

Förderrichtlinie Dach- und Fassadenbegrünung - Machbarkeitsstudie

Kurzfassung vom 21.01.2022

Forschungsprogramm

Grün in der Stadtentwicklung

Projektlaufzeit

28. Juni 2021 bis 29. Oktober 2021 (Fortsetzung aus 2020)

Aktenzeichen

SWD – 10.08.86.16.5

Im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG), Berlin
IBF Ingenieurtechnische Beratung Fischer, Velbert



Dr. Gunter Mann (BuGG)	Kap. 4.5
Dr. Bernhard Fischer (IBF)	Kap. 4.4
Sebastian Fischer (IBF)	Kap. 2.3
M.Sc. Rebecca Gohlke (BuGG)	Kap. 4.1-4.3, 5
M.Sc. Felix Mollenhauer (BuGG)	Kap. 2.4, 3
M.Sc. Fiona Wolff (BuGG)	Kap. 4.6
Prof. Dr. Manfred Köhler, Neubrandenburg	Kap. 1
Prof. Dr.-Ing. Nicole Pfoser, Nürtingen-Geislingen	Kap.2.1,2.2, 2.5

Redaktionelle Bearbeitung durch M. Sc. Rebecca Gohlke (BuGG). Der vorliegende Bericht gibt die Auffassung des Auftragnehmers wieder. Diese ist nicht unbedingt mit der des Auftraggebers identisch.

Kurzfassung

Die klimatischen Veränderungen haben in den Städten besonders gravierende Auswirkungen. Insbesondere in hochverdichteten Stadtgebieten ist eine steigende Anzahl an Sommertagen, heißen Tagen und Tropennächten zu beobachten, die die menschliche Gesundheit belasten. Es fehlt an Grünräumen, um die Aufheizung durch Verdunstung und Verschattung zu mildern. Darüber hinaus kommt es verstärkt zu Starkregenereignissen. Die kommunalen Entwässerungseinrichtungen können den immensen Oberflächenabfluss der versiegelten Flächen teilweise nicht mehr aufnehmen, was immer wieder zu Überflutungen und Schäden führt. Als Antwort auf die aktuellen Herausforderungen erarbeiten immer mehr Städte Klimaanpassungskonzepte. Die Bedeutung von Stadtgrün zur Reduzierung der Hitzebelastung und als Beitrag zur Überflutungsvorsorge wird dabei erkannt. Neben Parkanlagen und Stadtbäumen spielt auch die Gebäudebegrünung eine wichtige Rolle. Sowohl die Dach- als auch die Fassadenbegrünung können als Klimaanpassungsmaßnahmen im Bestand und im Neubau umgesetzt werden. Durch ihre Gebäudenähe befinden sie sich im direkten Wirkungskreis des Menschen. Ihr großer Vorteil im Vergleich zu anderen Begrünungsmaßnahmen besteht im geringen Platzverbrauch, weshalb sie sich besonders zur Begrünung von Gebäuden in dichten Stadtstrukturen eignen, und somit eine multifunktionale Dach- und Fassadennutzung ermöglichen.

Das Forschungsprojekt „Förderrichtlinie zur Dach- und Fassadenbegrünung – Machbarkeitsstudie“ wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Grün in der Stadt“ vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), vertreten durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) beauftragt. Die Bearbeitung erfolgte durch die Auftragnehmer Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG) und IBF Ingenieuretechnische Beratung Fischer. Die Machbarkeitsstudie basiert auf einer umfassenden Analyse und systematischen Literaturrecherche zum aktuellen Wissensstand der Dach- und Fassadenbegrünung. Zudem wurden eine quantitative Online-Befragung verschiedener Zielgruppen (Städte und andere Fördermittelgeber, Bildungs- und Forschungseinrichtungen, Verbände, Ministerien, Systemhersteller, Planende, Ausführungsbetriebe, gewerbliche und private Bauleute) und qualitative Experteninterviews durchgeführt.

Zu Beginn der Analyse werden die stadtklimatischen und ökologischen Wirkungen von Gebäudebegrünung dargestellt. Dabei werden Untersuchungen zum Beitrag von Dach- und Fassadenbegrünungen zur Minderung des urbanen Wärmeinsel-Effektes, zur CO₂-Bindung und Feinstaubbindung, zum Regenwasserrückhalt, zur Erhöhung der Biodiversität sowie zu weiteren Effekten zusammengetragen. Die Forschungsaktivität zur Gebäudebegrünung hat auf internationaler Ebene stark zugenommen. Die vielfältigen positiven Wirkungen der Dach- und Fassadenbegrünungen können wissenschaftlich belegt werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht jedoch in Langzeituntersuchungen und Real Laboren zur Gebäudebegrünung. Anschließend werden die verschiedenen bautechnischen Lösungen zur Dach- und Fassadenbegrünung kategorisiert, beschrieben und ihre jeweiligen Vor- und Nachteile benannt. Anhand einer ökobilanziellen Betrachtung nach DIN EN ISO 14040 kann festgehalten werden, dass ein Gründach im Verhältnis zu einem Kiesdach durch die CO₂-Speicherung der Pflanzen und die Energieeinsparungen ein niedrigeres Treibhausgaspotenzial besitzt. Bestehende Kosten-Nutzen-Betrachtungen werden verglichen und zeigen im Durchschnitt eine Einsparung durch die Dachbegrünung im Gegensatz zu unbegrüntem Dächern auf. Hemmnisse und Hürden zur Umsetzung von Gebäudebegrünungen werden analysiert und Lösungsvorschläge genannt. Des Weiteren werden zusätzliche Flächenpotenziale zur Begrünung von Dächern und Fassaden aufgezeigt. Der Fokus liegt hierbei auf der Kombination von Gebäudebegrünung und Solaranlagen sowie den bautechnischen Voraussetzungen bei der Begrünung von Bestandsbauten. Auch der Zielkonflikt der Gebäudebegrünung mit den Stoffen Mecoprop und Aluminium wird innerhalb der Analyse betrachtet. Zuletzt werden die Instrumente zur Förderung der Dach- und Fassadenbegrünung umfassend dargestellt. Es werden Aussagen zur Berücksichtigung der Gebäudebegrünung in der verbindlichen Bauleitplanung und in Gestaltungssatzungen getroffen. Darüber hinaus werden die Instrumente gesplittete Abwassergebühr, Bewertungssysteme des Nachhaltigen Bauens und Ökokonten angesprochen. Die Bedeutung von Informations- und Beratungsangeboten sowie von Gründachkataster wird herausgestellt. Ein Schwerpunkt liegt auf der Analyse und Auswertung von bestehenden Förderprogrammen des Bundes, der Länder und der Kommunen. Neben den staatlichen Förderprogrammen werden auch internationale Best-Practice-Beispiele und EU-Förderungen vorgestellt. Hemmnisse und Hürden von Förderprogrammen werden abgeleitet und Empfehlungen zur Erfolgssicherung genannt.

Abstract

Climatic changes have particularly serious effects in cities. Especially in high-density urban areas, an increasing number of summer days, hot days and tropical nights can be observed, which are a burden on human health. There is a lack of green spaces to mitigate heating through evaporation and shading. In addition, there is an increase in heavy rainfall events. In some cases, the municipal drainage facilities can no longer absorb the immense surface runoff from the sealed surfaces, which repeatedly leads to flooding and damage.

In response to the current challenges, more and more cities are developing climate adaptation concepts. The importance of urban green spaces for reducing heat stress and as a contribution to flood prevention is being recognised. In addition to parks and urban trees, greening of buildings also plays an important role. Both roof and facade greening can be implemented as climate adaptation measures in existing and new buildings. Due to their proximity to buildings, they are in the direct sphere of human activity. Their great advantage compared to other greening measures is their low space consumption, which is why they are particularly suitable for greening buildings in dense urban structures, thus enabling multifunctional roof and facade use.

The research project "Funding Guideline for Green Roofs and Facades - Feasibility Study" was commissioned by the Federal Ministry of the Interior, for Construction and Home Affairs (BMI), represented by the Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development (BBSR), as part of the research programme "Green in the City". The work was carried out by the contractors German Association of Building Greening (BuGG) and IBF Engineering Consulting Fischer. The feasibility study is based on a comprehensive analysis and systematic literature research on the current state of knowledge of green roofs and facades. In addition, a quantitative online survey of various target groups (cities and other funding agencies, educational and research institutions, associations, ministries, system manufacturers, planners, implementation companies, commercial and private builders) and qualitative expert interviews were conducted.

