrünung kühlt die Umgebung; es wird zunehmend Kohlenstoff in der Biomasse gespeichert, deshalb ist der „C-Speicher“ voll
- ❺ Ernten und Häckseln der abgeernteten Fassadenbegrünung als Vorbereitung für die unterschiedlichen Verwertungsarten
- ❻ Kompostierung des Erntematerials und Nutzung als Kompostsubstrat und organischen Dünger, durch die Bildung stabiler Humusverbindungen wird Kohlenstoff stabilisiert und durch immer mehr kompostierte Biomasse wird der „C-Speicher“ aufgefüllt
- ❼ Verwertung der Biomasse als klimaneutraler Energieträger zur Strom- und Wärmeerzeugung
- ❽ Herstellung von Biokohle zur Kohlenstoffspeicherung oder als Bodenverbesserer; in Biokohle wird Kohlenstoff in hohen Gehalten gespeichert, deshalb ist der „C-Speicher“ fast voll

Abbildung 12: Der Kreislauf der Biomasse im Zusammenhang mit der FaBiKli-Fassadenbegrünung (© A. Huskamp & B. Metzger).

al., 2022) umfassen die Methoden zur Kohlenstoffsequestrierung aus pflanzlicher Biomasse Verfahren wie Kompostierung, Pyrolyse oder Rohstoffgewinnung.

KOMPOSTIERUNG UND PYROLYSE

Die Kompostierung ist die häufigste Verwendung von Grünschnitt (ICU, 2021), hat aber hohe Treibhausgasemissionen und geringe Sequestrierungsraten (Martínez-Blanco et al., 2013). Höhere Sequestrierungsraten sind bei der Pyrolyse (Dincer et al., 2020) zu erwarten, die auch für krautige Trockensubstanz mit weniger alternativen Anwendungen genutzt werden kann. Die bei der Pyrolyse entstehende Biokohle kann in der Abwasserbehandlung und als Bodenverbesserung mit dem darin gebundenen Kohlenstoff eingesetzt werden (Dincer et al., 2020). C. Werner et al. (2018) analysierte die notwendige Landnutzungsänderung, die für eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 °C mit pyrogener Kohlenstoffbindung erforderlich wäre. Dies würde eine großflächige Umwandlung der natürlichen Vegetation in Biomasseplantagen erfordern,

was wiederum den Konflikt der Landnutzungskonkurrenz antriebe. Mit Fassadenbegrünungen bieten sich alternative Biomasseproduktionsflächen, die nicht in Konkurrenz zu den hart umkämpften, horizontalen Flächen stehen.

ROHSTOFFE FÜR STOFFLICHE NUTZUNG

Gusovius (2021) zeigte das Potenzial der Faser- und Holz-Trockensubstanz von Hopfen und erreichte die Produktion von Span-, Faser- (MDF/HDF) und Dämmplatten in Industriequalität. Für die Produktion von Faserplatten wäre ein höherer Holzanteil vorteilhaft. Während die Garnproduktion nicht erfolgreich war, konnte jedoch eine Vliesproduktion realisiert werden. Molesworth & Walker (2010) demonstrierten, dass auch Pflanzenreste anderer Pflanzarten für die Rohstoffproduktion von Hanf/Pflanzkalk verwendet werden können. Diese Produktion von Verbrauchsgütern verursacht jedoch keine negative Emission, da der Kohlenstoff nicht langfristig gebunden bleibt. Doch die Produktion in der Vertikalen würde keine Landnutzungskonkurrenz erzeugen. Dadurch erlaubt sie die Verlagerung der Pro-

duktion und anderweitig nutzbare Flächen können so beispielsweise für die Produktion von Holz verwendet werden. Dieses kann danach sequestriert werden und Treibhausgase speichern.

Während die hölzerne Trockenmasse von Fassadenbegrünungen bereits erfolgreich zu Rohstoffen verarbeitet wurde und die Früchte als Konsumgüter genutzt werden, ist die stoffliche Nutzung krautiger Trockensubstanz weniger verbreitet. Deshalb könnte eine energetische Nutzung dieser Pflanzteile vielversprechender sein.

NAHRUNGSMITTELPRODUKTION

Die Bohnen der Feuerbohne können als Nahrungsmittel, die Dolden des Hopfens für die Bier- und Getränkeherstellung verwendet werden. Die Triebspitzen, auch Hopfenspargel genannt, gelten als Delikatesse, wurden aber in dieser Studie nicht quantifiziert. Allerdings stellt die städtische Umwelt eine kritische Verunreinigung dar. Der Nachteil der Phytosanierungs- (Papudis et al., 2023) und Luftreinigungskapazitäten (Bustami et al., 2018) von Fassadenbegrünung ist die potenzielle Anreicherung der Schadstoffe in der produzierten Biomasse der jeweiligen Pflanze (Beacham et al., 2019).

DIE AMORTISATIONSZEIT DES FABIKLI-SYSTEMS ÜBER KOHLENSTOFFSEQUESTRIERUNG

Zuletzt wurde die Amortisationszeit des verwendeten Fassadenbegrünungssystems berechnet, also die Zeit, die es braucht, um die durch das verwendete System verursachten Emissionen durch die Fassadenbegrünungen hervorgerufenen THG-Emissionsminderungen aufzuwiegen. Würde man nun mit dem aktuellen FaBiKli Aufbau und der aktuellen Ökobilanz die komplette Biomasse der jeweiligen Pflanze sequestrieren, bräuchte man mit Hopfen 39 Jahre und Feuerbohne 41 Jahre, um die Klimapositivität zu erreichen. Die Pflanzenauswahl hat demzufolge einen signifikanten Einfluss.

Wie bereits erwähnt ist die Sequestrierung der Früchte der krautigen Biomasse weniger einfach. Würde nur die hölzerne Biomasse des Hopfens sequestriert, bräuchte man 175 Jahre und mit der Feuerbohne 31 Jahre. Hier ist jedoch noch nicht einbezogen, dass die restliche Biomasse energetisch oder stofflich verwendet werden kann. Außerdem sind in diesen Daten keine weiteren Ökosystemdienstleistungen mit einbezogen, wie beispielsweise die Kühlleistung, oder die Wasserretention. Dieser Einbezug würde die Dauer bis zur Klimapositivität weiter verkürzen.

4. FASSADENBEGRÜNUNGEN FÜR URBANE KLIMAFOLGENANPASSUNG

Neben ihrem Klimaschutzpotenzial tragen Fassadenbegrünungen insbesondere in urbanen Zentren zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels bei. Im FaBiKli-Projekt wurde diesbezüglich ihre Wirkung gegen die urbane Hitzebelastung und für das Regenwassermanagement näher betrachtet.

4.1 KÜHLUNGSEFFEKTE

Hitzestress kann gravierende Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Schon eine Temperaturerhöhung um einen Grad kann in Berlin die Zahl hitzebedingter Todesfälle bei Menschen über 65 Jahren verdoppeln (Buchin et al., 2016). Besonders bedenklich waren die Sommer 2003, in denen über 70.000 Menschen, und 2022, in denen über 60.000 Menschen in Europa an den Folgen extremer Hitze starben (Ballester et al., 2023). Der Anstieg hitzebedingter Todesfälle ist nicht allein dem Klimawandel geschuldet, sondern auch der alternden Bevölkerung und wachsenden Städten (Smoyer et al., 2000). Dabei ist die Innenraumtemperatur oft entscheidender für das Risiko von Hitzestress als die Außentemperatur (Buchin et al., 2016). Um Hitzestress zu minimieren und den thermischen

Komfort zu verbessern, stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung, wie Bäume, begrünte oder reflektierende Dächer („cool roofs“), begrünte Fassaden oder Klimaanlageanlagen. Die Effektivität dieser Maßnahmen hängt davon ab, ob sie auf die Hitzereduktion im Innen- oder Außenbereich abzielen. Klimaanlageanlagen sind beispielsweise besonders effektiv zur Bekämpfung von Hitzestress in Innenräumen, tragen jedoch zur Erwärmung im Freien bei und benötigen elektrische Energie (Buchin et al., 2015). Da der Energiebedarf für Klimaanlageanlagen in Zukunft erheblich steigen wird, besteht in diesem Bereich ein großes Energieeinsparpotenzial (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021).

Fassadenbegrünungen hingegen stellen eine umweltfreundliche Alternative dar. Die gemessenen maximalen Unterschiede der Oberflächentemperaturen von begrünten und nicht begrünten Hausfassaden an Sommertagen betragen in Südeuropa bis zu 20 K (Mazzali et al., 2013). In der Untersuchung von Hoelscher et al. (2016) von drei Kletterpflanzenarten stellten sie fest, dass diese die Wandtemperatur im Freien um bis zu 15,5 K senken können. Diese Abkühlung bewirkt eine Reduktion der Wandtemperatur in Innenräumen um bis zu 1,7 K und verringert den Kühlbedarf um etwa 30 %. Dies kann vor allem in Schulen

von Vorteil sein, wo die Raumtemperatur sowohl die Konzentration als auch den Unterrichtsbetrieb (z. B. „hitzefrei“) beeinflusst. Der Kühleffekt auf die Gebäudeoberfläche an heißen Sommertagen ist dabei weniger auf die Transpiration zurückzuführen als auf die Beschattung. Simulationen zeigen, dass eine begrünte Fassade den Energieverbrauch für Klimaanlage in kühltemperierten Zonen um bis zu 19 % reduzieren kann (Stec et al., 2005). Die Einsparungen der elektrischen Energie, die ansonsten für die Klimaanlage notwendig gewesen wären, können als direkte Treibhausgasersparungen interpretiert werden. Je nach Stromanbieter und Erzeuger fällt die jeweilige finanzielle und klimawirksame Einsparung unterschiedlich aus. Für eine wärmedämmende Wirkung im Winter ist der Einsatz immergrüner Pflanzen notwendig. Fassadenbegrünungen schützen, wenn sachgerecht ausgeführt, die Bausubstanz vor Wettereinflüssen und filtern Schadstoffe aus der Stadtluft (Thönnessen, 2006). Um ihre Kühlleistung zu gewährleisten, muss die künstlich angelegte Fassadenbegrünung instandgehalten werden. Neben einer entsprechenden Düngung bedeutet das eine Bewässerung zur Deckung der Transpirationsrate, die an heißen Sommertagen bis zu 2,5 Liter pro Quadratmeter Fassadenbegrünung entsprechen kann (Hoelscher et al., 2016).

INNENRAUMKÜHLUNG

In unseren Untersuchungen zur Innenraumkühlung mit fünf verschiedenen Pflanzenarten in verschiedenen Altersstadien waren die Auswirkungen der Transpirationskühlung der Pflanzen auf die Innenraumkühlung geringfügig: Ohne Berücksichtigung der Evapotranspiration verringerte sich das Kühlpotenzial um weniger als 2 %. Allerdings spielt der latente Wärmestrom bei großflächiger Anwendung von Fassadenbegrünungen eine bedeutende Rolle für die Kühlung der Außenumgebung (Schmidt, 2006). Die Fähigkeit der Pflanzen das Gebäude zu beschatten bestimmte hauptsächlich die Innenraumkühlung. Des Weiteren hat die Pflanzenart, alter und Physiologie einen signifikanten Einfluss auf die Innenraumkühlleistung – die Bohne kühlt beispielsweise besser als der Hopfen.

Die Kühlleistung der Pflanzen hängt von ihren physiologischen Eigenschaften ab und kann über Pflanzenparameter (z. B. Blattflächenindex, Fassadenbegrünungs-Schichtdicke, Beschattungsfähigkeit, etc.) charakterisiert werden. Die Pflanzenparameter zeigten hohe Variabilität. Bei Feuerbohne betrug die Standardabweichung des Blattflächenindex mehr als 30 %, während sie für den Sichtfaktor mehr als 70 % erreichte. Bei Messungen der Beschattungsfähigkeit wurden an einer einzelnen Fassade auch Standardabweichungen von mehr als 30 % erreicht. Die zeitlichen Schwankungen der Pflanzparameter sind sowohl jahreszeitlich als auch in längeren Trends zu beobachten. Diese Schwankungen zeigen, dass eine exklusive Kategorisierung nach Arten oder Einzelpflanzen problematisch ist, da die Oberflächen der Fassadenbegrünungspflanzen sowohl räumlich als auch zeitlich stark heterogen sein können. Diese Variationen erschweren die präzise Modellierung und sollten in künftigen Studien stärker berücksichtigt werden. Zhang et al. (2022) wiesen nach, dass die Jahreszeitlichen Variationen der Blattflächenindizes von Laubpflanzen ein erwünschter Effekt sein können, da die Beschattung in Jahreszeiten mit Hit-

zestress natürlich zunimmt. Für die Innenraumkühlung wären jedoch Transmissivitäts-Messungen über eine Vegetationsperiode aufschlussreicher.

GEBÄUDEEINFLUSS

Hoffmann et al. (2021) zeigten in ihrer Studie zudem den Einfluss von Gebäude, Grad der Isolierung, thermischer Trägheit, Exposition und klimatischen Bedingungen. In Kombination mit einer optimierten Pflanzenwahl, können so Gebäude ideal durch Fassadenbegrünungen gekühlt werden.

4.2 WASSERNUTZUNG

Dies gilt auch für die Transpirationskühlung im Außenraum, die eng mit der Wasserversorgung verknüpft ist. Der potenzielle Wasserbedarf von Fassadenbegrünung wurde bereits von Hoelscher et al. (2016) beschrieben, die außerdem zeigten, dass Knöterich ein hohes Transpirationsvermögen hat. Die Notwendigkeit eines nachhaltigen Regenwasserbewässerungssystems ergibt sich aus der potenziell drohenden Wasserknappheit, die bereits in vielen anderen Teilen der Welt die Begrünung bestimmt.

Die Bedeutung und das Potenzial der Regenwasserbewässerung und allgemein der Regenwassernutzung sind nicht auf Wasserknappheit und Dürreperioden beschränkt. In Berlin läuft die Kanalisation in der Innenstadt bei Regenereignissen häufig über. Dies wird durch die Mischwasserkanalisation noch verschärft, was zu Abwassereinleitungen (Braunwasser) in die Flüsse führt (Brandl, 2011).

Die im Rahmen des FaBiKli-Projekts installierten Zisternen können keine nennenswerten Wassermengen zurückhalten, aber wie bei anderer blau-grüner Infrastruktur entsteht das Potenzial mit dem Umfang und der Anzahl der Implementierungen. Die direkten Einsparungen durch die Zisternen und das genutzte Wasser lassen sich anhand des Preises für abgeleitetes Regenwasser bestimmen, der aufgrund der Kosten für Kläranlagen, die im Falle der innerstädtischen Berliner Mischwasserkanalisation auch das Regenwasser reinigen müssen, nur knapp unter dem Frischwasserpreis liegt (78 %)³.

Im Fall des FaBiKli-Projekts wird dieses Regenwasser zur Bewässerung von Pflanzen verwendet und verdunstet. Das Kühlpotenzial der Wassertranspiration im Freien wurde von Schmidt (2006) dargestellt. Das Kühlpotenzial von Fassadenbegrünungen in Innenräumen ergibt sich jedoch, wie bereits dargelegt, hauptsächlich aus seinen Beschattungseigenschaften (Hoelscher et al., 2016).

Direkte und indirekte THG-Emissionsminderungen der Fassadenbegrünungen ergeben erst durch großflächige Implementierung und Multiplikation ein einflussreiches Gesamtpotenzial. Hierfür ist eine Akzeptanzförderung und Aufklärung über

³ <https://www.bwb.de/de/gebuehren.php>

den Nutzen und die Risiken dieser grünen Infrastruktur unerlässlich, wenn es nicht nur bei einzelnen Leuchtturmprojekten

bleiben soll. Im folgenden Kapitel werden diese bildungsrelevanten Aspekte beleuchtet.

5. FASSADENBEGRÜNUNGEN FÜR EINE BILDUNG FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG

Im Kontext Schule können Fassadenbegrünungen nicht nur über ihre Ökosystemdienstleistungen eine Wirkung entfalten, sondern auch über ihre Integration in den Unterricht als Bildungsgegenstand. Im Forschungsvorhaben „Beteiligung und Wirkung“ konnte belegt werden, dass das praktische Erfahren von Klimaschutzmaßnahmen in der Regel stärker berührt und zu Verhaltensänderungen anregt, als dies bei der Vermittlung von Faktenwissen gegeben ist (Nachreiner et al., 2019). Darin wird insbesondere darauf verwiesen, wie wichtig es ist Lösungswissen zu vermitteln, statt mit der Vermittlung von Problemwissen den dadurch auftretenden Pessimismus bei Jugendlichen zu fördern (Nachreiner et al., 2019). Die Shell-Jugendstudie von 2024 (Albert et al., 2024) zeigt, dass 57 % der Befragten Menschen zwischen 12 und 25 Jahren der Meinung sind, dass alle ihren Lebensstandard klimafreundlicher gestalten müssten, 19 % verneinen dies (22 % sind sich unsicher) (ebd.). Die Angst vor Umweltverschmutzung ist im Vergleich zu der vorangegangenen Studie 2019 leicht zurückgegangen (von 67 % auf 62 %) (ebd.). Studien zum Umweltbewusstsein von Kindern zeigen, dass der regelmäßige Aufenthalt in der Natur eine tiefere Bindung zur Umwelt entwickelt, die bis ins Erwachsenenalter reicht (vgl. Gebhard, 2009; Wells & Lekies, 2006). Solche Erfahrungen unterstützen nicht nur die körperliche und kognitive Entwicklung, sondern auch das soziale Lernen und die Fähigkeit, Verantwortung zu übernehmen (vgl. Lude & Raith, 2014). Multisensorisches Lernen aktiviert mehrere Sinne gleichzeitig, was eine tiefere Wissensverankerung fördert (vgl. Schattenberg, 2015). Dies kann besonders durch konkrete Naturerfahrungen wie die Arbeit im Schulgarten oder das direkte Beobachten von Tieren und Pflanzen geschehen (vgl. Kolb & Kolb, 2009). Solche Methoden sind für eine effektive BNE besonders geeignet, da sie theoretisches Wissen mit praktischen Erfahrungen verbinden. In urbanen Gebieten mangelt es allerdings oft an naturnahen Erlebnisräumen.

Eine Fassadenbegrünung bietet einen solchen Naturfahrungsraum inmitten der Stadt und demonstriert zudem einen Lösungsbaustein im Kampf gegen die Klimakrise. Bei FaBiKli wurden die Schülerinnen und Schüler (SuS) in die Planung zur Umgestaltung ihres Schulhofes, in den Aufbau der Fassadenbegrünungssysteme, in die Pflanzungen und Pflege mit eingebunden. Sie erlebten die Veränderungen in ihrer unmittelbaren Umgebung. Das stärkt das Verständnis und die Wertschätzung. Eine Fassadenbegrünung vereint verschiedene Disziplinen wie

Botanik, Physik, Chemie, Architektur, Umweltwissenschaften und Technik (Abbildung 13). Dies ermöglicht es den Schulen, fächerübergreifende Projektstage zu entwickeln und ein tieferes Verständnis für komplexe Umweltfragen zu fördern. Eine Fassadenbegrünung bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Diskussion von Umweltauswirkungen und zur Umsetzung von Maßnahmen für Klimaschutz und -anpassung. Langfristig lernen die SuS nachhaltige und widerstandsfähige Städte inmitten der Klima- und Biodiversitätskrise zu schaffen. Die bewachsene Schulwand macht nicht nur Klimaanpassung durch den kühlenden Effekt erlebbar. Fassadenbegrünungen können für den Lebensmittelanbau genutzt, die Grünabfälle vor Ort kompostiert, CO₂-Sequestrierung und Biomassennutzungspotenzial für Energiegewinnung diskutiert, globale Zusammenhänge zwischen Nahrungsmittel- und Energiepflanzenanbau, der Verwendung von Rohstoffen für die Fassadenbegrünungssysteme aufgezeigt und Biodiversitätssteigerung beobachtet werden. Es ist wichtig, diese Zusammenhänge greifbar zu machen und ein Umdenken in Richtung weniger Ausbeutung von Mensch und Natur auf unserem Planeten zu bewirken.