At the beginning of the analysis, the urban climatic and ecological effects of greening buildings are presented. Studies on the contribution of green roofs and facades to the reduction of the urban heat island effect, to CO₂ binding and fine dust binding, to rainwater retention, to the increase of biodiversity and to other effects are compiled. Research activity on greening buildings has increased significantly at the international level. The manifold positive effects of green roofs and facades can be scientifically proven. However, there is a need for further research in long-term studies and real laboratories on greening buildings. Subsequently, the various constructional solutions for green roofs and facades are categorised, described and their respective advantages and disadvantages are named. Based on a life cycle assessment according to DIN EN ISO 14040, it can be stated that a green roof has a lower greenhouse gas potential than a gravel roof due to the CO₂ storage of the plants and the energy savings. Existing cost-benefit analyses are compared and show an average saving through green roofs in contrast to non-green roofs. Obstacles and barriers to the implementation of green roofs are analysed and solutions are proposed.

Furthermore, additional potential areas for greening roofs and façades are identified. The focus here is on the combination of greening buildings and solar systems, as well as the structural engineering requirements for the greening of existing buildings. The conflict of goals of greening buildings with the materials mecoprop and aluminium is also considered within the analysis. Finally, the instruments for promoting green roofs and facades are presented in detail. Statements are made on the consideration of greening buildings in binding urban land use planning and in design statutes. In addition, the instruments of split wastewater charges, sustainable building assessment systems and eco-accounts are addressed. The importance of information and advisory services as well as green roof registers is highlighted. Emphasis is placed on the analysis and evaluation of existing federal, state and municipal funding programmes. In addition to state funding programmes, international best practice examples and EU funding are also presented. Obstacles and hurdles of funding programmes are derived and recommendations for ensuring success are given.

Inhaltsverzeichnis

Kap.	Inhalt	S.
	Abbildungsverzeichnis	II
	Tabellenverzeichnis	III
	Abkürzungsverzeichnis	IV
1	Stadtklimatischer und ökologischer Beitrag der Dach- und Fassadenbegrünung	1
1.1	Beitrag zur Minderung des urbanen Wärmeinsel-Effektes	3
1.2	Beitrag zur C-Bindung und Feinstaubbindung	5
1.3	Beitrag zum Regenwasserrückhalt	9
1.4	Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität	12
1.5	Weitere Effekte	14
1.6	Begrünungslösungen mit hohem Effekt	15
1.7	Zusammenfassende Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf	17
1.8	Zwischenfazit	19
2	Bautechnische Lösungen zur Dach- und Fassadenbegrünung	21
2.1	Kategorisierung und Beschreibung bautechnischer Lösungen	21
2.2	Vor- und Nachteile bautechnischer Lösungen	25
2.3	Ökobilanz	34
2.4	Kosten-Nutzen-Betrachtung	39
2.5	Hemmnisse und Hürden zur Umsetzung von Gebäudebegrünungen	50
2.6	Zwischenfazit	54
3	Zusätzliche Flächenpotenziale der Dach- und Fassadenbegrünung	55
3.1	Mindestgrößen begrünbarer Flächen	55
3.2	Gebäudebegrünung und Solaranlagen	55
3.3	Bautechnische Voraussetzungen bei der Begrünung von Bestandsbauten	57
3.4	Zielkonflikte: Mecropop und Aluminium	59
3.5	Zwischenfazit	60
4	Instrumente zur Förderung der Dach- und Fassadenbegrünung	62
4.1	Berücksichtigung in der verbindlichen Bauleitplanung	62
4.2	Vorgaben in Gestaltungssatzungen	65
4.3	Gebührenreduktion bei der gesplitteten Abwassergebühr	66
4.4	Berücksichtigung in Bewertungssystemen des Nachhaltigen Bauens	68
4.5	Bedeutung von Informations- und Beratungsangeboten, Gründachkatastern	71
4.6	Ökokonten	73
4.7	Zwischenfazit	74
5	Analyse und Auswertung bestehender Förderprogramme	75
5.1	Staatliche Förderprogramme: Fördermittelgeber, Ziele, Zielgruppen, Budget, Förderquoten	75
5.2	Hemmnisse und Hürden von Förderprogrammen	80
5.3	Internationale Förderprogramme: EU-Förderung und Best-Practice-Beispiele	82
5.4	Zwischenfazit	86
6	Fazit	87
7	Literaturverzeichnis	89

Abbildungsverzeichnis

Nr.	Inhalt	S.
Abbildung 1:	Trocken-Pflanzenmasse von extensiven Dachflächen in Neubrandenburg nach ca. 15 Jahren (Köhler, bisher nicht publiziert), umgerechnet als gespeichertes CO ₂	7
Abbildung 2:	Gebäudeoptimierung und Umfeldverbesserung. Wirkungen sowie Einsparungen durch Gebäudebegrünung (Nicole Pfoser)	32
Abbildung 3:	Aufbau Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040	35
Abbildung 4:	Treibhausgaspotenzial inklusive Gutschriften	37
Abbildung 5:	Sensitivitätsanalyse Baustoffe der ausgewählten Dachbauweisen	37
Abbildung 6:	Kostenvergleich eines 1.000 m ² großen extensiven Gründach mit einem Kiesdach (Pfoser 2013: 144)	41
Abbildung 7:	Positive Wirkungen von Fassadenbegrünungen für Eigentümerschaft und Stadt (Pfoser et al. 2016)	45
Abbildung 8:	Gesamtüberblick der Bauweisen im Kostenvergleich (Dettmar et al. 2016 S.34)	47
Abbildung 9:	Prozentuale Anteile unterschiedlicher Begründungen bei der Festsetzung der Dachbegrünung in B-Plänen (n=53) (Eichholz et al. 2020)	64
Abbildung 10:	Dachgarten der Universität von Kopenhagen. SUND Nature Park / Mærsk Tower (BuGG)	83
Abbildung 11:	Urban-Farming-Dachgarten der Kochschule „Le Cordon Bleu“ in Paris (ZinCo)	84
Abbildung 12:	Gebäudebegrünung des Hotels „Parkroyal on Pickering“ in Singapur (BuGG)	85

Tabellenverzeichnis

Nr.	Inhalt	S.
Tabelle 1:	Kohlenstoffbindung und jährliche CO ₂ -Fixierung durch die Pflanzen der Dach- und Fassadenbegrünungen (in g/m ² , bzw t/ha x Jahr), verschiedene Quellen.	11
Tabelle 2:	Wasserrückhalt bei Extensiv-begrüntem Dächern in mm Niederschlag, bzw. % Retentionsleistung bei 5 Pflanzenkombinationen als Variablen (V).	16
Tabelle 3:	Installations-, Unterhaltungs- und Rückbaukosten von Dach- und Fassadenbegrünungen aus unterschiedlichen Quellen	22
Tabelle 4:	Klimatische Effekte begrünter Dach- und Fassadenbegrünungen, Vergleich der Wirkungen im Mittelmeerraum und in Mitteleuropa.	22
Tabelle 5:	Zusammenfassende Wertungen von messbaren Vorteilen der Dach- und Fassadenbegrünungen in Mitteleuropa	23
Tabelle 6:	Treibhausgaspotenzial Gründächer inklusive Gutschriften & Kiesdach	43
Tabelle 7:	Literaturrecherche CO ₂ -Speicherung Gründächer	43
Tabelle 8:	Deutsche Veröffentlichungen Lebenszyklusbetrachtung Dachbegrünung	45
Tabelle 9:	Investitionskosten (Richtwerte) für eine Dachbegrünung (netto) in €/m ²	47
Tabelle 10:	Instandhaltungskosten (Richtwerte) von Dachbegrünung (netto) in €/m ² /a	48
Tabelle 11:	Investitionskosten (Richtwerte) für eine Fassadenbegrünung (netto) in €/m ²	53
Tabelle 12:	Instandhaltungskosten (Richtwerte) von Fassadenbegrünung (netto) in €/m ² /a	53
Tabelle 13:	Untersuchungsergebnisse von Solar-Gründächern (Annika Henke 2017, ergänzt durch Felix Mollenhauer 2020)	61
Tabelle 14:	Gewichte von Dachbegrünung (Richtwerte)	62
Tabelle 15:	Gewichte von Fassadenbegrünung (Richtwerte)	63
Tabelle 16:	Ergebnisse der Städteumfragen zur Festsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen in B-Plänen von 2010 bis 2019/2020 (Mann et al. 2020)	68
Tabelle 17:	Beispiel zu Gestaltungssatzungen zur Dach- und Fassadenbegrünung (aus Mann et al. 2020)	70
Tabelle 18:	Auswertung der BuGG-Städteumfrage 2019 nach unterschiedlichen Einwohnerzahlen (BuGG)	81