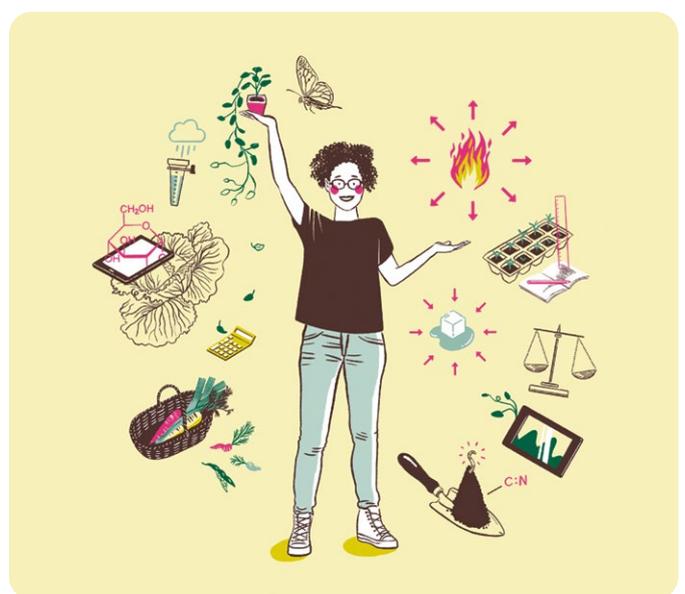


Abbildung 13: Graphische Darstellung der verschiedenen Aspekte der Bildungsarbeit rund um eine Fassadenbegrünung (© A. Huskamp & B. Metzger).

5.1 BILDUNGSANGEBOTE DES FABIKLI PILOTPROJEKTS

WORKSHOPS FÜR SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER

Die FaBiKli-Workshops sind so konzipiert worden, dass die SuS nach einem interaktiven Wissensinput mit kleinen Aufgaben, Fragen und Quiz, nach einer Anleitung in die eigenständige Arbeit gingen und abschließend das Erarbeitete und Erlernete in der Gruppe teilten.

WORKSHOPANGEBOT IM FRÜHJAHR



Im Frühjahr beteiligten sich die SuS aktiv an der Bepflanzung und Bewässerung und beobachteten das Wachstum der Pflanzen im Laufe der Saison. Dieses Engagement ermöglichte es ihnen, die Veränderungen in ihrer unmittelbaren Umgebung zu erleben und ein tieferes Verständnis und eine größere Wertschätzung zu entwickeln.

KEIMUNGSEXPERIMENT

Im Biologieunterricht zogen die SuS die Feuerbohnenpflanzen für die Fassadenbegrünungen vor. Um einen möglichen Einfluss des zur Bewässerung über die Schuldächer aufgefangenen und genutzten Regenwassers aufgrund potenzieller Schadstoffgehalte der Schuldächer (bspw. können Dachpappen Brandschutzmittel enthalten) auf das Gedeihen der Bohnenpflanzen zu untersuchen, wurden Bohnenkeimungsexperimente mit Regenwasser und destilliertem Wasser durchgeführt. Es ergab sich kein messbarer Einfluss, was für das Projekt ein positives Ergebnis darstellt, um einen Einflussfaktor durch das Wasser für die Vergleichbarkeit des Biomasseaufwachses auszuschließen.

WACHSTUMSEXPERIMENT

Die Bepflanzung der Beete der Fassadenbegrünungen mit den jährlich neu zu setzenden Bohnen wurde jährlich von den SuS vorgenommen. Dazu musste zunächst Erde nachgefüllt und etwas Komposterde eingearbeitet werden. Die SuS bekamen Pflanzanleitungen und berechneten selbstständig wie viele Bohnen mit welchen Pflanzabständen in die Beete gesetzt werden mussten. Im letzten Jahr wurden verschiedene alte Bohnensorten gesetzt und die SuS konnten im Rahmen eines Wachstumswettbewerbs die unterschiedlichen Sorten beobachten und auf ihre Eignung für die Fassadenbegrünung analysieren.

WORKSHOPANGEBOT IM HERBST



ERTEWORKSHOP

Eine Besonderheit der FaBiKli-Fassadenbegrünungssysteme stellt die jährliche Ernte dar. Der Ernteworkshop mit den SuS beinhaltete: (1) das Ernten der Biomasse und (2) die Erkundung verschiedener Nutzungsmöglichkeiten. Um die Pflanzen zu ernten (1), wurde die Befestigung gelöst und die SuS konnten die Seile herunterziehen, bis alle Pflanzen den Boden erreichten. Nach der Ernte wurden die SuS in drei Gruppen aufgeteilt, die die Pflanzen und die Biomasse aus verschiedenen Blickwinkeln untersuchten (2). Die erste Gruppe beschäftigte sich mit dem Thema Bioenergie und half aktiv bei der Vorbereitung der wissenschaftlichen Analyse des Potenzials der vertikalen Begrünung für die Bioenergieerzeugung und ihres Beitrags zum Klimaschutz durch die Fähigkeit, CO₂ aus der Luft zu absorbieren. Hierfür trennten die SuS die Bestandteile der Pflanzen in Blüten-, Blatt- und Holzteile, wogen diese ab und nahmen an einem Trocknungsversuch an der Universität teil, um den Kohlenstoffgehalt der Blattmasse zu bestimmen. Die zweite Gruppe beschäftigte sich mit dem Thema Kompost und führte ein Kompostierungsexperiment durch, das die Einflüsse verschiedener Faktoren wie Wasser, Wärme und lebende Organismen auf die Zersetzung von organischem Material veranschaulichte. Verschlussene, nicht kompostierbare Tüten (z. B. Gefrierbeutel aus Plastik) wurden bereitgestellt. Die SuS stachen Löcher in die Beutel, damit Organismen, die den Zersetzungsprozess unterstützen, eindringen konnten. Die SuS legten das organische Material in diese Beutel, vergruben sie und dokumentierten den Fortschritt der Zersetzung im Laufe eines Jahres. Die dritte Gruppe beschäftigte sich mit dem Thema Ökosysteme und Biodiversität und kartierte hierfür Pflanzen- und Tierarten auf dem Schulhof, im Schulgarten und bei der Fassadenbegrünung. Anschließend erforschten sie die Verflechtungen innerhalb der Ökosysteme, einschließlich symbiotischer oder parasitärer Beziehungen zwischen Pflanzen- und Tierarten. Zur Veranschaulichung einer Symbiose wurden ihnen die Verbindung zwischen stickstoffbindenden Bakterien und den Bohnenpflanzen in der Fassadenbegrünung vorgestellt. Älteren SuS wurden Bildungsmaterialien zur Verfügung gestellt, um die globalen Zusammenhänge der Lebensmittelindustrie und des Verlusts der Agro-Diversität zu untersuchen und die Auswirkungen auf die Menschheit zu diskutieren. Als weitere klimafreundliche Möglichkeit, die Biomasse zu nutzen, wurde eine Suppe aus Bohnen und Hopfen zubereitet und gemeinsam gegessen. Die Biomasse der Fassadenbegrünung wurde in der Projektlaufzeit weitestgehend wissenschaftlich ausgewertet, kann aber in Zukunft im schuleigenen Kompost kompostiert und die Erde zur Düngung der Pflanzen im Schulgarten wiederverwendet werden.

ONLINE-KURSE

Die Online-Kurse „Verticool“ wurden zusammen mit Lehrkräften entwickelt und orientieren sich am Rahmenlehrplan. Die Kurse liefern und testen Hintergrundwissen zu den Themen Klimakrise, Energie und Ökologie. Das Bildungsmaterial liefert auch ohne Fassadenbegrünung einen Beitrag zu transformativem Lernen und zeigt Schnittstellen zwischen folgenden Themen: Biodiversitätserhalt, lokal produzierte Nahrungsmittel, energetische Biomasse-Verwertung, CO₂-Speicherung, Heiz- und Kühlenergie, Ökosystemdienstleistungen und Konsumverhalten.

Die Kurse sind online mit Gastzugang und dem Passwort „FaBiKli“ abrufbar unter:

www.ufu.de/bildung/online-kurse/

KLIMASCHUTZAUSSTELLUNG

Die Klimaschutzausstellung umfasst eine Outdoor-Ausstellung aus Informationsplakaten⁴ und drei Hochbeeten, in denen zum Vergleich mit dem vertikalen Anbau von Biomasse an der Fassadenbegrünung verschiedene Energiepflanzen angebaut werden. Die Klimaschutzausstellung wurde in die Workshops eingebunden, um die vielfältigen Vorteile einer Fassadenbegrünung, Klimaschutz- und -anpassungsmaßnahmen, die besondere Bedeutung des Klimawandels für Städte und die Vor- und Nachteile der Nutzung von Biomasse als erneuerbare Energiequelle zu erläutern. Sie dient außerdem dem Selbststudium für alle, die sich die Plakate ansehen.

5.2 EVALUATION DER BILDUNGSARBEIT

Um die Klimaschutzwirkung des Projekts im Zuge von Verhaltensänderungen durch Bildungsmaßnahmen bewerten zu können, erfolgte eine Evaluation der Bildungsarbeit innerhalb des FaBiKli-Projekts (vgl. Günther, unveröffentlicht). Der Schwerpunkt lag dabei auf Befragungen der SuS durch Printfragebögen und der Lehrkräfte mittels Interviews zur Wirkung der verschiedenen Workshops, die an den drei Schulen durchgeführt wurden. Die Evaluation sollte folgende, auf Basis von BNE, Whole School-Ansatz und Wirkungstheorie entwickelten Hypothesen überprüfen:

Hypothese 1: Die Integration von Fassadenbegrünung in die Bildungsarbeit trägt zur Förderung umweltbewussten Verhaltens der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler bei.

Hypothese 2: Die Teilnahme am Projekt FaBiKli stößt einen Transformationsprozess in den Schulen an.

Trotz der Teilnahme von über 700 SuS an den FaBiKli-Workshops insgesamt, lag aufgrund diverser Gründe (z. B. späte Genehmigung zur Befragung oder nicht zurückgegebene Fragebögen) nur eine kleine Anzahl an auswertbaren Fragebögen vor. Durch die kleine Stichprobe (Tabelle 2) ist eine Verallgemeinerung der Ergebnisse stark eingeschränkt. Die eingesetzte Methodentriangulation, also der Einsatz verschiedener sozialwissenschaftlicher Methoden (Befragung, Interviews) und Zielgruppen mit unterschiedlicher Perspektive auf das Projekt (SuS sowie Lehrkräfte), lassen aber einen Einblick auf die Wirkung des Projekts zu. Zum Gesamteindruck der Beteiligung und des Interesses der SuS und der Lehrkräfte, wurde der Eindruck des Projektteams ergänzt.

SCHULFORM	ANZAHL DER RÜCKKLÄUFIGEN FRAGEBÖGEN	KLASSENSTUFE
Gymnasium	6	5 + 6
Gymnasium	15	10
Gymnasium	29	7 – 10

Tabelle 2: Stichprobe des Print-Fragebogen (eigene Darstellung).

WISSENS- UND INTERESSENSFÖRDERUNG DURCH PRAXISBEZUG

Der Fragebogen enthielt im ersten Abschnitt Aussagen, denen in Form einer Likert-Skala zugestimmt werden konnte (6-stufige Zustimmung von „0-stimme gar nicht zu“ zu „5-stimme voll und ganz zu“). Im Folgenden wird vereinfacht von „Zustimmung“ gesprochen als Zusammenfassung der Abstufungen „Stimme eher zu“, „Stimme zu“ und „Stimme voll und ganz zu“. Zunächst lässt sich aus den Antworten der Teilnehmenden ableiten, dass der Workshop und die Integration der Fassadenbegrünung generell positiv aufgenommen wurden. Das Thema des Workshops wurde von 87 % als spannend wahrgenommen (Frage 1.2, Abbildung 14) und scheint auf ein vorhandenes Interesse an Themen des Klimawandels und der Umwelt aufzubauen (96 % stimmten der Frage 1.4 zu). Bei den Fragen 1.5, 1.7 und 1.8 nach dem erlangten Wissen, zeigt sich mit 87 % insbesondere die Zustimmung zur Wissensaneignung zu Pflanzen in der Stadt (Frage 1.5, Abbildung 14). Demgegenüber stehen Wissen zum Klimaschutzbeitrag mit 67 % (Frage 1.7, Abbildung 14) und das Nachdenken über Essgewohnheiten mit 60 % (Frage 1.8, Abbildung 14). Ebenso zeigte sich eine hohe Zustimmung zur Bereitschaft noch mehr über Pflanzen in der Stadt lernen zu wollen (Frage 1.9, Abbildung 14). Dies deckte sich mit Aussagen der Lehrkräfte, wie etwa, dass „besonders der praktische Teil, wie das Ernten von Pflanzen, [...] gut aufgenommen [wurden]. Solche Aktivitäten machen den Schülern oft mehr Spaß als theoretische Aufgaben im Klassenzimmer. Der unmittelbare Erfolg und die sichtbaren Ergebnisse steigern das Engagement der Schüler“ (Zitat Lehrkraft in einem Inter-

⁴ Siehe www.FaBiKli.de/material

view, vgl. Günther, unveröffentlicht). Die Verteilung der Antworten der im zweiten Teil des Fragebogens angewandten Multiple-Choice Fragen zu welchem Thema sie insbesondere motiviert wurden sich zu beschäftigen (Frage 2) und in welchem Bereich sie sich durch den Workshop motiviert sehen einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten (Frage 3) zeigte ebenso die Antwortmöglichkeiten mit Bezug zu Pflanzen als meistgegebene Antwort. So würden sich knapp 35 % gerne mehr mit Pflanzen in der Stadt beschäftigen und über 30 % würden gerne eigenes Gemüse anbauen als Beitrag zum Klimaschutz (Abbildung 15).

Dies untermauert die Vorstellung, dass praxisbezogene Bildungsmaßnahmen wie das Anpflanzen von Pflanzen in der Stadt ein tiefgreifendes Verständnis bei SuS fördern können (Kolb & Kolb, 2009). Aus der generellen Bereitschaft der SuS ihre Erfahrungen aus dem Workshop mit anderen zu teilen (84 % Zustimmung, Frage 1.6, Abbildung 14) lässt sich vermuten, dass das erlangte Wissen in ihrer sozialen Umgebung verbreitet werden könnte. Außerdem zeigt es, dass der Workshop Bedeutung für die SuS hat. Insbesondere die praktischen Arbeiten mit den Pflanzen scheinen positive Emotionen hinterlassen zu haben. Dies fördert, insbesondere im Kindesalter, langfristig umweltbewusste Verhaltensweisen (Wells & Lekies, 2006).

BEWUSSTSEINSBILDUNG UND FÖRDERUNG VON HANDLUNGSKOMPETENZ

Das FaBiKli-Projekt wurde in Form von Garten-AGs in den Schulbetrieb integriert. Eine Lehrkraft bestätigte: „Das Projekt trägt zur Bewusstseinsbildung bei und ist Teil der kontinuier-

lichen Bemühungen, eine nachhaltigere Schule zu werden“ (Zitat Lehrkraft in einem Interview, vgl. Günther, unveröffentlicht). Viele SuS gaben in Frage 1.12 an, dass sie die Schule als einen bedeutenden Ort sehen, an dem sie lernen können, wie sie sich für den Klimaschutz engagieren können. Dieser hohe Zuspruch unterstreicht auch die Verantwortung und Bedeutung, die Schulen nicht nur als Vermittler von Wissen, sondern auch als Beteiligte am Wandel haben. Weiterhin wurden der Einsatz von Temperaturmessgeräten und das Testen von Wärmebildkameras in den Workshops als positives Merkmal bei den offenen Antworten genannt (vgl. Günther, unveröffentlicht). Holst et al. (2024) weisen darauf hin, dass bei Nutzung praktischer Ansätze das Wissen in konkrete Handlungskompetenzen umgesetzt wird. Derartige Verknüpfungen sind von besonderer Bedeutung, da sie einem nachhaltigen Handeln ebenso über die Grenzen des Klassenraums hinaus den Weg ebnen sowie sie auch auf das langfristige Verhalten wirken. Eine Lehrkraft bestätigte diese Hypothese: „[...] Manche SuS zeigen Interesse an Themen wie Klimaschutz und Insektensterben, wenn sie praktisch arbeiten und die Auswirkungen sehen. Das Projekt bietet die Gelegenheit, sich mit diesen Themen auseinanderzusetzen, und fördert das Interesse, auch außerhalb der Schule“ (vgl. Günther, unveröffentlicht). In Bezug zur langfristigen Wirkung, hob eine Lehrkraft im Interview einen weiteren Aspekt hervor, den sie an externen Bildungsprojekten schätzt: „Das Projekt unterstützt die Schüler bei der Interessenfindung und gibt ihnen die Möglichkeit, sich frühzeitig mit zukünftigen Studien- und Berufswahlen auseinanderzusetzen.“ (Zitat Lehrkraft in einem Interview, vgl. Günther, unveröffentlicht).

Die praktischen Erfahrungen im Projekt tragen somit nicht nur zur Förderung des Umweltbewusstseins der SuS bei,

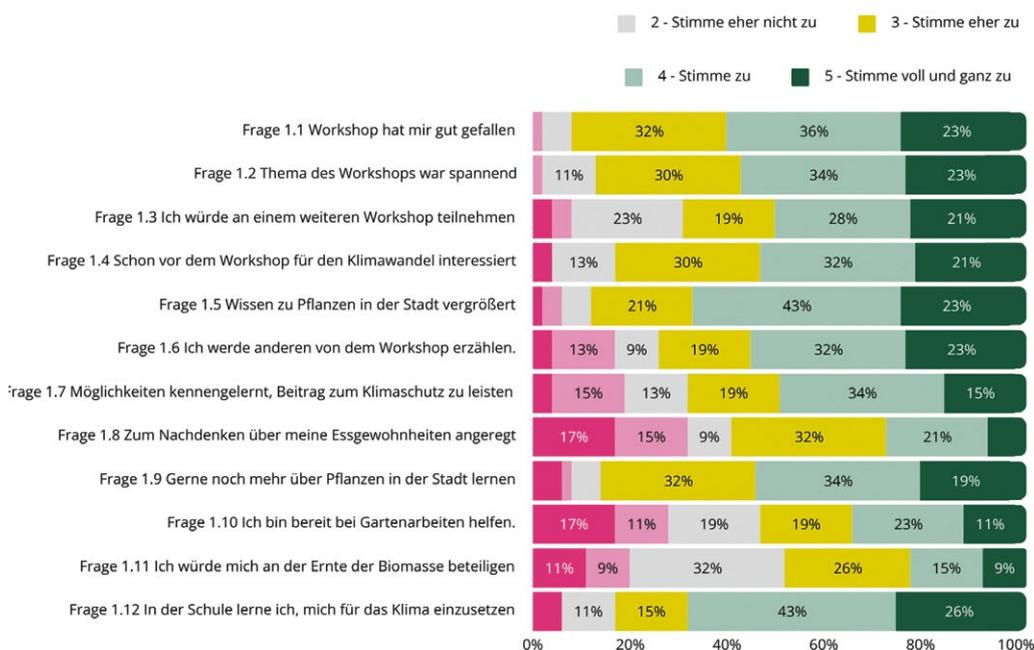


Abbildung 14: Fragebogenantworten der Fragen 1.1 - 1.12 der Likert Skala in Prozent. Die Fragestellungen sind hier in Kurzform dargestellt (eigene Darstellung).