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
ABC	Attractive – Beautiful – Clean (Singapur)
AN	Auftragnehmer und Auftragnehmerin
BauGB	Baugesetzbuch
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BDLA	Bund Deutscher Landschaftsarchitekten
BENE	Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung
BFLR	Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung
BGL	Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau e. V.
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
B-Plan	Bebauungsplan
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
BuGG	Bundesverband GebäudeGrün e.V.
C _s	Abflussbeiwert
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CH ₄	Methan
CMP	Cloudburst Management Plan
DAS	Deutschen Anpassungsstrategie
DIN	unter Leitung des Deutschen Instituts für Normung erarbeiteter freiwilliger Standard (nationale oder internationale Normen)
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DDV	Deutscher Dachgärtner Verband
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.
DüMV	Düngemittelverordnung
DWD	Deutscher Wetterdienst
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EPD	Environmental Product Declarations
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
ESS	Ecosystem Services
ET	Evapotranspiration
EW	Einwohner und Einwohnerinnen
FBB	Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
FP	Förderprogramm
FPO	Flexible Polyolefine
GBCI	Green Business Certification Inc.
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GI	Grüne Infrastruktur
GWP	Global Warming Potential
IBA	Internationale Bauausstellung
IBO	Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie
IWBI	International Well Building Institute
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
K	Temperatureinheit Kelvin
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
LCA	Life Cycle Assessment

LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MVV TB	Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen
NABU	Naturschutzbund Deutschland e.V.
NBS	Nature Based Solutions
N ₂ O	Lachgas
NO ₂	Stickstoffdioxid
PE	Polyethylen
PELD	Low-Density-Polyethylen
PM	Particulate Matter
PP	Polypropylen
PSAgA	Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz
PV	Photovoltaik
R	Wärmedurchlasswiderstand
RBBau	Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes
RVR	Regionalverband Ruhr
STC	Standard-Test-Bedingungen
TN	Teilnehmende
UV	Ultraviolettstrahlung
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VdW	Verband der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft Rheinland Westfalen
VPB	Verband Privater Bauherren e.V.
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WLG	Wärmeleitfähigkeitsgruppe
ZVR	Zukunftsvereinbarung Regenwasser

1 Stadtklimatischer und ökologischer Beitrag der Dach- und Fassadenbegrünung

Stadtklimatische und ökologische Fragestellungen sind bereits seit mehreren Jahrzehnten von Interesse. Cochet (1983) erstellte für die Grünen Verbände in Deutschland bereits Anfang der 1980er Jahre eine Übersicht zu den messbaren Wohlfahrtswirkungen der Stadtvegetation. Die Dach- und Fassadenbegrünung sind dort als Möglichkeit zur positiven Beeinflussung der städtischen Umwelt bereits genannt, der Schwerpunkt lag jedoch bei Stadtbäumen und den Stadtparks als den großflächig wirkenden städtischen Grünstrukturen. Im Zuge der Auswirkungen des Klimawandels und der baulichen Nachverdichtung in Städten nehmen die innerstädtischen Wärmeinseln weiter zu. Kleinflächige und gebäudenaher Entlastungsmöglichkeiten, etwa mit der Gebäudebegrünung, die unabhängig von der Grundfläche ist, gewinnen entsprechend an Bedeutung.

Neben den stadtklimatischen und ökologischen Wirkungen ist der Aspekt „Gesundheit“ beachtenswert. Zusätzlich zu den direkten Einflüssen durch die Gebäudebegrünung, wie Feinstaubbindung und Lärminderung, gibt es weitere Wohlfahrtswirkungen, die mit der Art und Nutzungsmöglichkeit der Flächen zusammenhängen. Begrünte Dachflächen können als Aufenthaltsflächen zur Erholung, zum Gemüseanbau und zum guten nachbarschaftlichen Miteinander beitragen. Begrünte Krankenhäuser sind hier ebenfalls zu nennen. Sie können auf Dächern Aufenthaltsflächen zur Genesung bieten.

Das nachfolgende Kapitel soll einen Überblick zu Studien und Veröffentlichungen der Dach- und Fassadenbegrünung geben. Ein Anspruch auf die Vollständigkeit wird damit nicht erhoben. Die vorliegenden Ergebnisse, die aus einer Vielzahl von Ländern stammen, folgen unterschiedlichen Forschungsansätzen und lokalen Besonderheiten, generelle Tendenzen sind aber erkennbar.

Die Gebäudebegrünung ist zu einem Werkzeug innerhalb der Grünen Infrastruktur, kurz „GI“, geworden. GI korrespondiert mit dem Begriff der „Nature based solution“, kurz NBS oder in anderen Veröffentlichungen dem Begriff der „Ökosystem-Dienstleistungen“. In der nachfolgend ausgewerteten Literatur der Gebäudebegrünung wird zu diesen funktionalen Begriffen eine Beziehung hergestellt.

Die Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen ist in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen. In diesem Kapitel wird vorwiegend auf Metaanalysen zurückgegriffen, die bereits eine Vielzahl von Einzelstudien zusammenfassen und somit allgemein gültige Erkenntnisse erlauben. Hier sei die Arbeit von Stangl et al. (2019) genannt, deren Auswertung auf ca. 150 wissenschaftlich begutachteten Untersuchungen zur Dach- und Fassadenbegrünung basieren. Darin werden Kennwerte für Mikroklima, Energie- und Wasserhaushalt in Verbindung mit der Gebäudebegrünung zusammengetragen. Eine weitere Metaanalyse von Manso et al. (2021) beruht auf der Auswertung von ca. 220 einschlägigen Veröffentlichungen. Sie zeigt auf, dass die Gebäudebegrünung nachweislich rund um den Globus in vielen Klimazonen positive Wirkungen hat.

Veröffentlichungen und Forschungsschwerpunkte zur Dachbegrünung

Obwohl die Vorteile der Gebäudebegrünungen in vielen Kulturen und Klimazonen seit der Antike vom Grundsatz her bekannt sind (Jim 2017), wird erst seit den 1980er Jahren weltweit exponentiell ansteigend zum Nachweis positiver ökologischer Wirkungen von Dach- und Fassadenbegrünungen geforscht. Zur Verdeutlichung der Vielzahl an Veröffentlichungen erfolgte eine Recherche bei Scencedirect zur Dachbegrünung zu den Stichworten „Green roofs“ and „Research“. Diese Recherche ergab 32.000 Treffer (ScienceDirect 19.10.2020a). Zusammenfassend lassen sich hier Untersuchungen zu den Bereichen „Gebäudedämmung“, „Wasserrückhalt“, „Senkung der Spitzentemperaturen der städtischen Wärmeinsel“ und „Biodiversität“ finden, die aus vielen Regionen der Welt stammen.

Aus diesem Material sind Informationen abzuleiten, die für die Erstberatung zu den Vorteilen der Dachbegrünung eine Fülle an Ergebnissen bieten, die allerdings in der Detailgenauigkeit, Zeiträume der Untersuchung und den Untersuchungsmethoden stark variieren. Die Vereinheitlichung von Untersuchungsmethoden zur Dachbegrünung wird ansatzweise in Nordamerika diskutiert, ist angesichts der vielen laufenden Untersuchungen aber schwierig umzusetzen. Gewisse Vereinheitlichungen gibt es in Deutschland, wenn es um die Ermittlung des Retentionsverhaltens von Dachbegrünungen geht. Für die Vereinheitlichung von Fragestellungen und Methoden bei Biodiversitätsuntersuchungen ist man noch weit entfernt.

Zusätzlich zu den peer-reviewten Veröffentlichungen kommt in Form von Arbeitspapieren zahlreiche Graue Literatur, die kommunal erstellt wurde und als Handlungsempfehlungen und Begrünungsratgeber für Entscheidungsträger und -trägerinnen sowie Bürger und Bürgerinnen verbreitet ist. Briz et al (2015; 2019) geben eine Übersicht zu den aktuell existierenden etwa 50 Gründachorganisationen weltweit. In den meisten nationalen Verbänden steht die Verknüpfung von Forschung, Praxis und Stadtverwaltungen/Politik im Vordergrund der Arbeit.