Abbildung 15: Verteilung der Antworten auf Multiple-Choice Frage 2 (links) und Frage 3 (rechts) in Prozent (eigene Darstellung).

sondern es wurden auch konkrete Maßnahmen zur Nachhaltigkeit ergriffen. Das Regenwasserauffangsystem des Projekts wurde zum Beispiel von einer Lehrkraft nachgebaut, um zusätzliches Wasser zur Bewässerung des Schulgartens zu sammeln. Diese Form der Imitation und Weiterentwicklung von Projektkonzepten betont, dass die Bildungsarbeit des FaBiKli-Projekts nicht nur Wissen vermittelt, sondern auch langfristige Handlungsfähigkeiten fördert, die über die Projektdauer hinaus anwendbar sind. Eine weitere Lehrkraft betonte, dass es „persönlich motiviert [], da ich neue Ideen bekomme und auf Konzepte zurückgreifen kann, die aus einem anderen Blickwinkel entwickelt wurden.“ (Zitat Lehrkraft in einem Interview, vgl. Günther, unveröffentlicht). Zu Projektbeginn wurden Preisgelder an die Schulen vergeben, die sich um die Teilnahme am Projekt bemüht hatten. Ohne Hinweis zur Verwendung dieser Gelder, wurden diese u.a. zum Ausbau oder zur Umgestaltung der Schulgärten genutzt. Somit konnte das FaBiKli-Projekt neben der Fassadenbegrünung zu weiteren Schulhofbegrünungen beitragen.

Liefländer et al. (2013) zeigen in ihrer in den Altersgruppen 9-11 und 11-13 Jahren durchgeführten Studie zur Verbundenheit mit der Natur und der Wirkung von Umweltbildungsaktivitäten, dass die Verbundenheit mit der Natur bei Kindern bis zu 11 Jahren höher ist als in den Jahren danach. Außerdem ist die Wirkung der Umweltbildungsmaßnahme auf die Verbundenheit mit der Natur langfristiger bei der jüngeren Altersgruppe. Dieser Eindruck bestätigte sich im FaBiKli-Pro-

jekt. Das Interesse- und Aufgeschlossenheitsniveau bei den SuS der 5. bis 6. Klasse war höher als bei den SuS der 7. und 8. Klasse, stieg aber nach der 10. Klasse wieder an. Umso wichtiger ist es Workshops auf das alters- und entwicklungsbedingte Interesse der SuS anzupassen, was auf Grund der wechselnden Klassen und Formate, in denen die Workshops angeboten wurden (Projektwoche, Garten-AG, Unterrichtsstunde), nicht gut umgesetzt werden konnte. Das zeigen auch die heterogenen Eindrücke in den offenen Antworten mit Antworten auf das Gefallen des Workshops wie „zu lang“ und „zu kurz“ (vgl. Günther, unveröffentlicht).

Die Lehrkräfte wünschen sich eine stärkere Integration solcher Projekte mit kontinuierlichen Angeboten, um einen dauerhaften Effekt zu erzielen und um mit einer an die Klassen individuell angepassten didaktischen Vorbereitung besser auf die Stärken und Schwächen der SuS eingehen zu können. Des Weiteren war das Interesse groß an den wissenschaftlichen Erkenntnissen und der Wunsch mehr in Datenerfassung und -auswertung des Projekts eingebunden zu sein.

Hinsichtlich Hypothese 1 zeigt sich somit, dass die Umsetzung des FaBiKli-Projektes durchaus zu mehr nachhaltigem Verhalten motiviert, dieses aber insbesondere an die praktischen Workshop-Themen gekoppelt ist. Hypothese 2 konnte dahingehend bestätigt werden, dass weitere Schulhofbegrünungen und eine weitere Regenwasserbewässerung umgesetzt wurden.

5.3 TREIBHAUSGASEMISSIONS-EINSPARUNGEN DURCH DIE BILDUNGSARBEIT

Im FaBiKli-Projekt ergeben sich weitere indirekte THG-Emissionsminderungen durch die Wirkung der Bildungsarbeit im Projekt. Diese lassen sich jedoch schwer quantifizieren, da einerseits langfristige Auswirkungen von Bildungsmaßnahmen meist nicht erhoben werden und andererseits zwar abgefragt werden kann, welche Verhaltensveränderungen die Maßnahmen hervorrufen, aber eine Überprüfung des tatsächlichen Verhaltens nicht stattfinden kann. Dennoch soll die hier vorgenommene Projektion als Annäherung die Bedeutung von Bildungsarbeit unterstreichen.

Die potenziellen THG-Emissionsminderungen durch die spezifische Bildungsarbeit in FaBiKli wurden auf Grundlage der Arbeitshilfe zur Ermittlung von THG-Emissionsminderungen des BMWK⁵ sowie der Einsparungswerte in den Bereiche Wohnen & Strom, Mobilität, Ernährung und sonstiger Konsum des CO₂-Rechners von Greenpeace⁶ ermittelt. Auf dieser Berechnungsgrundlage wurden im ersten Schritt die potenziellen Einsparungen durch die Maßnahmen mit Hilfe von Richtwerten für Effektivität, durchschnittlichen Einsparungswerten und der angenommenen Wirkdauer mit der Anzahl der Teilnehmenden an den FaBiKli-Bildungsmaßnahmen multipliziert (Gleichung 1). Anschließend wurden die potenziellen Einsparungswerte mit den Ergebnissen aus der Evaluation der Bildungsarbeit wie folgt kombiniert. In den Fragen 2 und 3 der Evaluation wurden die Teilnehmenden gefragt mit welchen Klimaschutz-Themen sie sich in Zukunft beschäftigen wollen

und zu welchen Verhaltensänderungen sie motiviert wurden (vgl. Kapitel 5.2). Für die Kombination mit den Einsparungswerten wurden nun die prozentualen Häufigkeiten dieser Antworten mit den potenziellen Einsparungswerten multipliziert (Gleichung 2). Dadurch, dass die Teilnehmenden nur eine Antwort ankreuzen konnten und nicht – wie in unserer Planung angenommen – Verhaltensänderungen in allen Teilbereichen prozentual angegeben wurden- verringern sich die THG-Emissionsminderungen im Vergleich zu den im Vorhinein bestimmten Werten. Sie können daher als untere Abschätzung gewertet werden. In Abbildung 16 sind die so berechneten CO₂-Einsparungen aller FaBiKli-Bildungsmaßnahmen in Tonnen dargestellt. Insgesamt könnten die Bildungsmaßnahmen berechnet über eine maximale Wirkdauer von 5 Jahren so knapp 7.000 t CO₂ einsparen.

- E_d = Durchschnittliche Emissionswerte Deutschland
- E_E = Auf Grundlage des CO₂ Rechners bestimmte Einsparungswerte
- $EMin_p$ = Potenzielle Emissionsminderung durch Bildungsmaßnahmen
- $Eval_v$ = Verteilung der Evaluationsantworten zur Bereitschaft zum Einsparen in den unterschiedlichen Einsparungsbereichen
- $EMin_{ev}$ = Evaluierter Emissionsminderung durch die Bildungsmaßnahmen

Gleichung 1: $EMin_p = E_d - E_E \times TN \times \text{Effektivität} \times \text{Wirkdauer}$

Gleichung 2: $EMin_{ev} = EMin_p \times Eval_v$

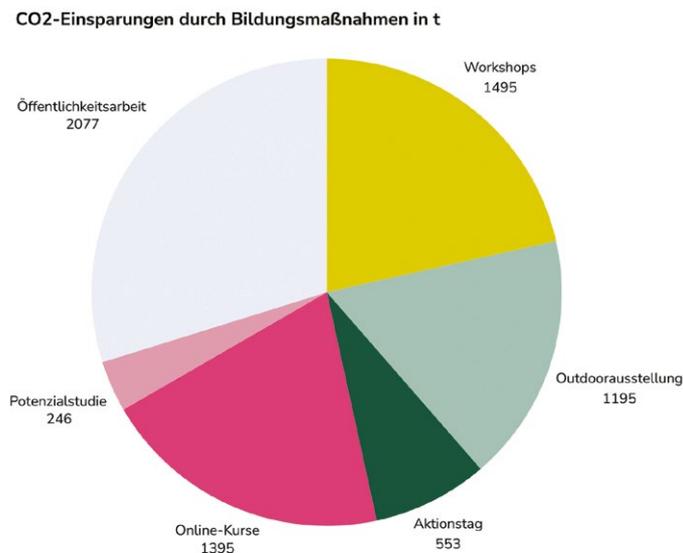


Abbildung 16: CO₂-Einsparungen durch FaBiKli-Bildungsmaßnahmen in Tonnen mit insgesamt 6.963 t (eigene Darstellung).

⁵ https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/mediathek/dokumente/06_2024_BMWK_NKI-Arbeitshilfe_zur_Ermittlung_der_THG_Minderung.pdf

⁶ <https://co2-schulrechner.greenpeace.de/willkommen>

6. IMPLEMENTIERUNGSBARRIEREN INTEGRATIVER FASSADENBEGRÜNUNG AN BERLINER SCHULEN

Auf Umfragen beruhende Studien zur Akzeptanz von Fassadenbegrünungen zeigen, dass sowohl in den befragten Gruppen, die in einem Gebäude mit Fassadenbegrünung arbeiten oder leben als auch in der Gruppe, die keinen solchen direkten Bezug haben, Fassadenbegrünung als mehrheitlich positiv eingeschätzt werden. Diese Einschätzung bezieht sich vor allem auf die Vorzüge des persönlichen Wohlbefindens (ästhetische, psychosoziale und klimatische Vorteile) und die ökologischen Vorteile (S. A. Schlößer, 2003). Schlößer (2003) legt daher als wichtige Schlussfolgerung dar, dass positive Einflüsse auf das persönliche Wohlbefinden in der Kommunikation hervorgehoben werden sollten, um zu einer Akzeptanz beizutragen. Weitere Studien zeigen, dass die öffentliche Wahrnehmung und Akzeptanz von Fassadenbegrünung maßgeblich von fehlendem Wissen und einem Mangel an Erfahrung geprägt sind. Dies resultiert beispielsweise in Sorgen vor einer Zunahme an Insekten, erschwerten Renovierungsarbeiten, verstopften Dachrinnen und Fallrohren, Laubfall und -entsorgung, Verdunkelung der Zimmer, häufigem Zurückschneiden, Fassadenschädigungen oder dem Brandrisiko durch die Begrünung (Löschmann, 2001; Magliocco & Perini, 2015; Schlößer, 2003).

Der BuGG-Marktreport Gebäudegrün von 2023 zeigt, dass Fassadenbegrünungen insgesamt an Bedeutung gewinnen. 2022 wurde beispielsweise 146.000 m² Fassadenfläche neu mit Fassadenbegrünung versehen. Auch wenn die Menge an Fassadenbegrünungen damit laufend steigt, ist der Anteil von Fassadenbegrünungen in Deutschland weiterhin gering. Insbesondere besteht ein großes, bisher nicht ausgeschöpftes Potenzial für nachträgliche Begrünungen im Gebäudebestand. Dieses Implementierungsdefizit liegt mitunter an diversen Barrieren, wie Wissensdefiziten, Kosten oder bestehenden Vorurteilen, die der BuGG in einer Umfrage im Rahmen des Forschungsprojekts „BestandsGebäudeGrün“ identifizieren konnte (Mann, 2024). Auch Kühle (2020) analysierte Barrieren der integrativen Implementierung von Fassadenbegrünung in deutschen Städten, mittels der Methodik einer Konstellationsanalyse, einem Instrument für die interdisziplinäre, lösungsorientierte Forschung zu gesellschaftlichen Themen wie Nachhaltigkeit (Ohlhorst & Kröger, 2014). Die Ergebnisse zeigen, dass Barrieren wie Unsicherheiten beim Brandschutz, bei Versicherungsfragen, bei der Anlagenauswahl und bei der Baugenehmigung auch hier auf mangelndes Wissen zurückzuführen sind. Zudem sei eine verzögerte oder zu geringe partizipative Einbindung von Expertinnen und Experten die Grundlage für eben dieses fehlende Wissen und könne dadurch in der Planungsphase

zu Problemen bei der Installation und Pflege führen (Kühle, 2020).

In den letzten Jahren seien viele Anfragen zur Begrünung von Schulfassaden beim Facility Management des Bezirks Charlottenburg-Wilmersdorf gestellt worden, jedoch ohne dass es zu Realisierungen kam (Mitarbeiter*in Facility Management Bezirksamt Charlottenburg-Wilmersdorf, persönliche Kommunikation, 18.09.2023). Dies deutet auch in Berlin auf bestehende Implementierungsbarrieren hin, sodass im Rahmen des FaBiKli-Projekts, angelehnt an die Studie von Kühle (2020), mit Hilfe der Methodik der Konstellationsanalyse, Interviews und Diskussion mit Stakeholdern eine systematische Analyse der Prozessbarrieren der Implementierung von Fassadenbegrünung auf den Kontext Schule übertragen wurde (siehe Hankel, unveröffentlicht). Dadurch sollte an einer der FaBiKli-Projektschulen exemplarisch untersucht werden, welche Akteure im schulischen Kontext bei der Implementierung von Fassadenbegrünungen beteiligt sind, welche Barrieren den Implementierungsprozess beeinflussen, wie sich diese kategorisieren lassen, welche Lösungsansätze aus Sicht der Akteure bestehen und welchen identifizierten Barrieren sich diese Lösungsansätze zuordnen lassen. Um die Relevanz der einzelnen Barrieren zu differenzieren, wurde eine gewichtete Kategorisierung der Barrieren in „Hemmnisse“ und „Hindernisse“ vorgenommen. Unter „Hemmnissen“ werden dabei Einflussfaktoren verstanden, welche den Prozess vorübergehend verlangsamen oder behindern können und damit die Effizienz des Vorhabens beeinträchtigen. Für Hemmnisse existieren Handlungsmöglichkeiten, um diese zu überwinden. „Hindernisse“ hingegen können den Prozess in einer Weise blockieren oder langfristig verzögern, sodass eine erfolgreiche Implementierung der Fassadenbegrünung nicht im Rahmen der ursprünglichen Zeit- und Budgetplanung erreicht werden kann.

6.1 IMPLEMENTIERUNGSBARRIEREN

Mit etwa einem Drittel der identifizierten Barrieren machten organisatorische Barrieren den Großteil der Barrieren im Implementierungsprozess aus. Auch technische Einflussfaktoren haben den Prozess im Vergleich zu den weiteren Kategorien häufiger gehemmt. Betrachtet man die einzelnen Prozessschritte der Implementierung der Fassadenbegrünung, so haben über zwei Drittel der Barrieren primär in der Planungsphase gewirkt und damit deutlich mehr als in allen

anderen Prozessschritten zusammen. Der Großteil der Barrieren der Planungsphase waren zudem organisatorischer Natur. Die Gewichtung der Barrieren zeigte zudem, dass ca. ein Viertel der Barrieren als erhebliche Hindernisse gewertet wurden, die zu einem Vorhabenabbruch hätten führen können. Die meisten dieser Hindernisse wirkten ebenfalls in der Planungsphase. Demnach wurden gerade in der Planung viele Stellschrauben zur Verbesserung des Implementierungsprozesses von Fassadenbegrünungen an Schulen wahrgenommen.

Dabei kristallisierte sich die Baugenehmigung als eine der zentralen Barrieren einer stärkeren Implementierung von Fassadenbegrünungsvorhaben an Schulen heraus. Dies zeigte sich quantitativ darin, dass sie zu den zwei am häufigsten genannten Prozessbarrieren gehörte. Gleichzeitig wurde sie durch die rechtliche Verpflichtung der Durchführung als Hindernis eingestuft. Außerdem steht die Baugenehmigungspflicht in direktem Kontext mit weiteren als Hindernis kategorisierten Barrieren, wie den fehlenden Zeitkapazitäten der Planungsakteure (d.h. Statiker, Brandschützer und Architekt). Auch dieses Hindernis gehörte zu den beiden am häufigsten genannten Barrieren. Gemeinsam mit dem ebenfalls als Hindernis eingestuften Haftungsrisiko und fehlendem Interesse der Planer sowie den potenziell hohen Kosten für Brandschutzmaßnahmen haben diese Faktoren die Akquise der Planer deutlich erschwert und hätten im äußersten Fall das Projekt blockieren können, wenn keine Planer für die Erstellung der notwendigen Gutachten hätten gefunden werden können. Ebenfalls in diesem Kontext zu nennen sind die mehrfach genannten Barrieren der limitierten finanziellen Mittel des FaBiKli-Projekts und die fehlende Förderung der Planungskosten. Darüber hinaus stellte die Abhängigkeit von engagierten Lehrkräften und Schulleitungen eine weitere Barriere im Projekt dar. Vertreter der Verwaltung und Schule sahen darin einen maßgeblichen Einfluss sowohl auf die Initiierung des Projektstarts als auch auf die erfolgreiche Integration der Fassadenbegrünung in den Schulalltag und damit auf den nachhaltigen Projekterfolg. Diese Abhängigkeit von Einzelpersonen resultiert jedoch in einem erheblichen Risiko. Denn sinkt das Engagement oder verlassen die verantwortlichen Personen die Schule, kann dies zu Verzögerungen bis hin zum Vorhabenabbruch führen. Diese Barriere wirkte eng verknüpft mit den fehlenden zeitlichen Ressourcen der Lehrpersonen zur Vorbereitung und Durchführung der Integration der Fassadenbegrünung in den Unterricht sowie für die Pflege.