Als besonders forschungsstark (Kriterium Anzahl der Veröffentlichungen bei Scienedirect) ist neben den USA/Canada v. a. auf chinesische Forschungseinrichtungen hinzuweisen. In China wird die Gebäudebegrünung generell als wichtiger Lösungsansatz für anstehende Probleme in stark wachsenden Metropolen angesehen. Die Investitionen der chinesischen Forschungsförderung in Verbindung mit der Wasserretention durch Gründächer firmieren unter dem Begriff der Schwammstadt „Sponge City“. Entsprechende Bauvorhaben sind aktuell in einer Vielzahl von chinesischen Städten bereits nach kurzem Forschungsvorlauf umgesetzt. C.Y. Jim aus Hongkong ist aktuell derjenige mit den meisten einschlägigen Veröffentlichungen, sowohl zur Dach- als auch zur Fassadenbegrünung. Viele seiner Ergebnisse finden sich in Handlungsempfehlungen der Stadtplanung Hongkongs wieder.

Beeindruckend forschungsaktiv sind auch die Hochschulen in Singapur. So sind dort aus der Erkenntnis eines neuen Umganges mit dem Regenwasser von Rückhalt, lokaler Verdunstung und zeitweiliger Überflutung in dafür hergerichteten Parkanlagen, etwa dem Projekt Bisham Park, politisches gewollt und in kurzem Zeitraum realisiert worden. Unter dem Stichwort ABC („Attractive – Beautiful – Clean“) firmiert ein konsequenter Umbau der bisherigen, auf die schnelle Ableitung von tropischen Starkregenniederschlägen ausgelegten Vorflutern bei denen Dachbegrünungen als Abflussdrosseln und Zwischenspeicher fungieren (Lim et al. 2016). Ein immer häufiger zu hörender Fachbegriff ist hierbei die „Biophilic City“ als eine Zukunftsstadt, die trotz hoher Verdichtung als artenreich/biodivers eingestuft werden kann. Die Verantwortlichen in Singapur setzen bei der Begrünung von Dachflächen auf die Mehrfachnutzung der Flächen.

Folgt man den Ausführungen von McCartney et al. (2018), holt Europa in der begrünten Architektur auf. So ist in einem EU-geförderten Forschungsprojekt etwa die Hamburger Gründachpolitik analysiert und positiv hervorgehoben worden. Im Land Berlin werden seit Jahren Modellvorhaben von der Bau- und Nutzungsphase in Monitoringprogrammen hinsichtlich des realisierten Erfolges extern begleitet. Ausgewählte Projekte werden in einem ökologischen Stadtplan sowie entsprechenden Ausstellungen digital präsentiert (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 25.10.2020b).

Veröffentlichungen und Forschungsschwerpunkte zur Fassadenbegrünung

Die Literaturrecherche bei „Scienedirect“ zu den Begriffen „Green facades“ erbrachte ca. 8.200 Treffer (ScienceDirect 19.10.2020b), zu „Living walls“ mit der Einschränkung auf Architektur/Biologie etwa 5.900 Ergebnisse. Die meisten einschlägigen Veröffentlichungen stammen aus den letzten Jahren. Die große Anzahl von ca. 8.200 Artikeln (ScienceDirect 19.10.2020c) verdeutlichen die Aktualität dieses Themas.

Die Begrünung mit Kletterpflanzen hatte in Deutschland in der Zeit um 1900 einen Höhepunkt, von einem zweiten Boom kann in den 1980er Jahren gesprochen werden. Zu diesem Zeitpunkt gab es in vielen Städten Förderprogramme zur ökologischen Aufwertung der z. T. vernachlässigten Innenstadtquartiere (Köhler et al. 1993). Eine dritte Welle der Fassadenbegrünung wurde von Patrick Blanc mit seinen biodiversen flächigen Wandbegrünungen initiiert. Die Bekanntheit seiner Wandbegrünungen löste Nachahmeffekte aus. Das führte zu einem noch anhaltenden Boom an Produktentwicklungen und einer wachsenden Zahl von Systemanbietern.

Die Bedeutung der Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen wird seit den 1980er Jahren in den Untersuchungen aus Berlin (Köhler et al. 2012), Köln (Schlösser 2003), Stoke on Trent, England (Dover 2015) oder Honkong (Jim/Lee 2017) einhellig als zusätzliches Dämmpolster für die Gebäude beschrieben. Das Wissen um die Wandbegrünung mit Kletterpflanzen ist über Jahre angewachsen und als Empfehlung in der FLL (2018) dokumentiert. Das Wissen um die modulare wandgebundene Begrünung ist komplizierter und wird erst seit einigen Jahren wissenschaftlich begleitet. Das entsprechende Kapitel in der FLL (2018) fällt bisher noch recht knapp aus und bedarf zukünftig noch weiterer Untersetzung mit Untersuchungen.

Auch bei den Fassadenbegrünungen stammen die meisten Veröffentlichungen aus Nordamerika und aus China. Es überwiegen die Simulationsrechnungen gegenüber Studien mit Messungen an realen Begrünungen. Die Untersuchungszeiträume beschränken sich vorwiegend auf kurze Zeiträume von 1-2 Jahren.

1.1 Beitrag zur Minderung des urbanen Wärmeinsel-Effektes

Der zunehmende Trend des Zuzugs von Menschen in Großstädte hat in nahezu allen Regionen der Welt städtebauliche Verdichtung und den Verlust von vegetationsbestimmten Grundflächen zur Folge. Versiegelte Bauflächen bedeuten hohe Wärmespeicherung und Verstärkung des städtischen Wärmeinselleffektes. Eine Abmilderung dieser negativen Entwicklung ist neben der Entsiegelung auch durch die Begrünung von Gebäudeoberflächen möglich. Steward (2011) untersuchte eine Vielzahl von Veröffentlichungen, die Lösungen für die Reduktion der städtischen Aufheizung suchten. In etwa der Hälfte der 190 ausgewerteten Veröffentlichungen, die Ansätze als Gegenmaßnahmen zur städtischen Wärmeinsel ausmachen, sind Gründächer die passende Antwort. Begrünte Dächer sind in diesen Quellen sowohl durch Messungen als auch durch Modellrechnungen als positiv hervorgehoben (Akbari/Konopaki 2005; Getter et al. 2011).

Klimatische Wirkung begrünter Dächer

Die aktuell längste messtechnische Zeitreihe zur klimatischen Auswirkung begrünter Dächer ist die kontinuierliche 20-jährige Messung an einem typischen extensiven Gründach im Vergleich zu einem Kiesdach in Neubrandenburg (Köhler/Kaiser 2019). Der Datensatz umfasst den Zeitraum von 1999 bis zum Sommer 2018. Während sich die Temperatur über diese zwei Jahrzehnte in der Kiesschicht um ca. 1,5 °C erhöhte und damit den typischen Anstieg der städtischen Wärmeinsel abbildet, bleibt die Temperatur im Begrünungssubstrat auf gleichem Niveau, es fällt sogar noch um 0,1°C ab. Die Erklärung hierfür liegt in der Entwicklung der Vegetationsbedeckung in diesem Zeitraum von der lückenhaften Sprossenansaat bis zur kompletten Vegetationsdecke. Dementsprechend verstärkt sich die Oberflächenverschattung sowie die Verdunstungsleistung der üppiger werdenden Vegetationsschicht plus Verdunstung aus dem Substrat. Auch legte die Bedeckung mit Moosen und Flechten über die Jahre erheblich zu, sodass die Wirkung der Begrünung immer besser wurde.

Die Temperaturminderung von Gebäudeoberflächen durch die Dachbegrünung ist in erster Linie ein energetischer Prozess der aktiven Verdunstung durch Pflanzen, bzw. passives Verdunsten aus dem im Substrat gespeicherten Wasser. Diese Leistung wird in der Evapotranspiration zusammengefasst. Sie wird mittels Lysimeter gemessen (Kaiser et al. 2019) und ist je nach Wasserangebot zwischen 0 und 5 l/m² zu beziffern. Cascone et al. (2018) verglichen zahlreiche Veröffentlichungen, die in verschiedenen Klimazonen entweder ähnliche Lysimeterversuche durchführten oder meist mittels Formeln auf der Basis von Penman-Monteith entsprechende Verdunstungsabschätzungen anstellten. Als Faustwert bedeutet ein Liter (=1mm Niederschlag) Verdunstung umgerechnet 2,45 MJ/m²xTag oder eine Leistung von 28,4 W/m² produzierte Verdunstungskälte. Eine Erhöhung der Verdunstung ist damit ein wichtiger Faktor zur Abkühlung städtischer Wärmeinseln.

Chao et al. (2019) aus Shanghai empfehlen bei der Optimierung der Verdunstungsleistung der Dachbegrünung sich an die botanischen Details zum Gaswechsel zu erinnern und diesen zu nutzen. Sie fanden heraus, dass die Verdunstungsleistung in Gruppen der unterschiedlichen Stoffwechselzyklen zu unterscheiden und zu optimieren ist. Sukkulente mit dem CAM-Photosynthese Zyklus, zu denen die Sedum-Arten gehören, überleben zwar bei Trockenheit, tragen aber wenig zur Verdunstung der Flächen bei. Ganz anders verhalten sich die Gräser, die als „C3-Pflanzen“ in ihrem Gasaustausch charakterisiert werden und effektiv für Dachstandorte sind. Hierzu gehören typische Grasarten, wie Wiesenrispe (*Poa pratensis*) und Schafschwinge (*Festuca ovina*). Die effektivste Stoffwechselgruppe sind Pflanzen mit dem sogenannten „C4-Stoffwechselzyklus“. Hierzu gehören Gräser der trockenwarmen Klimaregionen, die aber auch in Mitteleuropa wachsen können. Als ein Beispiel sei hier das Hundszahngras (*Cynodon dactylon*) genannt. Es kann bei trocken-warmen Bedingungen überleben und effektiv Wasser verdunsten und somit auch unter extremen Bedingungen noch zur Kühlung beitragen. Diese Erkenntnisse aus Shanghai können auch in Europa angewandt werden.

Als zweiter Faktor kommt die pflanzliche Verschattung der Gebäudeoberfläche, die je nach Art und Dichte des Blattwerks mittäglich 5 K betragen kann (eigene IR-Messungen). Dong et al. (2020) werteten für die Stadt Xiamen in China Landsat 8-Daten aus. In dieser Stadt wurden zwischen 2015 und 2019 ca. 540.000 m² Gründächer angelegt. Mit dem relativ groben Pixelraster konnte auf eine Genauigkeit von ca. 1.000 m² ausgewertet werden, dass sich eine Temperatursenkung zwischen 0,4 und 0,9 K durch begrünte Dächer aus den Satellitenbildern ergab. In einer Studie aus Chicago von Celik et al. (2019) wurde hinsichtlich der Energie-Einsparung festgestellt, dass die begrünten Dächer durch die sommerlichen Kühlleistungen Einsparungen von etwa 50% ermöglichen. Viele Untersuchungen stimmen darin überein, dass die Erhöhung der energetischen Wirksamkeit mit der Erhöhung des Blattflächenindex, der Substratwahl, und Substrateinbauhöhe sowie der Häufigkeit und Menge der Bewässerung verbessert werden können. Eine höhere Biomasse hat in der Regel eine bessere Dämmwirkung

zur Folge. Ab einer gewissen Biomassemenge wird jedoch eine regelmäßige Entfernung des Schnittgutes erforderlich.

Klimatische Wirkung begrünter Fassaden

Begrünte Fassaden sind bisher weniger häufig, meist nur mit kürzeren Messkampagnen, untersucht worden. Viele aktuelle Arbeiten stammen aus Asien: Nugroho (2014) führte Untersuchungen mit den krautigen Arten Amarant (*Amaranthus hybridus*) und Brauner Senf (*Brassica juncea*), die auch in Europa als Wildpflanzen vorkommen können, an begrünten Messcontainern in Indonesien durch. Ergebnis hierbei ist eine maximale Temperatursenkung im Innenraum von bis zu 6,9 °C im Vergleich zu einem unbegrünten Vergleichsraum. Das ist als low-tech Alternative zu einer Klimaanlage aufzufassen. Als Empfehlung hieraus lässt sich für unser Klima ableiten, üppigere Vegetation, mindestens in Form der „einfachen Intensivbegrünung“, einzusetzen.

Zur Reduktion der Temperatur in Innenstädten kann die konvektive Verdunstungskühlung des Phasenwechsels, also die Verdunstungsleistung von gespeichertem Regenwasser/Brauchwassers durch Pflanzen effektiv genutzt werden. Der Phasenwechsel ist ein energetischer Prozess von 680 kWh/m³, der sich ohne Abwärme direkt als Kühlung der städtischen Oberfläche auswirkt. Er wurde von Davis et al. (2015) aus Ecuador in kombinierten Verdunstungskühlern mit einer ergänzten vertikalen Begrünungsschicht kombiniert.

Xing et al. (2019) haben Versuchsgebäude im Außenbereich einer Universität in Wuhan/China errichtet. Ihr Augenmerk war auf die nächtlichen Temperaturen gerichtet. Die begrünten Innenräume waren nächtlich 1-2 °C wärmer als bei der Vergleichskonstruktion. Das deckt sich mit der Studie von Nan et al. (2020) mit ähnlichem Versuchsaufbau in Hangzhou/China. Durch die Begrünung an diesen Containern war die Innentemperatur im Messcontainer über den Winter nächtlich um etwa 0,5-1,7 °C höher. Eine andere Studie in China untersuchte ebenfalls den veränderten Wärmedurchgang unter sommerlichen wie winterlichen Konditionen (Tan et al. 2019). Sie bezifferten den reduzierten Wärmedurchgang mit 3,1 W/m² im Winter, bzw. 4,2 W/m² in den Sommermonaten 2018.

Für die Simulation von Pflanzeneffekten in Verbindung mit der Architektur hat sich das Simulationsprogramm ENVI-met (ENVI-met 25.10.2020) über die Jahre in vielen Projekten weltweit bewährt. Aus den Erfahrungen der Anwendenden lassen sich die hinter der Benutzeroberfläche liegenden Rechenalgorithmen kontinuierlich verbessern, so dass sich die getroffenen Abschätzungen, etwa zur Beeinflussung der Oberflächentemperaturen durch Pflanzen, besser abbilden lassen. Als ein aktuelles Beispiel sei auf Peng et al. (2020) verwiesen. In Szenarios mit unterschiedlichem pflanzlichen Bedeckungsgrad wurden Gebäudekörper für Nanjing simuliert, die schließlich einen durch die Pflanzen verursachten Effekt von etwa einem Kelvin als Ergebnis hatten. Mit gleicher Software und einer Auswahl von gärtnerischen Pflanzen mit unterschiedlichem Blattflächenindizes und Pflanzenstruktur arbeitete auch Gajkowski (2020) in seiner Masterarbeit und kam vom Grundsatz für seine Rechenbeispiele in Neubrandenburg auf ähnliche Größenordnung. Nach Untersuchungen zur Fassadenbegrünungen in Berlin (Bartfelder/Köhler 1987; Köhler et al. 2012) ist die vorhandene Abkühlung in Oberflächennähe bereits bei 1 Meter Entfernung durch den Luftmassenaustausch angeglichen und trägt zur Reduktion der Stadterwärmung bei.

Die Wirkung als gebäudebezogener sommerlicher Wärmeschutz auf die Gebäudeoberfläche und der damit verbundenen Einsparung an Kühlenergie ist der eigentliche Einsparungseffekt, der für die Gebäudebesitzer bei den Energiekosten der Wohnungen bemerkbar ist, sofern diese über eine Klimaanlage verfügen. Dass sich diese bis zu einem Drittel an Kostenersparnis summieren, wurde erstmalig am Bürogebäude Consortio in Chile nachgewiesen (Browne 2009; Landscape + Urbanism 29.01.2009).

Aus den genannten Veröffentlichungen wird deutlich, dass der Kühlungseffekt von Begrünungen auf der Gebäudeoberfläche gut nachweisbar ist. Im gebäudenahen Umfeld eines Meters ist der Luftmassenaustausch für den Abtransport der gekühlten Luft verantwortlich. Mittels Infrarotbildern ist im Stadtmaßstab die Abkühlung von begrünten Oberflächen gut sichtbar, vor allem wenn die mittäglichen Maximaltemperaturen mit anderen Oberflächenmaterialien verglichen werden (Ansel et al. 2016).

Kritische Auseinandersetzung mit der klimatischen Wirkung von Gebäudebegrünung

Die Betrachtung der Effekte auf der Gebäudeebene, des Einzugsgebietes oder der Stadtebene führen immer wieder zu gewissen Unstimmigkeiten. So ist etwa im Rahmen der Berliner Klimaanpassungsstrategie/STEP Klima (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, o. J, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Um-

welt 2016) diskutiert worden, welchen Beitrag begrünte Dächer spielen, wenn die Auswirkungen sich nur im Meter-Maßstab bewegen und die Stadtbewohner und -bewohnerinnen in den Straßen nicht von begrünten Dächern profitieren. Die Antwort hier ist, dass sich die Effekte der verschiedenen Ebenen ergänzen. Begrünte Dächer und Fassaden sind nur zwei von einer ganzen Reihe von sinnvollen Maßnahmen zur sommerlichen Temperatursenkung in städtischen Wärmeinseln. Unstrittig ist die Bedeutung der Straßenbäume, allerdings ist für Bäume im Straßenraum nicht überall ausreichend Platz. Durch die Nutzung der dritten Dimension, also von Fassaden- und Dachflächen, wird die nutzbare, begrünbare Fläche deutlich erhöht. Nach dem Klärungsprozess wurden in dem Berliner Maßnahmenkatalog zur Klimaanpassung begrünte Dächer und Fassaden aufgenommen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, o. J.).