Insgesamt bestätigen die genannten Implementierungsbarrieren für Fassadenbegrünungen an Schulen die bisherigen Forschungsergebnisse anderer Studien zur allgemeinen Umsetzung von Fassadenbegrünungen. Hervorzuheben sind dabei die Parallelen in den zentralen Barrieren wie dem Brandschutz und der Baugenehmigung sowie die in vorangehenden Studien identifizierte grundlegende Barriere des fehlenden Wissens (Magliocco & Perini, 2015; Hoffmann et al., 2023; Karutz et al., 2023; Kühle, 2020; S. Schlößer, 2003). Im FaBiKli-Projekt spielten Fassadenbegrünungen im Arbeitsalltag der involvierten kaum eine Rolle, vornehmlich aus fehlenden zeitlichen Ressourcen. Wie auch bei Arnold et al. (2021) und Engel & Werther (2024) wurden fehlende Kompetenzen

der Akteure, aktuelle Forschungsergebnisse zum Brandschutz und zur Statik von Begrünungssystemen in der Praxis umzusetzen, identifiziert. Dies deutet auf eine Diskrepanz zwischen dem Stand und der Relevanz von Fassadenbegrünung in der Wissenschaft und der realen Umsetzung hin, möglicherweise auch durch einen fehlenden Wissenstransfer zwischen den Disziplinen.

Das fehlende Wissen der Akteure, wie auch der Gesamtgesellschaft, kann sich dabei auch in fehlender Akzeptanz und Motivation äußern und dadurch eine nachhaltige Implementierung von erfolgreichen Leuchtturmprojekten erschweren (Hoffmann et al., 2023; Karutz et al., 2023). Gleichzeitig stellte Kühle (2020) fest, dass fehlendes Wissen und dadurch bedingte verspätete oder gänzlich fehlende Beteiligung relevanter Akteure als maßgebliche Treiber für später auftretende Probleme wirken können. Dieses Phänomen zeigte sich auch im FaBiKli-Projekt, bei dem der Statiker erst spät in den Prozess eingebunden werden konnte. Eine frühere Einbindung, beispielsweise bereits im Designprozess, hätte später auftretende Barrieren in der Gutachtenerstellung potenziell verhindern können. Die Wechselwirkungen zwischen den gezeigten Barrieren verdeutlichen, dass durch das Auftreten einer Barriere andere Barrieren stärker ins Gewicht fallen können. Die Betrachtung der Barrieren im Einzelnen sowie der Fokus auf die Zusammenhänge zwischen ihnen verdeutlicht die Komplexität von Implementierungsprozessen und den Bedarf von Lösungsansätzen, die vor allem in der Planungsphase greifen.

6.2 LÖSUNGSANSÄTZE

Die identifizierten Lösungsansätze zeigten, dass sich der Großteil der Ansätze zwei oder mehr der identifizierten Barrieren zuordnen lässt, sodass ihr Beitrag zu einer stärkeren Implementierung von Fassadenbegrünungsprojekten an Schulen vermuten lässt. Dabei konnten Lösungsansätze, welche auf die Standardisierung von Prozessabläufen, Fassadenbegrünungssystemen und Verantwortlichkeiten abzielen, am häufigsten verschiedenen identifizierten Barrieren zugeordnet werden. Dies lässt sich allerdings zum Teil auch mit dem innovativen Pilotcharakter des FaBiKli-Projekts begründen, durch den Unklarheiten im Prozessablauf oder bezüglich Zuständigkeiten begünstigt wurden. Die Standardisierung des im Projekt entwickelten Systems, d.h. eine Typen- und Systemstatik wurde dabei von verschiedenen Akteuren als ein sinnvoller Ansatz bewertet. Denn eine Standardisierung des Seilbegrünungssystems und seiner Komponenten unter Berücksichtigung des Brandschutzes und des Verhaltens bei Extremwetterlagen im Kontext des Klimawandels könnte bei der Übertragung des Projekts auf eine andere Schule nicht nur die Installation des Systems und Sicherung der Standfestigkeit vereinfachen, sondern auch den zeitlichen und finanziellen Aufwand des Statiknachweises für die Baugenehmigung reduzieren. Dieser Lösungsansatz wirkt somit vornehmlich während der Planung und Umsetzung, gleichzeitig könnte ein standardisiertes System auch zu mehr haftungsrechtlicher Sicherheit für die Planungsakteure in der Pflege- und Nutzungsphase beitragen.

Ein weiterer in diesem Kontext genannter Lösungsansatz war, das Verfahren zur Installation eines typisierten Seilbegrünungssystems von der Baugenehmigungspflicht zu befreien. Eine Bauanzeige mit der Vorlage der notwendigen statischen und brandschutztechnischen Nachweise könnte dazu führen, dass Kosten und Zeit eingespart würden, was eine Hochskalierung des Projektansatzes begünstigen könnte.

Ein weiterer Lösungsansatz ist die Standardisierung der im Planungs- und Umsetzungsprozess involvierten Akteure, um Unklarheiten über die Zuständigkeiten und erschwerte Kommunikations- und Planungsprozesse zu vermeiden. Hier ist noch offen, wie eine optimale Konstellation von Verantwortlichen in Zukunft aussehen kann. So wurde vorgeschlagen, dass es sich um eine durch zweckgebundene Mittel für Klimaschutz und -anpassung finanzierte Kooperation des Facility Managements und dem Grünflächenamt handeln könnte. Das Facility Management könnte mit seinen Kompetenzen als Bauherr auftreten und wäre für den technischen Betrieb und die Wartung des Systems verantwortlich, während das Grünflächenamt für die Bewirtschaftung bzw. Pflege der Pflanzen zuständig wäre. Dadurch könnten die Zuständigkeiten und Kompetenzen organisatorisch und personell zentralisiert werden. Dadurch könnten auf der einen Seite die Kommunikations- und Abstimmungswege verkürzt und auf der anderen Seite die Abhängigkeit von einzelnen Schulakteuren oder auch Mitarbeitenden der Behörden reduziert werden. Andernfalls stehen, solange Fassadenbegrünung als Beitrag zur Klimaanpassung und -schutz weder Kernaufgabe noch in den Behörden mit zweckgebundenen Mitteln finanziert werden, künftige Vorhaben in direkter zeitlicher wie auch finanzieller Konkurrenz mit dem Alltagsgeschäft der involvierten Akteure.

Um die Abhängigkeit von einzelnen engagierten Lehrkräften mit knappen zeitlichen Ressourcen zu reduzieren, sollten bei-

spielsweise laut des Lehrpersonals bereits vor Projektbeginn die Verfügbarkeiten und das Interesse des Lehrkörpers abgefragt werden. Ein Wahlpflicht-Kurs oder eine Arbeitsgemeinschaft zur Fassadenbegrünung könnte ebenfalls dazu beitragen, die Aufgaben und Verantwortung breiter zu verteilen (Korjenic et al., 2020).

Hinsichtlich der identifizierten Barrieren, welche aus fehlenden Erfahrungen und Kompetenzen sowie aus Brandschutz- und Baugenehmigungsaspekten im Kontext Schule resultieren, ist aus Sicht der Planungsakteure zunächst weitere, anwendungsbezogene Forschung erforderlich, um die Bewertungsgrundlage für die Gutachtenerstellung zu verdichten. Gleichzeitig sollten aus Sicht des befragten externen Brandschützers die bereits existierenden, aktuellen Forschungsergebnisse zum Brandverhalten von Fassadenbegrünungen wie der Technischen Universität München und des Magistrat Wiens stärker in der Bewertung berücksichtigt werden. Um diese Ergebnisse zunächst offiziell zusammenzuführen, könnte laut dem projektexternen Brandschützer eine DIN zu Brandschutzanforderungen an Fassadenbegrünungen angelehnt an die DIN 4102-20:2017 zum Brandverhalten von Baustoffen entwickelt werden. Gemeinsam mit Bewertungs- und Handlungsempfehlungen einschlägiger Branchenverbände könnten die DIN in einer Datenbank zentralisiert und dadurch den Planungs- und Verwaltungsakteuren einfach zugänglich gemacht werden. Diese Plattform für den Wissenstransfer könnte zudem die von der Bauaufsicht und dem Facility Management gewünschten detaillierten Planungshilfe nach Hamburger (siehe Kapitel 7.2) und Wiener Vorbild⁷ umfassen und der Bauaufsicht als Grundlage für die Prüfung von Bauaufträgen dienen. Folglich können diese Lösungsansätze als erste Grundlage dazu beitragen, Barrieren im Implementierungsprozess abzubauen und den Erfolg von Folgeprojekten an anderen Schulen nachhaltig sichern.

7. VERSTETIGUNGSPOTENZIAL VON FASSADENBEGRÜNUNGEN IM GEBÄUDEBESTAND VON SCHULEN

Am Beispiel der Umsetzung von Fassadenbegrünungen an Berliner Schulen im Rahmen des FaBiKli-Pilotprojekts konnte aufgezeigt werden, dass bestehende Implementierungsbar-

rieren, wie den ungeklärten, bauaufsichtlichen Umgang mit Fassadenbegrünung, Wissenslücken, fehlende Kooperationsstrukturen der relevanten Akteurinnen und Akteure und

⁷ Während für Berlin keine offiziellen Hilfen zur Prozessunterstützung für Fassadenbegrünungen vorliegen, veröffentlichte die Stadt Wien 2019 basierend auf der zentralen Richtlinie der FLL zu Fassadenbegrünungen einen detaillierten Leitfaden mit praxisnahen Handreichungen zur Planung, Installation und Pflege wie auch zu den kritischen Themen wie brandschutz-, vegetations- und bautechnischen Anforderungen (FLL, 2018). Der Leitfaden enthält darüber hinaus eine Zusammenstellung von 15 häufigen Fragen zur Thematik und präsentiert Best-Practice-Beispiele (Enzi et al., 2019, S. 22). Ergänzend dazu wurde in Kooperation mit dem Bundesdenkmalamt eine Checkliste für die notwendigen Genehmigungen von Fassadenbegrünungen herausgegeben (Wien & Bundesdenkmalamt, 2019).

mangelnde zeitliche Kapazitäten, die Erfolgchancen von Fassadenbegrünungen an Schulen maßgeblich beeinflussen. Mit Bestandsbauten von Schulen und anderen öffentlichen Gebäuden bietet sich jedoch einerseits ein enormes Flächenpotenzial zur Erhöhung urbaner Stadtnatur im Kontext bestehender Flächenkonkurrenz in Siedlungsgebieten. Andererseits bietet die Integration an Schulen und öffentlichen Gebäuden ein erhebliches akzeptanz- und bewusstseinsförderndes Potenzial hinsichtlich Fassadenbegrünungen und ihrer Bedeutung im Kontext der Klima- und Biodiversitätskrisen, da die öffentliche Hand hier als Vorbildcharakter für die Gesamtgesellschaft fungieren kann. Vor diesem Hintergrund zielt dieses Kapitel mit Blick auf technische und ökologische Voraussetzungen sowie rechtliche, finanzielle und bildungsrelevante Aspekte darauf ab das Verstetigungspotenzial von a) integrativen Fassadenbegrünungen an Schulen und b) der Verwertung der Biomasse von Fassadenbegrünungen zu beleuchten. Neben der Erfüllung bestimmter Voraussetzungen sollen dabei bestehende Hürden betrachtet werden, die es abzubauen gilt, um bundesweit vermehrt Fassadenbegrünungen an Schulen umzusetzen.

7.1 TECHNISCHE UND ÖKOLOGISCHE VORAUSSETZUNGEN

Sind technische und ökologische Voraussetzungen nicht gegeben, kann von einem hohen finanziellen und zeitlichen Planungs- und Umsetzungsaufwand ausgegangen werden. Daher werden eine fachkundige Planung und Überprüfung dieser Voraussetzungen empfohlen. Fassadenbegrünpflanzen variieren in ihren Ansprüchen und Verhalten, weshalb auch der Pflanzenwahl in diesem Prozess Beachtung geschenkt werden muss.

PFLANZLICHE VORAUSSETZUNGEN

Selbstklimmende Pflanzen, wie Efeu und die dreispitzige Jungfernebe, wachsen direkt an der Fassade. Im Gegensatz zu den selbstkletternden Pflanzen benötigen rankende Pflanzen wie Knöterich, Hopfen und Feuerbohne eine Kletterhilfe, um die Fassade zu erklimmen und zu bedecken. Das Rankpflanzenverhalten reagiert auf die zur Verfügung stehenden Rankgerüste (Gianoli, 2015), was potenziell auch das Biomasse-Potenzial beeinflusst. Dettmar et al. (2016) führen die wichtigsten Rankpflanzen nach Wuchsform und Ansprüchen auf. Diese richten sich oft nach der solaren Einstrahlung und damit der Ausrichtung der Fassade. Außerdem bestimmen Pflanzenart, Wasserversorgung, Sonneneinstrahlung und Nährstoffverfügbarkeit das Wachstum der grünen Fassadenpflanzen, die eine Höhe von bis zu 30 m erreichen können (Dettmar et al., 2016).

Pflanzenarten unterscheiden sich zudem in ihrem Wasserbedarf, der auch von der solaren Einstrahlung abhängt. Als

Leguminose bindet Feuerbohne atmosphärischen Stickstoff, trägt also zum Stickstoffeintrag in das Substrat bei und wirkt als Gründüngung. Und auch weitere Nährstoffe müssen zur Verfügung gestellt werden, je nach Substrat und Pflanzenart und Wachstumsstadium. Neben Düngung kann ein Schädlingsbefall die Biomasse und Pflanzengesundheit einschränken. Dies gilt sowohl für Insekten, Pilze, als auch weitere Pflanzen. In FaBiKli haben wir ohne Herbizide, oder Insektizide gearbeitet und beispielsweise bei Blattlausbefall Marienkäferlarven als Fressfeinde verwendet.

Je nach Interesse und Bedarf der Schule, sind demnach verschiedene Aspekte bei der Pflanzwahl maßgebend, z. B. jährliche Begrünungsdauer, Erntemöglichkeit, Pflegebedarf, Essbarkeit, Abstand zur Fassade, Wasserbedarf, Nährstoffbedarf, Wuchshöhe, Lichtbedarf, usw. Als Entscheidungshilfe empfehlen wir das Stadtgrün Onlinetool für Fassadenbegrünungen des Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, mit dem je nach Standortbedingungen geeignete Pflanzen aus einem umfangreichen Pflanzkatalog ausgewählt werden können.



STANDORTBEZOGENE UND ARCHITEKTONISCHE VORAUSSETZUNGEN

Fassadenbegrünungen schließen sich an denkmalgeschützten Fassaden meist aus, da die Begrünung das Erscheinungsbild des Denkmals ändern würde, kann aber etwa mit dem Nachweis, dass das Gebäude in der Vergangenheit eine Fassadenbegrünung besaß, unter Umständen möglich sein.

Sofern Sorgen um die Beeinträchtigung der Fassade maßgeblich sind, sollte die Wahl der Fassade bei gewünschter selbstklimmender Fassadenbegrünung auf eine massive, fugen- und rissfreie Wand fallen, andernfalls ist eine Fassadenbegrünung mit Rankhilfe zu bevorzugen.

Für Kosten und Ökobilanz ist der Versiegelungsgrad unter der Fassade entscheidend, da ohne die Möglichkeit der bodengebundenen Pflanzung Substrat und Kübel oder gar eine wandgebundene Fassadenbegrünung benötigt werden. Substrat und Kübel mit Verschalung resultierten in jeweils mehr als 25 % der initialen CO₂-Äquivalent-Emissionen.

Die Ausrichtung der Fassade wirkt sich auf die solare Einstrahlung aus und bestimmt damit außerdem den Wasserbedarf. Generell haben die Erfahrungen im FaBiKli-Projekt gezeigt, dass Fassadenbegrünungen an verschiedenen ausgerichteten Fassaden, auch an nordausgerichteten Fassaden, gedeihen können.

Soll der Wasserbedarf der Begrünung mit Regenwasser gedeckt werden, muss die dazugehörige Infrastruktur konzipiert werden. Die Verbindungen müssen zwischen Fallrohr, Zisterne und Pflanzort möglich sein und im Falle einer Drucklosen Bewässerung überall eine Grundneigung besitzen. Die Sommerferien erschweren die Pflege der grünen Infrastruktur an Schulen. Wenn kein automatisches Bewässerungssystem installiert ist, muss die Schulgemeinschaft beim Gießen unterstützen.

Im FaBiKli-Projekt führten Aktivitäten auf dem Fußballplatz zu einer signifikanten Reduktion des Pflanzenwachstums. Standorte mit unfreiwilligem oder auch freiwilligem Vandalismus sind oft nur schwer zu identifizieren, können jedoch die Fassadenbegrünung erheblich schädigen.

TECHNISCHE VORAUSSETZUNGEN UND SICHERHEIT

Bei herkömmlichen Fassadenbegrünungs-Systemen muss der Standort so ausgewählt werden, dass zu Pflegearbeiten die Anfahrt mit Hebebühnen möglich ist. Das FaBiKli-System ermöglicht Ernte ohne schwere Maschinen oder Industriekletterer, die somit nicht in die Standortwahl einbezogen werden müssen.

Für das Brandschutzgutachten im Rahmen der Bauantragstellung sind Fluchtwege an der Fassadenbegrünung einzuplanen. Hier ist auch die Regenwasserbewässerung ein signifikanter Aspekt, da Zisternen große Flächen versperren können. Sich hinter und neben der Fassadenbegrünung befindliche Fenster stellen eine weitere brandschutztechnische Gefahr dar, da über die Fassadenbegrünung eine Brandausbreitung möglich ist (Engel & Noder, 2020a), sodass hier auf ausreichend große Abstände zu achten ist.

Die Standfestigkeit der Fassade entscheidet über die Befestigung der Rankhilfe. Die wirksamen Kräfte wirken je nach System, Pflanzenart, und Höhe der Fassadenbegrünung. Regelmäßige Ernten beziehungsweise Schnitte sind notwendig, um die Standfestigkeit der Systeme zu gewährleisten und durch ein Pflegekonzept festzulegen. Das speziell für FaBiKli konzipierte System zeichnet sich durch die Möglichkeit aus, vom Boden zu ernten.

Je nachdem ob und was für ein Ranksystem an der Fassadenbegrünung vorhanden ist, kann im Kontext Schule zudem die Bekletterbarkeit der Fassadenbegrünung ein relevanter Sicherheitsfaktor sein, den es zu bedenken gibt. Sofern auf ein Ranksystem, das stabil genug dafür ist, dass Kinder potenziell an ihm hochklettern könnten, nicht verzichtet werden kann, stellt eine höhere Befestigung des Systems eine mögliche Lösung dar.

7.2 RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Bei der Realisierung von Fassadenbegrünungen kommen verschiedene rechtliche Fragen hinsichtlich bauaufsichtlichen, planungsrechtlichen, brandschutztechnischen, arbeitsschutztechnischen, eigentumsrechtlichen und urheberrechtlichen Aspekten zum Tragen. Im Folgenden wird ausschließlich die Frage der Baugenehmigungspflicht für Fassadenbegrünungen an Gebäuden im Bestand betrachtet mit besonderem Augenmerk auf Schulbauten.

Gemäß Musterbauordnung in der Fassung vom November 2002 einschließlich der letzten Änderung durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 22.02.2019, sind Schulen gemäß § 2 Abs. 2 Gebäude und somit einer der fünf Gebäudeklassen zuzuordnen. Des Weiteren werden Schulen gemäß § 2 Abs. 4 Ziffer 13 als Sonderbauten eingestuft, d.h. als „Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung“ (MBO, 2019). Eine Schule bzw. ein Schulgebäude kann in der Regel als eine Nutzungseinheit betrachtet werden, wodurch die meisten Schulgebäude den Gebäudeklassen 3 oder 5 zugeordnet werden (Winter, 2021b).

Generell müssen Fassadenbegrünungen den bautechnischen Anforderungen genügen. Hierzu zählen neben der Statik in erster Linie brandschutzrechtliche Anforderungen, da Pflanzen an Fassaden, insbesondere im Falle unzureichender Bewässerung, eine potenzielle Brandgefahr darstellen. Laut Musterbauordnung muss an Sonderbauten der Brandschnachweis je nach Landesrecht bauaufsichtlich geprüft bzw. durch Prüfsachverständige bescheinigt sein (MBO, 2019).

Inwiefern Fassadenbegrünungen an Gebäuden im Bestand, insbesondere an Schulen, dadurch baugenehmigungspflichtig sind, bleibt sowohl auf Bundesebene als auch in den meisten Bundesländern aufgrund fehlender Regelwerke, Planungshilfen und Praxiserfahrungen offen, sodass zunächst im ersten Schritt immer beim zuständigen Bauamt zu prüfen ist, ob eine Baugenehmigung einzuholen ist. Entscheidend für die Frage der Baugenehmigungspflicht ist die Einhaltung von Brandschutzanforderungen und die Einhaltung von Abstandsflächen. Daneben sollte bei den Gebäudeklassen 4 und 5 und Sonderbauten (d.h. Schulen) das zuständige Bauamt grundsätzlich immer über das Vorhaben informiert werden und die Fassadenbegrünung mit ihm abgestimmt werden (BuGG, persönliche Kommunikation, 18.11.2024).

AKTUELLE FORSCHUNG ZU BRANDSCHUTZ UND STATIK VON FASSADENBEGRÜNNUNGEN

Trotz fehlenden Wissens und fehlender Praxiserfahrungen in vielen Bundesländern, bieten aktuelle Publikationen zu den Themen Brandschutz und Statik neue Grundlagen für die Risikobewertung sowie die Entwicklung von realistischen Sicherheits- und Bemessungskonzepten. Aktuelle Brandversuche von Engel (2023a;2023b) und Engel & Werther (2024) des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München zeigen, dass vitale Fassadenbegrünungen nur schwer maßgeblich zur Entwicklung eines Brandereignisses beitragen. Dies liegt dem Haupteinflussfaktor des Feuchtigkeitsgehalts der Pflanzen zugrunde (Engel, 2023a, 2023b; Engel & Werther, 2024). Eine kritische, horizontale Brandausbreitung wird demnach durch ungepflegte Begrünung mit einem hohen Totholzanteil begünstigt. Dementsprechend spielen vor allem die Pflege und Wartung eine entscheidende Rolle in der Reduktion des Gefahrenpotenzials (Engel & Noder, 2020; Engel & Werther, 2024; Engel & Winter, 2024). Das Bauphysiklabor der Stadt Wien kam in seinen Versuchsreihen mit unterschiedlichen Begrünungssystemen 2018 und 2021 zu ähnlichen Ergebnissen und sieht in fest installierten Brandabschottungen, Abständen zu Fenstern und der Fassade sowie funktionierender Pflege der Pflanzen Maßnahmen, mit denen die Brandweiterleitung und das Abfallen brennender Teile effektiv eingeschränkt werden kann (Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien (Magistratsabteilung 39) 2018; 2020; 2021). In Wien sind diese Forschungsergebnisse zudem bereits in einen detaillierten Planungsleitfaden zur Begrünung von Schulgebäuden und in die Brandschutzrichtlinie der Baupolizei integriert

worden (Kompetenzstelle Brandschutz (KSB), 2023; Korjenic et al., 2020). Häufig fänden aktuelle, innovative Forschungsergebnisse in der Planung jedoch zu wenig Beachtung, wodurch in der Bewertung des Brandrisikos zu konservativ vorgegangen wird. Dadurch können erhebliche Vorhabenskosten für zusätzliche Brandschutzmaßnahmen entstehen, die die potenziellen Gefahren eines Brandereignisses minimieren sollen, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit jedoch nicht unbedingt an aktuellen Forschungsergebnissen ausgerichtet sei, sondern vom schlimmstmöglichen Szenario ausgehe (Brandschützer, persönliche Kommunikation, 20.10.2023).

Bezogen auf die Statik von Seilbegrünungssystemen im Speziellen untersuchte die Hochschule Luzern für Technik und Architektur den Einfluss der Windkraft auf lineare, dynamische Seilbegrünungssysteme (Arnold, 2018; (Arnold et al., 2021a; 2021b) Arnold & Luible, 2022). Basierend auf den Ergebnissen von Windkanalversuchen aus dem Jahr 2018 und anhand eines Literaturreview zu ähnlichen Untersuchungen an Laubbäumen wurde ein Luftwiderstandsbeiwert für begrünte Seilfassaden abgeleitet (Arnold, 2018; Arnold et al., 2021a). Der Luftwiderstandsbeiwert kann dabei in der Berechnung von Windlasten auf das Gebäude genutzt werden. Mithilfe von weiteren Windkanalversuchen an fünf Kletterpflanzenarten validierten die Autoren daraufhin den Luftwiderstandsbeiwert und leiteten daraus ein angepasstes Sicherheits- und Bemessungskonzept analog zu den grundlegenden Schweizer Normwerken SIA 260 und SIA 261 zur Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken im Allgemeinen sowie Berechnungs- und Bemessungshilfen potenzieller Einwirkungen ab (Arnold et al., 2021b; K. Arnold & Luible, 2022).

Nachfolgend soll kurz skizziert werden, welche Regelungen hinsichtlich der Frage der Baugenehmigungspflicht von Fassadenbegrünungen an Bestandsgebäuden bereits bestehen.

HAMBURG

Mit dem „Handbuch Grüne Wände“ bietet die Hamburger Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft eine detaillierte offizielle Planungshilfe zu unterschiedlichen Begrünungssystemen der technischen Umsetzung, Brandschutzfragen und Fördermöglichkeiten an. Dieses enthält eine Checkliste zur Berücksichtigung von Standortfaktoren, der Pflanzenauswahl und Bautechnik für die Planung sowie eine unterstützende Pflanzenliste (Freie und Hansestadt Hamburg Klima Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA), 2020). Ergänzend dazu bietet ein FAQ zu bauordnungsrechtlichen Anforderungen an Fassadenbegrünungen mit letztem Stand vom 24.09.2024 die aktuell ausführlichsten baurechtlichen Regelungen zu Fassadenbegrünungen auf Landesebene (Amt für Bauordnung und Hochbau Freie und Hansestadt Hamburg, 2024).

Die bauordnungsrechtlichen Anforderungen konstatieren, dass es sich bei Fassadenbegrünung nicht um Außenwandbekleidungen nach § 26 Abs. 3 der Hamburgischen Bauordnung (HBauO) handelt, da Pflanzen keine Baustoffe oder Bauprodukte darstellen. Mit § 26 Abs. 1 der HBauO zur Ausbildung von Außenwänden und Außenwandteilen auf eine Art, die Brandausbreitungen ausreichend lange begrenzt wird allerdings ein Schutzziel vorgegeben, welches für Fassadenbegrünungen als maßgeblich betrachtet werden kann (Amt für Bauordnung und Hochbau Freie und Hansestadt Hamburg, 2024).

Hinsichtlich der Gebäudeklassen wird geregelt, dass Gebäude mit den Gebäudeklassen 1 bis 3 aufgrund ihrer Zugänglichkeit keine besonderen brandschutztechnischen Nachweise bedürfen. An Fassadenbegrünungen an Gebäuden im Bestand (und Neubau) der Gebäudeklassen 4 und 5 werden dagegen für verschiedene Ausführungsvarianten von erdboden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungssystemen konkrete brandschutztechnische Anforderungen gestellt. Daneben bedürfen Sonderbauten, wie Schulen, grundsätzlich eine Einzelfallbetrachtung (vgl. ebd.).

Abschließend wird hinsichtlich der Frage nach der Baugenehmigungspflicht folgendes geregelt:

- Erdbodengebundene Fassadenbegrünungen ohne Rankhilfen sind an allen Gebäudeklassen nicht genehmigungspflichtig (siehe Abbildung 17);
- Bei erdbodengebundenen Fassadenbegrünungen ohne Rankhilfen an Sonderbauten muss die zuständige Bauaufsichtsbehörde aufgrund der erhöhten brandschutztechnischen Anforderungen prüfen, ob sich Anforderungen aus § 3 HBauO ergeben;
- Fassadenbegrünungen mit Rankhilfen an den Gebäudeklassen 1 bis 3 sind nicht genehmigungspflichtig;
- Vereinzelte, punktuelle Fassadenbegrünungen mit Rankhilfen (z. B. Kletterrosen) an den Gebäudeklassen 4 und 5 sind nicht genehmigungspflichtig;
- Wandgebundene Fassadenbegrünungen an Neu- und Bestandsbauten der Gebäudeklassen 4 und 5 sowie an Sonderbauten sind genehmigungspflichtig (siehe Abbildung 17), „um die bauaufsichtliche Prüfung der Einhaltung des bauordnungsrechtlichen Schutzziels der Schwerentflammbarkeit der Außenwandoberfläche gemäß § 26 HBauO sicherzustellen“ (vgl. ebd.);
- Großflächige Fassadenbegrünungen aus vorgefertigten Elementsystemen (z. B. inkl. Pflanztrögen und Bewässerungssystem) bedürfen einen Standsicherheits- und Brandschutznachweis sowie einen Verwendbarkeitsnachweis nach § 19a HBauO.

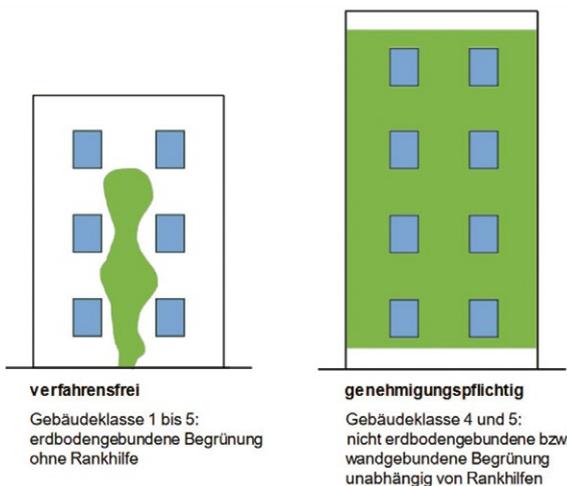


Abbildung 17: Visuelle Zusammenfassung der Hamburger Regelungen hinsichtlich der Baugenehmigungspflicht von Fassadenbegrünungen (© Amt für Bauordnung und Hochbau Freie und Hansestadt Hamburg).

Bei allen weiteren Varianten von erdboden- und wandgebundenen Fassadenbegrünungen an den unterschiedlichen Gebäudeklassen ist im Einzelfall zu prüfen, ob diese genehmigungspflichtig sind. Hinsichtlich Sonderbauten empfiehlt das Hamburger Amt für Bauordnung und Hochbau die Bauantragstellung prinzipiell.

Generell ist als Teil aller Genehmigungsanträge für Fassadenbegrünungen sodann auch ein Standsicherheitsnach-

weis erforderlich. Dieser muss „sowohl die Belastbarkeit des zu begrünenden Gebäudes als auch die Belastbarkeit der Gesamtkonstruktion der Fassadenbegrünung im Hinblick auf Eigen-, Schnee-, Eis- und Windlasten berücksichtigen“ (ebd.).

BERLIN - BEZIRK CHARLOTTENBURG-WILMERSDORF

Im Rahmen des FaBiKli-Pilotprojektes wurde in Berlin erstmalig ein baurechtliches Verfahren zur Anbringung von Fassadenbegrünungen an Bestandsgebäuden von Schulen vollzogen. In Berlin obliegt der Vollzug der Berliner Bauordnung und damit auch die Erteilung von Baugenehmigungen den Bauaufsichtsämtern der Berliner Bezirksämter. Da die Berliner Bauordnung keine Vorgaben zur Frage der Baugenehmigung von Fassadenbegrünungen bzw. zu Fassadenbegrünungen im Allgemeinen enthält und es auf Landesebene keine bauaufsichtliche Planungshilfe gibt, hat die im Pilotprojekt zuständige Bauaufsicht des Bezirks Charlottenburg-Wilmersdorf fallbezogen beschlossen, dass für die Anbringung des im Projekt geplanten Fassadenbegrünungssystems an Schulen aufgrund des Sonderbaus und des Pilotcharakters ein vorhaben- und grundstücksbezogenes Baugenehmigungsverfahren nach § 64 der Berliner Bauordnung vonnöten ist.

Im Rahmen dieses Verfahrens waren die vorhabensbezogenen bautechnischen Brandschutz- und Standsicherheitsnachweise vorzulegen. Zudem musste für den Einsatz von nicht schwerentflammaren Fassadenbegrünungen an Außenwänden der Gebäudeklassen 4 und 5 ein Antrag auf materielle Abweichung von § 28 (3) der Berliner Bauordnung unter Berücksichtigung der Abweichungsbestimmungen nach § 67 gestellt werden. Dies erforderte konkret eine Baubeschreibung mit u.a. Angaben zur brandschutztechnischen Qualität der Fassade und der Rankhilfen, ein Lageplan, eine vermaßte Ansicht, die ausreichende Abstände zu Öffnungen und keine überwachsenen Brandabschnitte nachwies, einen Brandschutznachweis, einen Standsicherheitsnachweis und ein Pflegekonzept. Hier wurden ein Statiker und ein Brandschutzgutachter mit Gutachtenerstellung beauftragt, während ein Architekturbüro eine Maßnahmenskizze, den Bauplan sowie den Bauantrag übernahm. Nach erfolgreicher Prüfung dieser Unterlagen erteilte die Bauaufsicht die Baugenehmigung für die Fassadenbegrünung.

Dieses Verfahren wurde fallbezogen festgelegt, sodass offen bleibt, wie künftige Fassadenbegrünungen im Bezirk bauaufsichtlich behandelt werden, d.h. wann Baugenehmigungsverfahren vonnöten sind und wann eine Verfahrensfreiheit, beispielsweise unter Vorhandensein allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen oder allgemeiner Bauartgenehmigungen, bestehen kann.

Die derzeitige Ausschreibung der Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt für ein Modellprojekt „Fassadenbegrünung an Berliner Schulen“, die die Testung verschiedener Begrünungssysteme an Bestandsgebäuden sowie die Erstellung eines Handlungsleitfadens und Musterausreichungsunterlagen zu Fassadenbegrünungen an Schulen und weiteren öffentlichen Gebäuden zum Ziel hat, zeigt jedoch auf, dass künftig berlinweite Regelungen zu erwarten sind.

7.3 FINANZIERUNG VON FASSADENBEGRÜNUNG

KOSTEN VON FASSADENBEGRÜNUNGEN

Die Kosten von Fassadenbegrünungen variieren sehr stark je nach Fassadenbegrünungssystem und Anbringung. So liegen die Kosten beim eigenständigen Anbringen von selbstklimmenden Pflanzen ohne Rankhilfe bei ca. 15 bis 35 Euro pro Quadratmeter (Berliner Regenwasseragentur, 2024), Fassadenbegrünungssysteme von Herstellerfirmen können bei 100 Euro pro Quadratmeter starten, während komplexere wandgebundene Systeme von Herstellerfirmen bei 2.000 Euro aufwärts pro Quadratmeter liegen können (Lingen, persönliche Kommunikation, 09.07.2024). Hinzu kommen Pflegekosten, und potenzielle Wartungskosten von bspw. Bewässerungssystemen sowie Strom- und Wasserkosten, die sich ebenfalls je nach Fassadenbegrünungssystem und Bewässerungssystem stark unterscheiden können.

MATERIAL- UND HONORARKOSTEN FÜR EIN FASSADENBEGRÜNUNGSSYSTEM IM FABIKLI-PILOTPROJEKT

PFLANZTRÖGE

3 IBC-Container (gebraucht)	521 Euro
Substrat	670 Euro
Hanfseil (recycelt)	73 Euro
Stahlseil	100 Euro
Stützbalken	300 Euro
Saatgut	8 Euro

BEWÄSSERUNGSSYSTEM

Regenwassersammler	100 Euro
Schwimmerventil	100 Euro
Wasserrohre	245 Euro
Kontrollboxen für Wasserstand	27 Euro

MASCHINEN

Hebebühne	300 Euro
-----------	----------

HONORARE

Tischler inkl. Holz für Holzverkleidung	3.966 Euro
-----------------------------------------	------------

GESAMT

6.410 EURO

Tabelle 3: Material- und Honorarkosten für ein Fassadenbegrünungssystem im FaBiKli-Pilotprojekt. Mit Ausnahme der Hanfseile sind alle Ausgaben nur bei der Installation erforderlich. Die Kosten der Hebebühne und Stützbalken wurden geschätzt, da diese noch nicht zum Einsatz gekommen sind (eigene Darstellung).

Aufgrund der oftmals angespannten finanziellen Situation von Schulen, dürften kostengünstigere Varianten im Sinne der meisten Schulen sein. Exemplarisch sollen folgend die Kosten des im FaBiKli-Projekt angewandten Fassadenbegrünungssystems (siehe Kapitel 2.2) vorgestellt werden (Tabelle 3). In der Entwicklung des Systems wurde aufgrund der Zielgruppe der Fokus auf einen möglichst geringen Materialeinsatz mit einem Anteil an Recyclingmaterialien gelegt. Da das Projekt die Übernahme der Systeme durch die Schulen fördern wollte, wurden die Kosten des Unabhängigen Instituts für Umweltfragen und der TU Berlin nicht berücksichtigt. Die Kostenübersicht beinhaltet außerdem keine Wartungskosten, da diese von den Schulen selbst übernommen werden kann. Bei anderen Begrünungssystemen können Wartungskosten aufgrund des Bedarfs an Fachpersonal jedoch schnell die Installationskosten übersteigen.

Neben den Investitionskosten zur Anbringung des Fassadenbegrünungssystems sind zusätzlich die jährlichen Pflegekosten zu berücksichtigen. Bei selbstklimmenden Pflanzen mit oder ohne Rankhilfe können diese bei 5 bis 20 Euro pro Quadratmeter liegen, während sie bei wandgebundenen Systemen bei 20 bis 40 Euro pro Quadratmeter liegen können (Berliner Regenwasseragentur, 2024). Hier sind die Wartungskosten für etwaige Bewässerungs- oder Nährstoffsysteme allerdings noch nicht enthalten.

In der Kosten-Nutzen-Rechnung ist auch das Einsparpotenzial von Fassadenbegrünungen zu berücksichtigen. Anbringungs- oder Pflege- und Wartungskosten können gegeben falls mittels Kostenkompensation (teilweise) ausgeglichen werden. So sind Einsparungen durch den Verzicht auf Sichtfassaden und Verschattungssysteme, durch den Schutz der Fassade vor Witterung, Schmutz oder Vandalismus und durch die Reduzierung von Heiz- und Kühlenergie möglich. Besonders bei bodengebundenen Systemen sind durch die geringere Investitionssumme Einsparungen erwartbar (Pfoser, 2016).