Begrünte Dächer stehen u. a. in den USA in der Konkurrenz zu anderen Maßnahmen zur Senkung der städtischen Oberflächentemperaturen. Das Streichen der Dächer mit weißer Farbe im „White roofing-Programm“ verändert die Rückstrahlung (Albedo) positiv. Im Vergleich zu begrünten Dächern reduziert sich die Aufheizung hierdurch für eine Zeit, allerdings ist der helle Anstrich nur von kurzer Dauer und alle weiteren Effekte, wie die Wasserspeicherung und die damit verbundene aktive Verdunstung oder die Biodiversität werden damit nicht gefördert. So ist das Zitat der Untersuchung von Santamouris (2012) durch Ehret (2020) zu kurz gegriffen: „Ein begrüntes Dach kostet etwa 15-mal mehr als ein weiß gestrichenes und hätte ähnliche Funktionen.“ Eine solche Kalkulation relativiert sich, wenn Aspekte der Haltbarkeit eines weißen Daches mit nur 5 Jahren angenommen werden und dann ein erneuter Anstrich benötigt wird. Ein Gründach hingegen funktioniert meist so lange wie das Gebäude selbst und besitzt neben der Abkühlung eine ganze Reihe weiterer ökologischer Vorteile. Hilfreich ist hier die gesamtökonomische Auswertung begrünter Dächer Hamburgs (Bornholdt 2017). Dort werden die Vielzahl der Vorteile den Kosten gegenübergestellt und zu einem positiven Ergebnis zusammengeführt. Solch eine Kalkulation muss allerdings für jeden Einzelfall aufgestellt werden.

1.2 Beitrag zur C-Bindung und Feinstaubbindung

Pflanzen entziehen der Atmosphäre CO₂. Während der Sauerstoff bei der Photosynthese freigesetzt wird, wird der Kohlenstoff in Böden und Vegetation gespeichert (LWF 2011). Daher ist es korrekt, in diesem Zusammenhang von C-Bindung zu sprechen. Will man jedoch den Beitrag zum Klimaschutz abschätzen, ist eine Umrechnung in CO₂ erforderlich.

Infoblock: Umrechnung Pflanzen Trockenmasse in CO₂:

In getrockneter Pflanzenmasse stecken 50% Kohlenstoff;

100 C/m² entspricht 1 t/ha

3.000 g/m² entsprechen: 30 t/ha.

Umrechnungsfaktor von C zu CO₂ ist die Multiplikation mit 3,65 („CO₂. MC = molare Masse Kohlenstoff. MC = 12 g/mol. MCO₂ = molare Masse Kohlendioxid. MCO₂ = 44 g/mol CO₂“) (Natureoffice 25.10.2020)

100g C entsprechen 0,365 kgCO₂. Für die ca. 3.000m² Gründach der Hochschule Neubrandenburg wäre das 1.095kg/CO₂/Jahr bei einem aktuellen CO₂-Preis von ca. 23€/t wäre das etwa ein rechnerischer Gegenwert von 23€/a.

C -Bindung durch Dachbegrünungen

Die C-Bindung extensiv begrünter Dächer ist von geringerer Bedeutung im Vergleich zu den anderen Vorteilen, die Gründächer bieten. Der energetische Einspareffekt kann auch in ein Äquivalent CO₂-Reduktion umgerechnet werden. Die Ersparnis ist besonders groß, solange die Heiz-/Kühlenergie aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird.

Der Grund für die geringe C-Bindung liegt im geringen Energieumsatz der Dachbegrünung selbst. Vegetationsleitbild der Extensivbegrünungen sind meist magere, blütenreiche und robuste Dachrasen, die extreme Trockenzeiten überstehen. Diese kommen meist ohne Rasenschnitt aus, haben also nur geringen jährlichen Zuwachs. Das Vegetationsvorbild liegt bei den mageren Trockenrasenbiotopen auf geringmächtigen Substraten der Mittelgebirge und deren jährlicher Biomasseproduktion, wodurch die C-Bindung relativ gering ist.

Der größte CO₂-Effekt wird durch die Umwandlung eines Kies-, Bitumen- oder Ziegeldaches in ein Gründach erreicht, also der Sprung von nahezu Null-Gramm Phytomasse pro Quadratmeter auf einen Wert, der in den Folgejahren weitgehend konstant bleibt. Um diesen Effekt zu quantifizieren, sind in den vergangenen Jahren verschiedene Trockenmassenbestimmungen auf den Extensivdächern der Hochschule Neubrandenburg durchgeführt worden. So kann durchschnittlich von etwa 300 g oberirdischer Trockenmasse/m² auf einer 10 cm dicken Substratschicht ausgegangen werden. Das ist vergleichbar zu typischen Magerrasen in Mitteleuropa. Wie es an Extremstandorten üblich ist, zeigt sich bei der unterirdischen Biomasse ein höherer Wert, der je nach Substrat bis

zu 3.000 g/m² betragen kann. Beachtenswert ist, dass bei den mageren Extremsubstraten die Biomasse der Flechten und Moose zusätzlich nennenswerte Biomasse ausbilden. Aus den bisher noch nicht veröffentlichten Ergebnissen des Autors kann abgeleitet werden, dass der jährliche Zuwachs ca. 100-300 g/m² oberirdischer Biomasse bei den 40 cm Parzellen beträgt, bei den 10 cm Extensivflächen bis zu 100 g/m² beträgt.

Die Variabilität der Trocken-Pflanzenmasse auf der extensiven Dachbegrünung wird aus den bisher nicht veröffentlichten Untersuchungen in Neubrandenburg (Köhler, bisher nicht publiziert) deutlich. Auf den im Jahr 1999 angelegten Dachflächen erfolgte im Jahr 2015 die Ernte auf den drei Substraten mit den Kurzbezeichnungen „Blä“, „Opti“ und „Zi“, die nachfolgenden Werte der Abbildung 1 sind Mittelwerte aus jeweils drei Wiederholungen. Die Teilflächen mit einer Kantenlänge von 30 cm wurden auf 1 m² hochgerechnet und das oberirdische Pflanzenmaterial zur Gewichtskonstanz getrocknet. Schon bei diesen drei Substraten ist die Biomasse sehr unterschiedlich verteilt. Nennenswerte Mengen stecken in den unterirdischen Pflanzenteilen. Speziell bei diesen Probeflächen ohne Düngung ist der Anteil der Moose auf dem Substrat „Opti“ sowie der Flechtenanteil bei den Substraten „Blä“ und „Zi“ beachtenswert. Derartigen Gesamtbiomassebestimmungen sind zeitaufwändig, und werden deshalb selten gemacht, sie sind aber notwendig, um den Bestand, bzw. den Zuwachs von Beständen einschätzen zu können.

Eine aktuelle Vergleichsarbeit ist die Modellrechnung von Heusinger/Weber (2017) am Extensivdach des BER-Flughafengebäudes. Aus Wetterdaten haben die Autoren mittels Eddy-Kovarianz C-Speicherung mit ca. 85 g/m²xJahr ermittelt. In New York wurden von Buffam/Mitchell (2015) bei einem Extensivdach 3-31 g C/m²xJahr errechnet. Zum Vergleich liegt die Produktivität eines Forstökosystems zwischen 200-400 g/m²/a (Aber/Melillo 2001). Will man also Gründächer auf Phytomasseproduktion/Zuwachs/C-Bindung optimieren, sind höhere Substratschichten und Düngung sowie Bewässerung erforderlich. Eine Düngung kann sich jedoch negativ auf die gewünschte biodiverse Artenzahl auswirken und ist daher mit anderen Zielen in Einklang zu bringen (Köhler u. Kaiser, 2021).