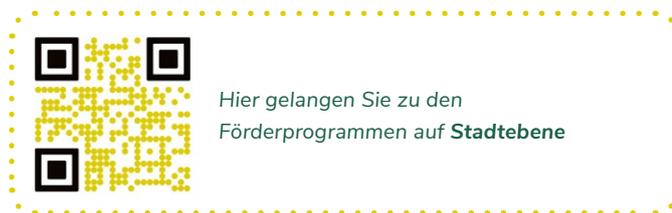
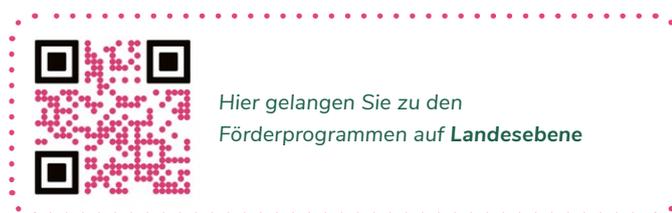
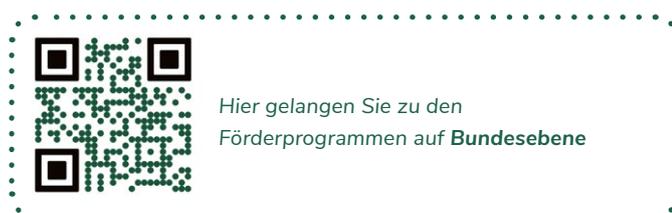
Zuletzt sind an dieser Stelle noch die Kosten für etwaige Genehmigungsverfahren zu nennen. Wie in Kapitel 7.2 dargestellt, waren im Falle des FaBiKli Pilotprojekts Baugenehmigungsverfahren vonnöten. Die benötigten Gutachten und Pläne für einen Baugenehmigungsantrag führten zu Ausgaben im fünfstelligen Bereich, wodurch das Genehmigungsverfahren zu deutlich höheren Ausgaben als die Fassadenbegrünung selbst führte. Dies erscheint vor dem Hintergrund der Suche nach kostengünstigen Lösungen für Schulen paradox. Zugleich ist dies nicht zuletzt dem Pilotcharakter des Projekts und dem noch nicht eindeutig geregelten bauaufsichtlichen Umgang mit Fassadenbegrünungen in Berlin geschuldet, sodass hier zu hoffen bleibt, dass künftig Bedingungen für eine Verfahrensfreiheit oder für einfachere und damit auch günstigere Verfahren identifiziert werden.

FÖRDERMÖGLICHKEITEN

Der jährliche Marktreport zur Entwicklung von Gebäudebegrünung in Deutschland des Bundesverbands GebäudeGrün e.V. (BuGG, 2023) hat aufgezeigt, dass durch die Integration

von Bauwerksbegrünungen, wie Fassaden-, aber auch Dachbegrünungen, in Planungsinstrumente und Förderprogramme ihr Potenzial für die Anpassung an den Klimawandel und als Klimaschutzmaßnahme erkannt wurde. Während der Laufzeit des FaBiKli-Pilotprojekts beispielsweise, kontaktierten zahlreiche Schulen mit Interesse an einer Fassadenbegrünung hinsichtlich ihrer Kühlleistung das Projektteam. Dabei wurde jedoch schnell deutlich, dass Schulen oftmals nicht wissen, wie und worüber sie eine Fassadenbegrünung finanzieren lassen können.

Mittlerweile gibt es in Deutschland eine große Anzahl an Fördermittelprogrammen über die die verschiedenen Kosten von Fassadenbegrünungen durch Zuschüsse oder Darlehen gefördert werden können. So gibt es diverse Programme auf Bundes- und Länderebene aber auch immer mehr Kommunen bieten entsprechende Förderprogramme an, oftmals in Verbindung mit der Förderung von Dachbegrünungen. Der Bundesverband GebäudeGrün recherchiert seit mehreren Jahren die bestehenden Förderprogramme auf Bundes-, Länder- und kommunaler Ebene (siehe QR-Codes).



Bei sämtlichen Förderprogrammen auf Bundes- und Länderebene handelt es sich um allgemeine Förderprogramme in Bereichen, wie Klimaanpassung, Klimaschutz, Biodiversität, etc., über die Fassadenbegrünungen als Teilmaßnahme gefördert werden können. Lediglich auf kommunaler Ebene gibt es explizite Förderprogramme für Fassadenbegrünungen. Inwieweit sich diese Förderprogramme auch explizit an Schulen richten, bleibt oftmals offen. Da sich viele Förderprogramme aber oft allgemein an Kommunen oder Gebäudebesitzer rich-

ten, ist nicht auszuschließen, dass Schulen antragsberechtigt sind, zumal es sich bei den Schulträgern der meisten öffentlichen Schulen um kommunale Körperschaften handelt. Lediglich kommunale Förderprogramme richten sich in vielen Fällen an Privatpersonen und schließen städtische Liegenschaften aus (BuGG, 2024). Derzeit scheint lediglich der Förderaufruf der Landesregierung von Nordrhein-Westfalen zur Klimawandelvorsorge in Kommunen explizit die Begrünung von Höfen und Außengeländen an Schulen (und Kitas) wie auch Fassadenbegrünungen zu fördern (Ministerium für Umwelt, 2022). Die Förderung erfolgt dabei über die Kommunen, welche die Fördermittel für die Schulen beantragen können.

Da bei den meisten anderen Programmen die Förderfähigkeit von Schulen nicht eindeutig geklärt ist, ist daher generell ratsam, dass sich Schulen mit Interesse an einer Fassadenbegrünung an ihre Kommunalverwaltungen wenden, um über bestehende Fördermöglichkeiten informiert zu werden. Entsprechende Ansprechpersonen für Schulen können dabei beispielsweise Klimaschutz- oder Klimaanpassungsmanager oder das Bauamt sein.

Was genau sodann der Fördergegenstand ist, d.h. welche Maßnahmen genau gefördert werden können, unterscheidet sich zwischen den Förderprogrammen. In den meisten Programmen werden Fassadenbegrünungen an Bestandsgebäuden, manchmal auch an Neubauten, gefördert, sofern die Fassadenbegrünungen in diesem Fall nicht vorgeschrieben sind. Hinsichtlich der Fassadenbegrünungssysteme werden in vielen Fällen bodengebundene Systeme mit Rankhilfe oder wandgebundene Systeme gefördert, während bodengebundene Selbstklimmerpflanzen oftmals nicht gefördert werden. Darin können Ausgaben für Planung, Vorbereitung, Installation und Materialien gefördert werden, inklusive der Leistungen von Fachbetrieben. In manchen Fällen wird auch die Fertigstellungspflege und die Pflege für einen gewissen Zeitraum gefördert, jedoch nur in wenigen Fällen (BuGG, 2024).

Allgemein ist es ratsam, dass Schulen bei bestehendem Interesse an einer Fassadenbegrünung prüfen, ob es Gelegenheitsfenster für das Vorhaben gibt. Dies könnten eine geplante Schulsanierung sein, eine geplante Umgestaltung des Schulhofes, eine bevorstehende Spendensammelaktion der Schule, etc. Im Falle geplanter (Teil-)Sanierungen von Schulgebäuden und Umgestaltungen von Schulhöfen und Außengeländen, sollte geprüft werden, inwiefern eine Fassadenbegrünung möglicherweise über Schulbauförderprogramme mitfinanziert werden könnte. Bislang scheint es allerdings noch keine Beispiele dergleichen zu geben.

Darüber hinaus können Schulen versuchen die benötigten Mittel für eine Fassadenbegrünung auch über Spenden von lokalen oder regionalen Stiftungen oder Privatpersonen, über Sponsorinnen und Sponsoren oder Crowdfunding einzuwerben. Gerade weniger komplexe Fassadenbegrünungssysteme lassen sich aufgrund ihrer geringeren Investitionssumme sicherlich auf diesem Wege (ko-)finanzieren. Bodengebundene Fassadenbegrünungen ohne oder mit einfacher Rankhilfe lassen sich womöglich auch je nach Aufstellung aus den vorhandenen Ressourcen einer Schule finanzieren.



Abbildung 18: Der vertikale Garten der Johannes-Gigas-Schule in Lügde (© B. Wulf).

BEST PRACTICE BEISPIEL: JOHANNES-GIGAS-SCHULE IN LÜGDE

Der zwischen 1968 bis 1971 erbaute Gebäudekomplex der Johannes-Gigas-Schule im nordrhein-westfälischen Lügde erforderte mit der Zeit eine Kernsanierung der Schule aus baulicher und energetischer Sicht. Um die Kosten für die Sanierung zu decken, wurden verschiedene Förderprogramme genutzt, darunter der Projektauftrag „Kommunaler Klimaschutz.NRW“ des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. Während der Schwerpunkt der Fördergegenstände auf Maßnahmen zur Einsparung von Treibhausgasen lag, waren auch weitere Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen förderfähig. Die Stadt Lügde entwickelte sodann unter fachlicher Unterstützung ein Sanierungskonzept für die Schule und stellte 2017 den Förderantrag. Als Baustein der Sanierung wurde ein sogenanntes „Klimatikum“ konzipiert, das u.a. eine Fassadenbegrünung, Gründächer und einen Klimalehrpfad umfasst. 2021 wurde sodann nach einem Vergabeverfahren der 57 m² große vertikale Garten, ein wandgebundenes Fassadenbegrünungssystem der Helix Pflanzensysteme GmbH, angebracht (Abbildung 18). Seither erblühen verschiedene Gräser, Blühstauden und wintergrüne Gehölze an der Schulfassade. Die Kosten für die Fassadenbegrünung beliefen sich auf ca. 70.000 Euro, hinzu kommen ca. 5.000 Euro jährliche Pflegekosten. Förderfähig waren jedoch nur die Investitionskosten mit einer Förderquote von 60 %. Die Pflegekosten werden derzeit von der Stadt getragen und durch ein Fachunternehmen ausgeführt (Günnewich, persönliche Kommunikation, 24.07.2024). Daneben wurden zusätzlich vier bodengebundene Fassadenbegrünungen mit Rankhilfe an der Schule angebracht, an denen Geissblatt, Klettergurke und Pfeifenwinde wachsen. Diese waren nicht Teil des Förderantrags und wurden mit Mitteln der Stadt finanziert. Die Pflege übernimmt ein neuer Schulhausmeister mit landschaftsgärtnerischem Hintergrund (Wulf, persönliche Kommunikation, 21.08.2024).

BAD PRACTICE BEISPIEL: KEINE FASSADENBEGRÜNUNG FÜR NORDRHEIN-WESTFÄLISCHE GRUNDSCHULE TROTZ GESICHERTER FÖRDERUNG

Nachdem eine nordrhein-westfälische Grundschule sich wiederholt bei ihrer zuständigen Gemeinde über stark aufgeheizte Räume im Sommer beschwerte, schlug die Gemeinde der Schule eine Fassadenbegrünung vor, um eine kühlende Wirkung auf die Gebäudehülle zu erzielen. Die Idee wurde von der Schule positiv aufgenommen, sodass sich die Gemeinde auf Fördermittel der Förderrichtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Klimawandelvorsorge in Kommunen des Ministeriums für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen bewarb, da die Schule selbst nicht antragsberechtigt war. Die Gemeinde erhielt eine Fördermittelzusage von über 400.000 Euro, um eine wandgebundene Fassadenbegrünung mit einem Bewässerungs- und Entwässerungssystem umzusetzen. Trotz dieses Erfolges scheiterte das Vorhaben aufgrund mehrerer Faktoren, die vor allem mit den schwierigen Förderbedingungen zusammenhingen. Während sich die Antragstellung relativ einfach gestaltete, ließ bereits die Förderzusage aufgrund der Menge an Förderanträgen relativ lange auf sich warten. Der Hauptgrund des Scheiterns lag letztlich in einem Zuwendungszeitraum von nur 12 Monaten, der für die Umsetzung des Vorhabens aufgrund des benötigten Vergabeverfahrens, dem Vorziehen der Pflanzen und dem Abwarten des benötigten Pflanzzeitpunkts nicht ausreichte. Eine Fristverlängerung seitens des Fördermittelgebers von zwei Monaten vermochte auch keine Abhilfe zu leisten. Darüber hinaus traten weitere Probleme zutage, die das Vorhaben ebenfalls erschwerten: fehlende Angaben zur Statik in der Bauakte des Gebäudes, ein nachträglich geplanter Neubau an der ausgewählten Fassade und das späte Einbinden und dabei aufkommende Widerstände der Kommunalpolitik aufgrund diverser Bedenken hinsichtlich der Fassadenbegrünung (Gemeindemitarbeitende, persönliche Kommunikation, 29.05.2024).

7.4 POTENZIAL EINER FASSADENBEGRÜNUNG FÜR DIE BILDUNGSARBEIT

„Es gibt natürlich die BNE-Leitlinien. Aber wahrscheinlich haben wenige im Kollegium diese Leitlinien gelesen. Es gibt so viele Leitlinien für Schulen, von denen manche einfach noch wichtiger sind. Es ist schwierig das alles neben dem Alltagsgeschäft im Blick zu haben.“ (Schulleiterin, persönliche Kommunikation, 21.08.2024)

Dieses Zitat spiegelt wider, dass personelle Kapazitäten und gewisse Freiräume in der Unterrichtsgestaltung Voraussetzungen für ein gutes Gelingen von BNE in der Schule sind und somit auch für die Umsetzung von Projekten, wie integrativer Fassadenbegrünungen. Das Gelingen einer Integration von Fassadenbegrünungen in den Unterricht hängt neben ihren Kapazitäten maßgeblich vom Engagement der Lehrkräfte ab. Die an FaBiKli beteiligten Lehrkräfte haben das Projekt in unterschiedlicher Weise aufgenommen, für einige stellten die schulexternen Workshops eine willkommene Abwechslung dar, andere arbeiteten sich tief in die Thematik ein und entwickelten selbst weiterführende Ideen für den Unterricht. Interviews mit den beteiligten Lehrkräften legen nahe, dass eine langfristige Begleitung eines solchen Projektes mit Bildungsarbeit langfristige Wirkung

auf die SuS zeigen könnte (vgl. Kapitel 5.2). Hier können sich Schule und externer Bildungspartner ergänzen: Praktische extracurriculäre Inhalte kann der externe Bildungspartner liefern, die Einbindung in den regulären Unterricht zur langfristigen Verstetigung durch die Lehrkräfte ist aber unabdingbar. Das Einrichten eines Frei-Days an den Schulen, an denen in Projektarbeit nach eigenen Interessen der SuS gearbeitet wird, könnte auch unterstützen Nachhaltigkeitsthemen voranzubringen, da viele SuS das Interesse mitbringen. Dies könnte umso mehr gelingen, wenn Schulen Elemente wie Fassadenbegrünungen schon vorzuweisen haben und die SuS in ihrem Alltag mit Nachhaltigkeitsaspekten in Berührung kämen. Ein Projekt wie FaBiKli eignet sich auch für Schüler-Firmen, in denen etwa Ideen zur Verwertung der Biomasse umgesetzt werden könnten.

8. FAZIT UND EMPFEHLUNGEN

Die vielfältigen Ökosystemdienstleistungen von Fassadenbegrünungen bieten ein enormes Potenzial für Klimaschutz und Klimaanpassung im urbanen Raum. Auch an Schulen stellen sie ein vielversprechendes Instrument für direkt und indirekt praktisch erfahrbaren Klimaschutz und Klimaanpassung dar und können somit einen wertvollen Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) leisten.

Der Beitrag von Fassadenbegrünungen zum Klimaschutz hängt maßgeblich von den THG-Emissionen des jeweiligen Begrünungssystems ab. Ökobilanzen, die die Emissionen der Materialverbräuche, deren Transport, von Pflege- und Wartungsarbeiten berücksichtigen, zeigen, dass materialintensive Systeme wie Living Walls höhere Emissionen aufweisen. Für eine positive Klimawirkung müssen die Emissionen der Installation und Pflege der Fassadenbegrünungen durch THG-Emissionsminderungen ausgeglichen werden. Der Fokus in FaBiKli lag auf der Biomasseproduktion und energetischen und stofflichen Nutzungswegen welche je nach Pflanzenart variiert. Eine großflächige vertikale urbane Landwirtschaft wird in den kommenden Jahren schwer zu erreichen sein. Aber die Biomasse von Fassadenbegrünungen erhöht das Gesamtbiomasseaufkommen der urbanen grünen Infrastruktur. Noch wird großflächig Kompostierung zur Entsorgung dieser Ressource verwendet, bei der ein Großteil des Kohlenstoffs und noch klimaschädlichere Treibhausgase freigesetzt werden. Alternativ können energetische Nutzungen wie Verbrennung oder Biogaserzeugung klimaschädliche Energiequellen ersetzen. Klimapositivität kann erreicht werden, wenn der Kohlenstoff langfristig gebunden/ sequestriert wird. Sequestrierung und energetische Nutzung sind für pflanzliche Biomasse der Kompostierung vorzuziehen.

Direkte und indirekte THG-Emissionsminderungen der Fassadenbegrünungen ergeben zudem erst durch großflächige Implementierung und Multiplikation ein einflussreiches Gesamtpotenzial. Wenn es nicht nur bei einzelnen Leucht-

turmprojekten bleiben soll, sind hierfür Akzeptanzförderung und Aufklärung über den Nutzen und die Risiken dieser grünen Infrastruktur unerlässlich. Durch energetische oder stoffliche Verwertung der Biomasse der Fassadenbegrünungen können THG-Emissionen eingespart werden.

Daneben liegt der Beitrag zur Klimafolgenanpassung von Fassadenbegrünungen an Schulen vor allem in den potenziellen Kühleffekten, da Fassadenbegrünungen die Wandtemperatur um bis zu 15,5 K und die Innenraumtemperatur um bis zu 1,7 K reduzieren können und damit auch den Energieverbrauch von Klimaanlagen reduzieren können. Insgesamt hängt die Kühlwirkung von Pflanzenart, -alter und -vitalität ab. Da die Raum- und Außentemperatur in Schulen die Konzentration der Kinder und den Unterrichtsbetrieb beeinflussen, kann die Kühlwirkung von Fassadenbegrünungen bei großflächiger Anwendung zu einem verbesserten Lernumfeld beitragen. Hierfür sind auch die weiteren Ökosystemdienstleistungen von Fassadenbegrünungen, wie die Verbesserung der Luftqualität, die Verminderung von Lärm oder die Nahrungsmittelproduktion, hervorzuheben, die ebenfalls zum Wohlbefinden der Kinder und des Schulpersonals beitragen können.

Im Sinne einer Bildung für nachhaltige Entwicklung liegt das Potenzial von Fassadenbegrünungen insbesondere in der Integration in den Unterricht, die, wenn sie nicht wie in FaBiKli von außen kommt, von der Schule geleistet werden müsste. Fassadenbegrünung ist kein Thema, das sich nur an weiterführende Schulen oder Kinder eines bestimmten Alters richtet. Es ist ein Thema, das viele diverse Anknüpfungspunkte an den Lehrplan bietet und viel kreativen Gestaltungsspielraum zur Integration in den Unterricht eröffnet. Die Voraussetzungen sind mit der Verankerung von BNE in die Rahmenlehrpläne zwar gegeben, die Umsetzung wird durch mangelnde zeitliche Kapazitäten allerdings eingeschränkt. Die empfohlene Einrichtung von BNE-Koordinierungsstellen übergeordnet und als Schnittstelle zwischen verschiedenen Verwaltungsebenen

(BNE-Kompetenzzentrum, 2024), könnte hier an der Schnittstelle zur Schule zur vermehrten Umsetzung von mehr in Fassadenbegrünungen an Schulen beitragen und die Integration in den Unterricht unterstützen.

Das Potenzial der Verbreitung von Fassadenbegrünungen an Schulen lässt sich insgesamt als vielversprechend abschätzen, ist aber noch mit diversen Herausforderungen verbunden. Implementierungsbarrieren zeigen sich insbesondere im Bereich des fehlenden Wissens, der ungeklärten bauaufsichtlichen Handhabung und der begrenzten zeitlichen und finanziellen Ressourcen der relevanten Akteure im Implementierungsprozess. Diese Barrieren können Umsetzungsvorhaben deutlich verzögern, zu hohen unerwarteten Kosten führen oder Vorhaben im schlimmsten Fall zum Scheitern verurteilen.

Trotz dieser Herausforderungen zeigt diese Studie, dass durch gezielte Maßnahmen und die Zusammenarbeit verschiedener Akteure diese Hindernisse überwunden werden können. Eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis kann hier dazu beitragen, das Wissen und die Kompetenzen der beteiligten Akteure zu erweitern und dadurch die Akzeptanz und das Verstetigungspotenzial von Fassadenbegrünungen an Schulen zu stärken. Die Schulen selbst können die Umsetzung von Fassadenbegrünungen an ihrer Schule zwar fordern, brauchen aber grundlegende Unterstützung im Planungs-, Umsetzungs- und Finanzierungsprozess. Dazu bedarf es einer Standardisierung der Prozesse und von Fassadenbegrünungssystemen, der Entwicklung praxisorientierter Planungshilfen und einer verstärkten Unterstützung durch Verwaltung und Fördermittelgeber. Um eine Abhängigkeit der Pflege, beispielsweise einer Bewässerung während der Sommerferien, und Integration in den Unterricht von einzelnen Lehrkräften zu vermeiden, sollte das gesamte Schulpersonal frühzeitig und partizipativ in den Planungsprozess

eingebunden werden, um negative Effekte einer top-down Implementierung zu vermeiden.

Eine erfolgreiche Umsetzung einer Fassadenbegrünung hängt sodann von einer sorgfältigen Planung und Auswahl geeigneter Pflanzen ab, die an die jeweiligen Standortbedingungen angepasst sind. In Bezug auf den im Schulkontext relevanten Sicherheitsaspekt des Brandschutzes zeigen aktuelle Studien, dass gepflegte, vitale Fassadenbegrünungen nur ein geringes Brandrisiko darstellen. Während die bauaufsichtlichen Rahmenbedingungen meist noch ungeklärt sind, zeigen Fortschritte wie die Planungshilfen in Hamburg gangbare Umsetzungswege auf. In Verbindung mit einer Verbesserung der Förderbedingungen für Fassadenbegrünungen an Schulen ließe sich künftig nicht nur ein unausgeschöpftes Flächenpotenzial, sondern auch ein unausgeschöpftes pädagogisches und Akzeptanzpotenzial nutzen. Entsprechend können mit weiterer Forschung, klaren rechtlichen Rahmenbedingungen und gezielter Förderung die oben genannten Hürden mit der Zeit abgebaut werden.

Abschließend lassen sich durch die aus den im FaBiKli-Projekt gewonnenen Erkenntnisse nachfolgende Empfehlungen für die Weiterentwicklung und breitere Implementierung von Fassadenbegrünungen an Schulen ableiten. Durch die Umsetzung dieser Empfehlungen kann das Potenzial von Fassadenbegrünungen an Schulen als integrierte Lösung für Klimaschutz, Klimaanpassung und Bildung für nachhaltige Entwicklung besser ausgeschöpft werden. Dies trägt nicht nur zur Verbesserung des städtischen Mikroklimas bei, sondern fördert auch das Umweltbewusstsein und die Handlungs- und Gestaltungskompetenz der nächsten Generation, den Auswirkungen des Klimawandels lösungsorientiert und verantwortungsbewusst entgegenzutreten.

ZIELGRUPPENSPEZIFISCHE EMPFEHLUNGEN ZUR FÖRDERUNG DER UMSETZUNG VON FASSADENBEGRÜNUNGEN AN SCHULEN

ÜBERGEORDNET

- Um eine einheitliche Bewertungsgrundlage zu schaffen, sollte auf Bundesebene eine DIN zu Brandschutzanforderungen an Fassadenbegrünungen angelehnt an die DIN zum Brandverhalten von Baustoffen (DIN 4102-20:2017) entwickelt werden und die DIN in einer Datenbank gemeinsam mit Bewertungs- und Handlungsempfehlungen der zentralisiert werden.
- Für neue Fassadenbegrünungssysteme, wie dem im FaBiKli-Projekt entwickelten System, ist es ratsam Typen- bzw. Systemstatiken entwickeln zu lassen, die die dauerhafte Standsicherheit der Systeme garantieren, also der Nachweis, dass die Komponenten des Systems die an Standorten auftretenden Kräfte aufnehmen können. Auf diese Weise kann auf individuelle Statikprüfungen in der bauaufsichtlichen Prüfung verzichtet werden, was Kosten und Zeit im Umsetzungsprozess spart.

SCHULEN

- Schulen sollten sich proaktiv über die Möglichkeiten der Umsetzung von Fassadenbegrünungen informieren, auf ihre zuständige Stadt- bzw. Gemeindeverwaltung zugehen und gemeinsam mit dieser Umsetzungs- und Finanzierungsoptionen erörtern und bei Bedarf Förderanträge stellen bzw. Die Schulträger bei Anträgen unterstützen (z. B. bei der DUH).
- Um die Integration von Fassadenbegrünungen an Schulen und ihrer Integration in den Unterricht zu fördern, könnten Schulleitungen Anreize für die Bemühungen von Lehrkräften dahingehend schaffen, beispielsweise in Form einer anerkennenden Qualifizierung.

Bei der Planung und Umsetzung einer Fassadenbegrünung sollten Schulen die Lehrkräfte und die Schülerinnen und Schüler im Sinne einer co-kreativen Entwicklung aktiv in die Planung, Umsetzung und Pflege der Begrünung involvieren, beispielsweise in Form von Wahlpflichtkursen oder AGs, um so Transparenz und eine Eigenverantwortung hinsichtlich der Begrünung zu schaffen.

- Im Sinne eines naturbasierten Lernens sollten Schulen das Bildungspotenzial von Fassadenbegrünungen erkennen und fächerübergreifende Unterrichtseinheiten mit Fassadenbegrünungen als Lernmittel einführen, beispielsweise innerhalb von Projektwochen. Bei Bedarf sollten Fortbildungen für Lehrkräfte zu den pädagogischen Möglichkeiten des naturbasierten Lernens mit Fokus auf Bildung an und über Fassadenbegrünung angeboten oder genutzt werden.

VERWALTUNG

- Die Umsetzung von Fassadenbegrünungen an eigenen, öffentlichen Gebäuden sollte politisch priorisiert werden, um die Vorbildwirkung der öffentlichen Hand nicht zu verkennen. Dies würde die Akzeptanz von Fassadenbegrünungen steigern und deren Machbarkeit praktisch demonstrieren.
- Landes- oder Kommunalverwaltungen sollten klare Richtlinien, Verfahren und Verantwortlichkeiten für die Genehmigung und Umsetzung von Fassadenbegrünungen entwickeln, beispielsweise durch die Novellierung von Bauordnungen, durch die Festsetzung in der Bauleitplanung, durch die Novellierung des Biotopflächenfaktors zu Gunsten von Fassadenbegrünungen, durch die Erstellung anwendungsorientierter, forschungsbasierter Planungshilfen nach dem Hamburger oder Wiener Vorbild oder durch die Schaffung standardisierter Prüfteams, da beispielsweise die Zuständigkeiten hinsichtlich Fassadenbegrünungen in Baureferaten/-ämtern häufig noch ungeklärt sind.
- Auch beim Thema Fassadenbegrünungen gilt es das fragmentierte Verwaltungshandeln zu überwinden und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Verwaltungsabteilungen zu fördern bei gleichzeitigem Abbau überbürokratisierter Regelungen.
- Als potenzieller Biomasselieferant sollten Fassadenbegrünungen künftig Berücksichtigung innerhalb nachhaltiger Biomassestrategien finden. Hier gilt es Fassadenbegrünungen als Gegenstand in kommunale Pflegekonzepte grüner Infrastruktur zu integrieren und diese mit Biomassestrategien zu verzahnen.
- Kommunalverwaltungen sollten aktiv überprüfen, inwiefern bestehende an Kommunen gerichtete Fördermittel, die Fassadenbegrünungen als Fördergegenstand einschließen, auch für öffentliche Schulbauten genutzt werden können und diese und weitere öffentliche Gebäude als Umsetzungsstandort in Erwägung ziehen.

Statische Vorprüfungen für Fassadenbegrünungen sollten seitens der Verwaltung bereits vor etwaigen Vergabeverfahren durchgeführt werden und nicht erst Teil der Vergabe sein oder erst während des Planungsprozesses stattfinden. Wenn dies auch die Systemmöglichkeiten einschränken mag, verhindert es spätere Unklarheiten in der Zuständigkeit der statischen Prüfung oder benötigte Umplanungen aufgrund unerwarteter Erkenntnisse im Planungsprozess.

FÖRDERMITTELGEBER

- Zahlreiche Förderprogramme für Fassadenbegrünungen schließen die Begrünung von öffentlichen Schulen in der Annahme, dass diese Fassadenbegrünungen über Schulbauförderungen realisieren können, aus. Dem gilt es durch die Öffnung von Förderprogrammen für den Förderstandort Schule entgegenzuwirken.
- Zahlreiche Förderprogramme fördern lediglich die Planungs- und Investitionskosten und in manchen Fällen die Fertigstellungspflege von Fassadenbegrünungen, jedoch nicht die langfristige Pflege und Instandhaltung. Dieser Aspekt stellt Schulen vor große Herausforderung und sollte, wenn nicht durch die Förderung selbst zumindest durch den Verweis auf mögliche Lösungswege begegnet werden.
- Trotz bestehender Forschungsarbeiten bedarf es weiterer Förderung zur Erforschung der städtischen Biomasseproduktion und die ganzheitliche Betrachtung der aktuellen und potenziellen Stoff- und Energieflüsse am Beispiel von Fassadenbegrünungen.
- Förderprogramme sollten ausreichend lange Einreichzeiträume für Förderanträge sowie ausreichend lange Zuwendungszeiträume eröffnen, da gerade an öffentlichen Gebäuden Abstimmungs- und Planungsprozesse aufgrund bspw. der Anzahl und Überzeugungsarbeit zu involvierender Akteure oder verpflichtender Vergabeverfahren oftmals träge sind und ihre Zeit brauchen.

INITIIERENDE & AUFTRAGGEBER VON FASSADENBEGRÜNUNGEN

- Bei der Umsetzung von Fassadenbegrünungen sollten alle relevanten Stakeholder partizipativ in den Planungs- und Umsetzungsprozess involviert werden, allen voran die jeweilige Schulgemeinschaft, um die langfristige Pflege und Integration der Fassadenbegrünung in den Unterricht zu fördern und so einen maximalen Bildungs- und Akzeptanzeffekt zu gewährleisten.
- Um die langfristige Effektivität von Fassadenbegrünungen zu sichern, um konfliktäre Maßnahmen an der Begrünung zu verhindern und um Koordinierungsbedarfe zu reduzieren, empfiehlt sich die Beauftragung eines Unternehmens für die Installation und Unterhaltspflege inklusive der Wartung von Bewässerungssystemen anstelle der Beauftragung unterschiedlicher Unternehmen für die verschiedenen Aufgabenbereiche.
- Um das Brandschutzrisiko von Fassadenbegrünungen zu verringern, ist eine ausreichend bewässerte Begrünung von zentraler Bedeutung. In Schulen stellen besonders die Sommerferien einen kritischen Überlebenszeitraum der Begrünung dar. Daher sollte der Einsatz von automatischen Bewässerungssystemen eingeplant werden, sofern eine anderweitige regelmäßige Bewässerung nicht gewährleistet werden kann. Ebenso relevant zur Reduzierung des Brandschutzrisikos ist die Vermeidung einer Verwilderung der Fassadenbegrünungen. Hierfür sind einjährige Pflanzen mehrjährigen Pflanzen vorzuziehen.
- Besonders im Kontext Schule und anderer öffentlicher Gebäude empfiehlt sich zur langfristigen Kosteneinsparung die Bevorzugung leicht zu pflegender Systeme, die oftmals auch mit geringeren anfänglichen Investitionskosten einhergehen. Hierbei gilt es von Beginn an ein langfristiges Pflegekonzept zu entwickeln und entsprechende Verantwortlichkeiten festzulegen.
- Die Wahl des entsprechenden Fassadenbegrünungssystems sollte die jeweiligen Standortbedingungen sowie den erhofften Nutzen gründlich berücksichtigen, um Probleme im Umsetzungsprozess und ausbleibende Wirkungen zu vermeiden. So ist beispielsweise an einer nordausgerichteten Fassade oder mit einer nicht flächendeckenden Begrünung der Fassade kein signifikanter Effekt hinsichtlich der Innenraumkühlung zu erwarten.

REFERENZEN

- Albert, M., Verian, I. L., de Moll, F., Quenzel, G., Rysina, A., Schneekloth, U., & Wolfert, S. (2024). Zusammenfassung der Shell Jugendstudie 2024.
- Amaddin, P. A. M., Idris, S., Yusoff, M. M., Sayuti, Z., Azlan, M. H., & Salleh, M. A. M. M. (2020). Plant density and planter level of leafy vegetables affected yield and plant components in vertiplaner, self-watering vertical for urban gardening. 10. <https://ijafp.org/issue/volume-10-september-2020/>
- Amt für Bauordnung und Hochbau Freie und Hansestadt Hamburg. (2024). F A Q Bauordnungsrechtliche Anforderungen an Fassadenbegrünungen. <https://www.Hamburg.de/Resource/Blob/190360/3e4cb1a538bf6519c798742588a7b2fb/Faq-Bauordnungsrechtliche-Anforderungen-an-Fassadenbegruenungen-Data.Pdf>.
- Arnold, K. (Autor/in). (2018). Windkräfte auf bewachsene Seilfassaden. <https://zenodo.org/records/1409485>
- Arnold, K., Gosztonyi, S., & Luible, A. (2021a). Wind Forces in Overgrown Rope Façades: Drag Coefficient Suggestion for Climbing Plants Based on Study Review. *Journal of Facade Design and Engineering*, 9(2), 73–94. <https://doi.org/10.7480/jfde.2021.2.4831>
- Arnold, K., Gosztonyi, S., & Luible, A. (2021b). Wind Forces in Overgrown Rope Façades: Wind Tunnel Tests on Five Climbing Plants. *Journal of Facade Design and Engineering*, 9(2), 95–118. <https://doi.org/10.7480/jfde.2021.2.4833>
- Arnold, K., & Luible, A. (2022). Kräfte in pflanzenbewachsenen Seilfassaden und -strukturen - Experimentelle Untersuchung und Entwicklung eines Lastmodells und Bemessungskonzepts. <https://zenodo.org/records/6108583>
- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R. F., Pegenaute, F., Herrmann, F. R., Robine, J. M., Basagaña, X., Tonne, C., Antó, J. M., & Achebak, H. (2023). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, 29(7), 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>
- Beacham, A. M., Vickers, L. H., & Monaghan, J. M. (2019). Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(3), 277–283. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1574214>
- Berliner Regenwasseragentur. (2024). Fassadenbegrünung. <https://Regenwasseragentur.Berlin/Massnahmen/Fassadenbegruenung/>.
- BNE Kompetenzzentrum. (2024). <https://www.bne-kompetenzzentrum.de/de/welche-zusammenhaenge-gibt-es-zwischen-nachhaltiger-entwicklung-und-bildung-fuer-nachhaltige>.
- Brandl, H. (2011). Stadtentwicklungsplan Klima. Kulturbuch-Verl.
- Buchin, O., Hoelscher, M.-T., Meier, F., Nehls, T., & Ziegler, F. (2015). Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands. *Energy and Buildings*, 114, 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.038>
- Buchin, O., Jänicke, B., Meier, F., Scherer, D., & Ziegler, F. (2016). The role of building models in the evaluation of heat-related risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 963–976. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-963-2016>
- BuGG. (2023). BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2023. https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Marktreport/BuGG-Marktreport_Gebaeudegruen_2023_komp.pdf
- BuGG. (2024). BuGG-Fachinformation „Leitfaden kommunale Förderinstrumente Dach-und Fassadenbegrünung sowie Entsiegelung und Hofbegrünung.“ www.gebaeuedegruen.info
- Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, des B. für E. und L. sowie des B. für U. N. nukleare S. und V. in Z. (2022). Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS).
- Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J., & Beecham, S. (2018). Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. *Building and Environment*, 146, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.045>
- Churkina, G., Brown, D. G., & Keoleian, G. (2010). Carbon stored in human settlements: the conterminous United States: Carbon in human settlements. *Global Change Biology*, 16(1), 135–143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02002.x>
- Dahm, Y., Paton, E., Kaupenjohann, M., & Nehls, T. (2021). Comparison of two vertical green irrigation methods with a cost-effective soil moisture measurement system.
- Dettmar, J., Pfoser, N., & Sieber, S. (2016). Gutachten Fassadenbegrünung : Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen. <https://publications.rwth-aachen.de/record/686151>
- DiCampli, J., & Schulke, W. (2013). Grid Stability: Gas Turbines for Primary Reserve. ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference and Exposition, V004T09A002. <https://doi.org/10.1115/GT2013-94466>