Die jährlich ca. 7.200.000 m² neuen Gründächer in Deutschland (nach BUGG-Erhebung) binden jährlich ca. 2.628 t CO₂. Auf dieser Fläche kann aktuell ein Wert von 60.444 € als CO₂-äquivalenter Gegenwert geschätzt werden. Berechnungsgrundsatz: Wiegen des jährlich neu gebildeten Trockengewichtes; 50% hiervon sind Kohlenstoff; als Faustwert kann dieser Betrag mit dem Faktor 3,65 in CO₂-umgerechnet werden, siehe den nachfolgenden Infoblock. Eine Intensivbegrünung mit etwa der vierfachen oberirdischen Phytomasse hätte also im Bereich der CO₂-Bindung den entsprechend vierfachen Wert. Diese erste Abschätzung dient einer groben Kalkulation.

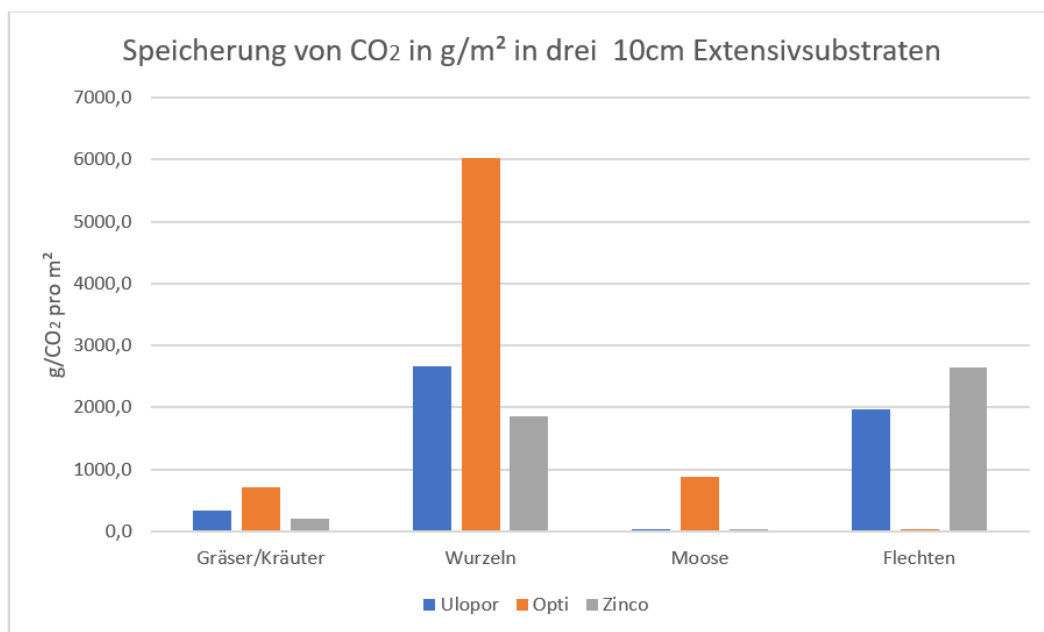


Abbildung 1: Trocken-Pflanzenmasse von extensiven Dachflächen in Neubrandenburg nach ca. 15 Jahren (Köhler, bisher nicht publiziert), umgerechnet als gespeichertes CO₂.

C-Bindung durch Fassadenbegrünungen

Die Kohlenstoffbindung durch Wandbegrünung kann im Vergleich zur unbegrünten Wand so kalkuliert werden, dass von unbegrünt (0g/m² Biomasse) zur Situation mit Vegetationsbedeckung als ersten wesentlichen Schritt ausgegangen werden kann. Bezüglich der Erfassung pflanzlicher Biomasse von den häufigen Kletterpflanzen Wilder Wein (*Parthenocissus tricuspidata*) und Efeu (*Hedera helix*) liegen Daten aus den Ernten von Bartfelder/Köhler, (1987) vor. So kann bei einer üppigen Efeubegrünung pro m² etwa von 1500g/Trockenmasse je m² ausgegangen werden, Werte zur unterirdischen Biomasse ließen sich bisher nicht in der Literatur finden. Wichtig im Zusammenhang mit C-Bindung ist der jährliche Zuwachs. Aus einer Reihe von Arbeiten sind in der Tabelle 1 Orientierungswerte zusammengestellt. Diese erlauben es, mittels der Multiplikation mit 3,65 des halben Biomassewertes die CO₂-Werte verschiedener Fassadenbegrünungen abzuschätzen.

Soll die C-Speicherung erhöht werden, gilt es wie bei der Dachbegrünung den jährlichen Biomassenzuwachs zu erhöhen. Düngung, Bewässerung sowie die Artenauswahl mit dem Ziel „Erhöhung des Blattflächenindex“ sind Möglichkeiten, die allerdings auch erhöhte Pflege, etwa den Schnitt an den Fassaden zur Folge haben. Zaid et al. (2018) sprechen von dem noch ungenutzten Potenzial der Wandbegrünungen als signifikante Maßnahmen zur CO₂-Speicherung, die allerdings durch die angepasste Pflanzenauswahl erst erfolgreich wird.

Kletterpflanzen können zwischen einer und 900 g CO₂/m² Fassadenfläche speichern. In Köhler/Debrand-Passard (2019) wurde eine Kartierung zum Bestand von 550 Fassadenbegrünungen in Berlin aus den Jahren 1982-1985 im Jahr 2018 wiederholt. Dabei handelte es sich überwiegend um die typischen Direktbegrünungen mit Wildem Wein und Efeu. Waren es an diesen Gebäuden 1985 etwa 500.000 m² Begrünungen, ging dieser Wert um 49% auf 285.000 m² zurück. Der CO₂ Wert dieser Fassaden betrug, wenn man nur 200 g/m² zugrunde legt, jährlich ca. 100.000.000 g CO₂-Bindung im Jahr 1985 und nur noch etwa die Hälfte 2018. Hierbei zeigt sich beispielhaft ein Zielkonflikt bei der Planung, da in einigen Fällen Begrünungen zugunsten einer Wärmedämmung mit Kunststoffprodukten entfernt wurden.

Tabelle 1: Kohlenstoffbindung und jährliche CO₂-Fixierung durch die Pflanzen der Dach- und Fassadenbegrünungen (in g/m²/a), verschiedene Quellen.

Kohlenstoff = 50% der Trockenmasse alle Werte pro m² um CO₂ zu erhalten alle Werte x 3,65 nehmen		Gesamt			Oberird.
	Region	Biomasse gesamt	Holz-Biomasse	Blatt-Biomasse	Jährl. Produktivität (in g/m²/a)
Oberirdisch Extensivdach 10 cm (1)	Neubrandenburg	1.000-2.500 (+)	/	/	bis 50
Oberirdisch einfach Intensiv 40 cm (1)	Neubrandenburg	150-300	/	/	50-150
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (2)	Berlin	368-481	95-187	40-76	11-110
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (3)	Toulouse	150-1.500	/	/	/
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (2)	Berlin	553-1.334	118-662	65-230	450-950
<i>Hedera helix</i> (2)	Berlin	1542	/	/	/
Lianen generell (4)	Thailand	1042	/	/	/
<i>Arrabidaea pleei</i> (5)	Kolumbien	154-176	/	/	/
Wandbegrünungsmodul (6)	Hongkong	/	/	/	15-63
<i>Fagus sylvatica</i> (6)	Südschweden	16.200	/	/	685
<i>Picea abies</i> (7)	München	16.104	/	/	755
<i>Urtica dioica</i> (8)	Berlin	26-45	/	/	45

(1) Köhler, Untersuchung Hochschule, Neubrandenburg, n.p.

(3) Vignes et al. 1971

(5) Heybrock (1984)

(6) Nihlgard (1972)

(8) Dapper 1966

übrige Angaben beziehen sich nur auf oberirdische Phytomasse

(2) Ba/Kö 1987: Angaben in t/ha Biomasse, umgerechnet in g/m²

(4) Ogawa et al. 1965

(6) Pan (2016)

(7) Droste zu Hülshoff (1970)

(+) oberird. und unterird. zusammen, einschl. Moose u. Flechten

	Trockenmasse Oberird. Jährlich	C 50%	CO₂-Bindung x3,65 (Jahreswert)
Faustwerte für jährlichen Zuwachs	(in g/m ² /a)	(in g/m ² /a)	(in g/m ² /a)
Oberirdisch Extensivdach 10cm Substrat	50	25	91
Oberirdisch einfach Intensiv 40cm Substrat	150	75	274
Parthenocissus tricuspidata	100	50	183
Parthenocissus quinquefolia	500	250	913

Feinstaubbindung durch Gebäudegrün

Die Bereiche „Klima, Lufthygiene und Lärm“ sind in Umweltprogrammen vieler Städte etabliert. Im Arbeitsbereich zur Lufthygiene sind die groben Stäube, wie sie in den 1980er Jahren noch im Vordergrund standen, weitgehend filtertechnisch reduziert. Die Schwebstäube/Feinstäube der Größenklassen PM₁₀, PM_{2,5} und PM_{1,0} µm sind seitdem die weniger auffälligen, aber gesundheitsrelevanten Belastungen.