- Dincer, I., Colpan, C. O., & Ezan, M. A. (2020). Environmentally-Benign Energy Solutions. In *Green Energy and Technology*. Springer International Publishing. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-20637-6>
- Engels, A., Marotzke, J., Ratter, B., Gonçalves Gresse, E., López-Rivera, A., Pagnone, A., & Wilkens, J. (2024). *Hamburg Climate Futures Outlook 2024 - Conditions for Sustainable Climate Change Adaptation*. <https://doi.org/10.14361/9783839470817>
- Engel, T. (2023a). *FireSafeGreen—Façade Fire Test—V1 (wall—Vital)* [Video recording]. https://www.youtube.com/watch?v=0Viq3_0t0nl&ab_channel=HolzbauundBaukonstruktion
- Engel, T. (2023b). *FireSafeGreen—Façade Fire Test—V2 (wall—Dry)* [Video recording]. https://www.youtube.com/watch?v=zINSIwwOU28&ab_channel=HolzbauundBaukonstruktion
- Engel, T., & Noder, J. (2020). Begrünte Fassaden aus brandschutztechnischer Sicht. *Bautechnik*, 97(8), 549–557. <https://doi.org/10.1002/bate.202000041>
- Engel, T., & Werther, N. (2024). Fire Safety for Green Façades: Part 1: Basics, State-of-the-Art Research and Experimental Investigation of Plant Flammability. *Fire Technology*, 60(3), 2177–2230. <https://doi.org/10.1007/s10694-024-01566-0>
- Engel, T., & Winter, S. (2024). Grundlagen zur brandschutztechnischen Anwendbarkeit von begrünten Fassaden an mehrgeschossigen Gebäuden. https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Engel-6/publication/378775828_Grundlagen_zur_brandschutztechnischen_Anwendbarkeit_von_begruenten_Fassaden_an_mehrgeschossigen_Gebaeuden/links/65e98afbadf2362b637d2e27/Grundlagen-zur-brandschutztechnischen-Anwendbarkeit-von-begruenten-Fassaden-an-mehrgeschossigen-Gebaeuden.pdf
- Enzi, V., Steinbauer, G., Oberbichler, C., Lichtblau, A., Haas, S., Dyk, G., Korjenic, A., Tudiwer, D., & Jesner, L. (2019). Leitfaden Fassadenbegrünung (Wiener Umweltschutzabteilung - Bereich Räumliche Entwicklung & ÖkoKaufWien - Arbeitsgruppe 25 Grün- und Freiräume, Eds.). <https://www.digital.wienbibliothek.at/wbrup/download/pdf/3559573?originalFilename=true>
- Faaij, A. (2006). Modern Biomass Conversion Technologies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2), 343–375. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9004-7>
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (2018). *Fassadenbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen*. <https://shop.fll.de/de/fassadenbegrueunungsrichtlinien-richtlinien-fuer-die-planung-bau-und-instandhaltung-von-fassadenbegrueunungen-2018-broschuere.html>
- Freie und Hansestadt Hamburg Klima Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA), B. für U. (2020). *Handbuch grüne Wände*. <https://www.hamburg.de/contentblob/13871400/fab9561696501bf6902c7c48e86477d1/data/d-fassadenguide.pdf>
- Gebhard, U. (2009). *Kind und Natur* (Vol. 5). Springer VS. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-658-21276-6>
- Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. *Environmental Science & Technology*, 43(19), 7564–7570. <https://doi.org/10.1021/es901539x>
- Gianoli, E. (2015). The behavioural ecology of climbing plants. *AoB Plants*, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv013>
- Greenpeace e.V. (2023). *Whole School Approach - Ganzheitlicher Ansatz zur Schulentwicklung* (p. 48). Greenpeace. https://www.greenpeace.de/publikationen/whole_school_approach_schulentwicklung_sfe_202311.pdf
- Günther, M. (2024). *Evaluation der Bildungsarbeit des Projektes „FaBiKli“ - Fassadenbegrünung und Biomasseverwertung für Klimaschutz an Schulen*. unveröffentlicht, Berliner Hochschule für Technik.
- Gusovius, H.-J. (2021). *Entwicklung einer technologischen Kette für die stoffliche Nutzung von Hopfenpflanzen - Vorprojekt: Technische Machbarkeit*.
- Haan, G. de, & Harenberg, D. (1999). *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Gutachten zum Programm. Bund-Länder-Kommission Für Bildungsplanung Und Forschungsförderung*.
- Hankel, H. (2024). *Grünes Lernen - Implementierungsbarrieren integrativer Fassadenbegrünung an Berliner Schulen*. Technische Universität Berlin.
- Hoelscher, M.-T., Nehls, T., Jänicke, B., & Wessolek, G. (2016). Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*, 114, 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.047>
- Hoffmann, K. A., Schröder, S., Nehls, T., Pitha, U., Pucher, B., Zluwa, I., Gantar, D., Erjavec, I. S., Kozamernik, J., Yeh, C. K., Kühle, L., Breu, S., Prenner, F., Schnepf, D., Rösch, E., Koblar, S., & Macher, M. (2023). *Vertical Green 2.0 - The Good, the Bad and the Science*. <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/62259/9783798332805.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hoffmann, K. A., Šuklje, T., Kozamernik, J., & Nehls, T. (2021). Modelling the cooling energy saving potential of facade greening in summer for a set of building typologies in mid-latitudes. *Energy and Buildings*, 238, 110816. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110816>

- Holst, J., Grund, J., & Brock, A. (2024). Whole Institution Approach: measurable and highly effective in empowering learners and educators for sustainability. *Sustainability Science*, 19(4), 1359–1376. <https://doi.org/10.1007/s11625-024-01506-5>
- Holzbaur, U. (2020). *Nachhaltige Entwicklung*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-29991-0>
- ICU. (2021). *Umsetzung der klimaverträglichen Biomasse-Verwertung (Laub und Mähgut) in Berlin*. Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz.
- Jankowski, K. J., Dubis, B., Sokólski, M. M., Załuski, D., Bórawski, P., & Szempliński, W. (2020). Productivity and energy balance of maize and sorghum grown for biogas in a large-area farm in Poland: An 11-year field experiment. *Industrial Crops and Products*, 148, 112326. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112326>
- Jiang, C., Zhou, Y., Li, K., & Wei, D. (2023). Impact of green roof and green facade on building thermal performance and carbon sequestration in subtropical climate of China. *Journal of Building Physics*, 46(5), 602–629. <https://doi.org/10.1177/17442591221145514>
- Karutz, R., Knifka, W., & Zozmann, H. (2023). Barriers and Solutions to Green Facade Implementation—A Review of Literature and a Case Study of Leipzig, Germany. *Buildings* 2023, 13(1621). <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/7/1621>
- Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2009). Experiential learning theory: A dynamic, holistic approach to management learning, education and development. In *The SAGE Handbook of Management Learning, Education and Development* (pp. 42–68). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.4135/9780857021038.n3>
- Kompetenzstelle Brandschutz (KSB), B. W. (2023). MA 37 – 739611 - 2021: Fassadenbegrünung brandschutztechnische Anforderungen. <https://www.wien.gv.at/wohnen/baupolizei/pdf/fassadenbegruenung.pdf>
- Korjenic, A., Tudiwer, D., Hollands, J., Fischer, H., Mitterböck, M., Gonaus, T., Salonen, T., Blaha, A., Pitha, U., Weiss, O., Frühwirt, G., Knoll, B., Hofleitner, B., Renkin, A., Dopheide, R., Fischer, T., & Kainz, B. (2020). GRÜNE ARCHITEKTUR IM SCHULBAU - Leitfaden. <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/40123>
- Kranvogel, A., Gießen, U., & Giessen, J. L. U. (2013). Zur feldmäßigen Inkulturnahme von Efeu (*Hedera helix* L. Araliaceae). <https://jpubub.uni-giessen.de//handle/jpubub/17219>
- Kühle, L. (2020). *An Analysis of Obstacles and Elaboration of Measures for an Integrative Implementation of Façade Greening in German Cities - Stakeholder Workshop Evaluation and Constellation Analysis*. (unveröffentlicht)
- Liefländer, A. K., Fröhlich, G., Bogner, F. X., & Schultz, P. W. (2013). Promoting connectedness with nature through environmental education. *Environmental Education Research*, 19(3), 370–384. <https://doi.org/10.1080/13504622.2012.697545>
- Löschmann, L. (2001). *Leben und Arbeiten im begrünten Haus – eine Bürgerbefragung* [Diplomarbeit (unveröffentlicht)]. Universität zu Köln.
- Lude, A., & Raith, A. (2014). *Startkapital Natur*. oekom verlag.
- Luo, H., Liu, X., Anderson, B. C., Zhang, K., Li, X., Huang, B., Li, M., Mo, Y., Fan, L., Shen, Q., Chen, F., & Jiang, M. (2015). Carbon sequestration potential of green roofs using mixed-sewage-sludge substrate in Chengdu World Modern Garden City. *Ecological Indicators*, 49, 247–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.016>
- Madejski, P., Chmiel, K., Subramanian, N., & Kuś, T. (2022). Methods and Techniques for CO₂ Capture: Review of Potential Solutions and Applications in Modern Energy Technologies. *Energies*, 15(3), 887. <https://doi.org/10.3390/en15030887>
- Magliocco, A., & Perini, K. (2015). The perception of green integrated into architecture: Installation of a green facade in Genoa, Italy. *AIMS Environmental Science*, 2(4), 899–909.
- Mahabadi, M., & Arenz, A. (2000). *Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen: aus der Arbeit des AK „Fassadenbegrünungen“* (F. L. L. und F. B. und B. für V. H. F. FLL, Ed.; Vol. 2).
- Mann, G. (2024). *Nachträgliche Begrünung bestehender Gebäude: Forschungsprojekt BestandsGebäudeGrün*. Quartier Fachmagazin Für Urbanen Wohnungsbau.
- Marchi, M., Pulselli, R. M., Marchettini, N., Pulselli, F. M., & Bastianoni, S. (2015). Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling*, 306, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.013>
- Mayrand, F., Clergeau, P., Vergnes, A., & Madre, F. (2018). Vertical Greening Systems as Habitat for Biodiversity. In *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability* (pp. 227–237). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00021-5>
- Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R. M., & Bastianoni, S. (2013). Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. *Building and Environment*, 64, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.005>
- MBO. (2019). *Musterbauordnung -MBO- Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 22.02.2019*.

Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (2022). Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Klimawandelvorsorge in Kommunen (RL KliWaVo). In https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/landesamt/foerderprogramme/hitze/Richtlinie_Klimawandelvorsorge_KliWaVo.pdf.

Molesworth, I., & Walker, P. (2010). Sustainable Masonry Constructions: Initial structural tests of brick and hemp-lime composite walls. *Mauerwerk*, 14(3), 161–166. <https://doi.org/10.1002/dama.201002045>

Morandi, F., Perrin, A., & Østergård, H. (2016). Miscanthus as energy crop: Environmental assessment of a miscanthus biomass production case study in France. *Journal of Cleaner Production*, 137, 313–321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.042>

Mozny, M., Tolasz, R., Nekovar, J., Sparks, T., Trnka, M., & Zalud, Z. (2009). The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6–7), 913–919. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.02.006>

Munteanu, N., HAMBURDĂ, S. B., & Popa, D. (2013). Research on the main productivity features in an assortment of runner bean (*Phaseolus Coccineus* L.) in the environmental conditions from NE Romania.

Nachreiner, M., Laufer, D., Belakhdar, T., & Koch, U. (2019). *Umweltbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung - zielgruppenorientiert und wirkungsorientiert!*

Nassi o di Nasso, N., Guidi, W., Ragolini, G., Tozzini, C., & Bonari, E. (2010). Biomass production and energy balance of a 12-year-old short-rotation coppice poplar stand under different cutting cycles. *GCB Bioenergy*, 2(2), 89–97. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01043.x>

Natarajan, M., Rahimi, M., Sen, S., Mackenzie, N., & Imanbayev, Y. (2015). Living wall systems: evaluating life-cycle energy, water and carbon impacts. *Urban Ecosystems*, 18(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0378-8>

Nationale Plattform Bildung für nachhaltige Entwicklung. (2017). *Nationaler Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung*.

Nehls, T., Schwartz, C., Kim, K. H. J., Kaupenjohann, M., Wessolek, G., & Morel, J. L. (2015). Letter to the editors: Phyto-P-mining—secondary urban green recycles phosphorus from soils constructed of urban wastes. *Journal of Soils and Sediments*, 15(8), 1667–1674. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-1023-0>

Ohlhorst, D., & Kröger, M. (2014). Konstellationsanalyse: Einbindung von Experten und Stakeholdern in interdisziplinäre Forschungsprojekte. In *Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung* (pp. 95–116). Springer Fachmedien Wiesbaden.

Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43(12), 3419–3429. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>

Papludis, A., Alagić, S., Milić, S., Medić, D., Zlatanović, I., Nikolić, J., & Stankov-Jovanović, V. (2023). The capacities of Hedera helix from the Bor region for PAH accumulation in the root and implications for phytostabilization. *Zastita Materijala*, 64(1), 13–21. <https://doi.org/10.5937/zasmat2301013P>

Perini, K., Magrassi, F., Giachetta, A., Moreschi, L., Gallo, M., & Del Borghi, A. (2021). Environmental Sustainability of Building Retrofit through Vertical Greening Systems: A Life-Cycle Approach. *Sustainability*, 13(9), 4886. <https://doi.org/10.3390/su13094886>

Pfoser, N. (2016). *Fassade und Pflanze - Potenziale einer neuen Fassadengestaltung*. Technische Universität Darmstadt.

Prüf-, I. Z. der S. W. (Magistratsabteilung 39). (2018). Studie zum Thema „Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen“. <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?inc=download&id=5902>

Prüf-, I. Z. der S. W. (Magistratsabteilung 39). (2020). Zweite Studie zum Thema „Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen“. <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?inc=download&id=6004>

Prüf-, I. Z. der S. W. (Magistratsabteilung 39). (2021). Studie zum Thema „Brandverhalten von Grünfassaden in großmaßstäblichen Versuchen“. <https://www.wohnbauforschung.at/index.php?inc=download&id=6026>

Pulselli, R. M., Saladini, F., Neri, E., & Bastianoni, S. (2014). A comprehensive lifecycle evaluation of vertical greenery systems based on systemic indicators. *SUSTAINABLE CITY 2014*, 1017–1024. <https://doi.org/10.2495/SC140862>

Raji, B., Tenpierik, M. J., & van den Dobbelsteen, A. (2015). The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 610–623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.011>

Roehle, H., Boecker, L., Feger, K.-H., Petzold, R., Wolf, H., & Ali, W. (2008). Anlage und Ertragsaussichten von Kurzumtriebsplantagen in Ostdeutschland | Establishment and expected yield of short-term rotation plantations in Eastern Germany. *Schweizerische Zeitschrift Fur Forstwesen*, 159(6), 133–139. <https://doi.org/10.3188/szf.2008.0133>

Roy, P., & Dias, G. (2017). Prospects for pyrolysis technologies in the bioenergy sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.136>

- Ruiz, J. A., Juárez, M. C., Morales, M. P., Muñoz, P., & Mendivil, M. A. (2013). Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.021>
- Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and Future Energy Consumption of Buildings: Challenges and Opportunities towards Decarbonisation. *E-Prime*, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>
- Schattenberg, M. (2015). Masterarbeit Erprobung neuer Vermittlungsformen für den Bereich der Arten- und Formenkenntnis im schulischen Kontext [Leuphana Universität Lüneburg]. <http://core.ac.uk/download/pdf/11539528.pdf>
- Schlößler, S. (2003). Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung: Meinungsbilder Kölner Bürger - eine Bevölkerungsbefragung. <https://kups.ub.uni-koeln.de/924/2/Hauptteil.pdf>
- Schlößler, S. A. (2003). Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung: Meinungsbilder Kölner Bürger-eine Bevölkerungsbefragung.
- Schmidt, M. (2006). The contribution of rainwater harvesting against global warming. Technische Universität Berlin, IWA Publishing, London, UK, 9.
- Serra, V., Bianco, L., Candelari, E., Giordano, R., Montacchini, E., Tedesco, S., Larcher, F., & Schiavi, A. (2017). A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research project. *Energy and Buildings*, 146, 333–352. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.046>
- Smoyer, K. E., Kalkstein, L. S., Greene, J. S., & Ye, H. (2000). The impacts of weather and pollution on human mortality in Birmingham, Alabama and Philadelphia, Pennsylvania. *International Journal of Climatology*, 20(8), 881–897. [https://doi.org/10.1002/1097-0088\(20000630\)20:8<881::AID-JOC507>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1097-0088(20000630)20:8<881::AID-JOC507>3.0.CO;2-V)
- Stec, W. J., Van Paassen, A. H. C., & Maziarz, A. (2005). Modelling the double skin façade with plants. *Energy and Buildings*, 37(5), 419–427. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.008>
- Tams, L., Nehls, T., & Calheiros, C. S. C. (2022). Rethinking green roofs- natural and recycled materials improve their carbon footprint. *Building and Environment*, 219, 109122. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109122>
- Thönnessen, M. (2006). Staubfilterung und immissionshistorische Aspekte am Beispiel fassadenbegrünenden Wilden Weines (*Parthenocissus tricuspidata*). *UWSF-ZUMweltchemÖkotex*, 18, 5–12. <http://dx.doi.org/10.1065/luwsf2005.11.108>
- UBA. (2021). Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland Kurzfassung. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_zusammenfassung_bf_211027_0.pdf
- UN Conference on Environment & Development. (1992). Agenda 21. <http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21.htm>.
- Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039>
- Wagner, J., Thomas Kügler Janett Baumann Marko Günther Dr. Christina Dornack Veit Grundmann Axel Zentner Ulrike Lange Dr. Antje Zehm Katja Heinke Micaela Mitschke Stefan Zinkler, K. H., & Scholz, H. (2012). Potenzialstudie über Aufkommen und Behandlung biogener Abfälle im Freistaat Sachsen. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie - Freistaat Sachsen.
- Wang, X., Gard, W., Borska, H., Ursem, B., & Van De Kuilen, J. W. G. (2020). Vertical greenery systems: from plants to trees with self-growing interconnections. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(5), 1031–1043. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01583-0>
- Wells, N. M., & Lekies, K. S. (2006). Nature and the Life Course: Pathways from Childhood Nature Experiences to Adult Environmentalism. *Children, Youth and Environments*, 16(1), 1–24. <https://doi.org/10.1353/cye.2006.0031>
- Werner, C., Schmidt, H.-P., Gerten, D., Lucht, W., & Kammann, C. (2018). Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems for limiting global warming to 1.5 °C. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabb0e>
- Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. *Energy*, 137, 617–631. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>
- Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. *Landscape and Urban Planning*, 123, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.015>
- Wien, S., & Bundesdenkmalamt. (2019). Checkliste für die erforderlichen Genehmigungen von Fassadenbegrünungen. <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/behoeerdencheck.pdf>
- Winter, J. (2021). Baurechtliche Grundlagen für Schulen. <https://www.feuertrutz.de/planung-von-schulbauten-baurechtliche-grundlagen-fuer-schulen>
- Zhang, Y., Yang, Y., Zhang, L., Zhao, C., Yan, J., Liu, M., & Zhao, L. (2022). Seasonal variation in leaf area index and its impact on the shading effects of vertical green facades in subtropical areas. *Building and Environment*, 225, 109629. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109629>

Kühlung, Schadstofffilterung, Biomassenutzung, Biodiversitätsförderung – Fassadenbegrünungen bieten insbesondere im dicht besiedelten urbanen Raum viele Vorteile, prägen das Stadtbild aber bislang nur vereinzelt. Diese Potenzialstudie wirft einen ganzheitlichen Blick auf die städtische vertikale Begrünung als Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahme. Sie beleuchtet sowohl die Wirksamkeit für Klimaschutz und -anpassung als auch Biomasseverwertungsszenarien. Des Weiteren wird aufgezeigt wie Fassadenbegrünungen im Sinne eines Whole Institution-Ansatzes Lösungsansätze für die Klima- und Biodiversitätskrise darstellen und welche Wirkung sie durch die Integration in den Unterricht entfalten. Abschließend werden Implementierungsbarrieren beleuchtet und Empfehlungen gegeben, die helfen können, diese Barrieren abzubauen. Die Studie wurde im Rahmen des Pilotprojektes Fassadenbegrünung und Biomasseverwertung für Klimaschutz an Schulen (FaBiKli) durchgeführt, in dem an Bestandsgebäuden Berliner Schulen erstmals Fassadenbegrünungssysteme angebracht wurden.



**Unabhängiges Institut
für Umweltfragen (UfU) e.V.**
Greifswalder Straße 4, 10405 Berlin

www.ufu.de



Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

www.tu.berlin