Begrünte Dächer können als Quelle für Feinstaub angesehen werden, etwa durch das Verwittern der Substrate und durch den Wirkungsbereich von Dach- und Fassadenbegrünungen hängt von der Struktur des Stadtraumes ab. Insbesondere in dicht besiedelten Bereichen, wie Innenstädten, Gewerbegebieten oder bei Blockstrukturen mit Innenhöfen können sie ihre Wirkung vollends zeigen (Dettmar 2020).

Dach- und Fassadenbegrünung sind am wirkungsvollsten, wenn sie großflächig über ein ganzes Stadtgebiet bzw. einzelne, besonders betroffene Stadtteile (Hot Spots) ausgeführt werden. Einzelne Gründächer oder Fassadenbegrünungen sind nicht dazu in der Lage den Wärmeinseleffekt der ganzen Stadt zu reduzieren oder vor Hochwasser zu schützen.

Dachbegrünung

Dachbegrünung kann aus bis zu 100 m im Umfeld eine Feinstaubbindung bewirken, wenn sie richtig ausgeführt wird (Dettmar 2020). Wenn es die notwendigen Ansprüche an Statik und Wurzelschutz erfüllt, lässt sich fast jedes Dach als Gründach ausführen. Eine Mindestgröße für die Dachfläche kann jedoch nicht genannt werden, dafür sind die örtlichen Bedingungen und die Systemauswahl der Dachbegrünung zu unterschiedlich. Die Privatperson kann schon mit einer Flächengröße von etwa 18-20 m², das entspricht der Größe eines typischen Carports oder einer Garage, dazu beitragen, dass in dessen Umkreis ein geringer positiver Effekt erzielt werden kann.

Insbesondere große Gebäude, die für einen erheblichen Flächenverlust sorgen, sollten begrünt werden, um einen Ausgleich für die verlorene Grünfläche vor Ort zu schaffen. Auch verschattete Bereiche eines Daches lassen sich mit der richtigen Pflanzenauswahl begrünen. Bis zu einer Dachneigung von 45 ° sind Dachbegrünungen ohne Schwierigkeiten umzusetzen. Ab einer Neigung von 15 ° sind zusätzliche Sicherungsmaßnahmen gegen Abrutschen des Dachbegrünungssystems mit einzuplanen.

Fassadenbegrünung

Unabhängig davon, ob es sich um einen schattigen oder sonnigen Standort handelt, oder in welche Himmelsrichtung eine Fassadenbegrünung ausgeführt werden soll, für alle möglichen Positionen können passende Pflanzen gewählt werden. Das Gleiche gilt auch für die Größe einer Fassade. Ab wann und wie stark eine Fassadenbegrünung ihre Wirkung bringt, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie beispielsweise Standort, Größe, Art und Pflegezustand der Begrünung. Fassadenbegrünungen lassen sich nicht nur an Gebäuden verwirklichen, auch andere ungenutzte innerstädtische Strukturen (z. B. Mauern) sollten mitbedacht werden.

Die Himmelsrichtung einer Fassadenbegrünung ist ausschlaggebend für die zu verwendende Pflanze. Im Prinzip sind jedoch alle Seiten eines Gebäudes begrünbar und erbringen auch in jede Richtung einen Kühleffekt (Pfoser 2016). Windabdrift von biogenen Pflanzenteilen wie den Blütenpollen. Bedeutender ist der Effekt von Gründächern als Feinstaubsenke. In den Dachsubstraten werden aus dem Niederschlag sowohl Nährstoffe als auch (Fein-)Stäube gebunden, die zum Teil als Pflanzennährstoffe aufgenommen und in Pflanzen eingebaut und damit fixiert werden. In der Summe überwiegt der positive Effekt der Gründächer als Stoffsenke. Solange Dachsubstrate mager sind, nutzen die darauf wachsende Pflanzenschicht das Nährstoffangebot als Nährstoffquelle. Die Pflanzenschicht trägt zur Beruhigung der Luftströmungen bei und unterstützt damit das Sedimentieren der Stäube.

Der Reinigungseffekt setzt allerdings eine lockere Vegetationsschicht voraus, Grasbestände sind hierfür ideal, Sedum mit seiner glatten, nahe der Oberfläche befindlichen unbehaarten Struktur trägt hierzu weniger bei.

Bekannt ist weiterhin, dass Moose an ihrer Oberfläche gute Feinstaubbindungseigenschaften haben und in den häufig harschen Bedingungen extensiver Dachbegrünung effektiv überleben und einen wesentlichen Anteil an der pflanzlichen Biomasse stellen. Leider können Moose andererseits auch zu einer Verdrängung von Gefäßpflanzen beitragen (Drake et al. 2019).

Umfassend widmete sich eine englische Arbeitsgruppe um John Dover der Feinstaubbindung auf Kletterpflanzen. Sie untersuchten die Ablagerungen an einer Vertikalbegrünung nahe einer viel befahrenen Straße in Mittel-England. Dabei wurden die Feinstaubfraktionen von PM10, PM2,5 und PM1 mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht (Weerakkody et al. 2017; Weerakkody et al. 2019). Sie kommen zu dem Ergebnis, dass heterogen strukturierte begrünte Wände mit sehr unterschiedlichen Blattstrukturen wesentlich besser zur Staubbindung beitragen als monostrukturierte Begrünungen. Weerakkody et al. (2018) nennen als empirisch besonders Feinstaub sammelnde Pflanzenarten Chinesischen Wacholder (*Juniperus chinensis*), Buchsblättrige Berberitze (*Berberis buxifolia*) sowie die Strauch-Hebe (*Hebe vernicosa*).

1.3 Beitrag zum Regenwasserrückhalt

Im Bereich „Wasser und Gebäudegrün“ stehen zwei Probleme im Zentrum des Interesses:

Wie ist künftig mit den zunehmenden Starkregenereignissen umzugehen? Der dezentrale Rückhalt und die Verlangsamung der Spitzenabflüsse sind geeignete Maßnahmen. Dezentrale Zwischenspeicherung, Regenwassernutzung sowie Verdunstung über die Begrünung sind hier angezeigte Lösungen. Die Dachbegrünung kann sowohl als Drosselsystem als auch als Reinigungsbiotop fungieren.

Wie ist künftig mit sommerlich längeren Trockenphasen umzugehen? Entweder sind trockenresistente Pflanzen zu wählen, die ohne Bewässerung überleben, oder es sind Speichermedien wie Regenwasserzisternen oder Retentionsräume anzukoppeln, aus denen längere Trockenphasen überbrückt werden können. Ebenfalls könnte Grauwasser zur Bewässerung eingesetzt werden.

Die Einstellung der Bevölkerung zur Nutzung von Regenwasser hat sich seit den 1980er Jahren gewandelt, nicht zuletzt dank der Informationsarbeit von Verbänden und Initiativen. Politisch sind wichtige Strategien, wie die Wasserstrategie auf Bundesebene, entwickelt worden. Regenwasser ist von einem Entsorgungsthema zu einer Resource geworden, die über Verdunstung zur Kühlung sommerlich aufgeheizter Städte beitragen kann. Gleichzeitig reduziert die Regenwassernutzung das zu entsorgende Wasservolumen, was nachgeschaltete Kläranlagen entlastet.

Ein besonderer Effekt der Regenwasserbewirtschaftung liegt in der Nutzung des energetischen Vorgangs des Phasenwechsels. Das kann im idealen Fall mit Dachbegrünungen/begrünter Fassaden erfolgen. Das Verdunsten/Verdampfen des Wassers von flüssig zu gasförmig entzieht der Umgebungsluft Energie und kühlt damit die Umgebung ohne gleichzeitig Abwärme zu produzieren. Das Regenwasser bietet Chancen, Trinkwasser in einer Vielzahl von Anwendungsfällen zu substituieren. Dach- oder Fassadenbegrünungen als Kläranlagen für Grau-, Brauch- oder Regenwasser einzusetzen, ist eine aktuelle Technologie, die vielfach erfolgreich praktiziert wird (Mählmann, 2019; Well et al. 2020). Die begrünten Reinigungsbiotope auf den Dächern von John Deere, Mannheim oder Possmann, Frankfurt, waren Vorreiter für diese Technologie, die unter dem Namen „Blau-Grüne-Infrastruktur“ vor allem in Asien und den USA Verbreitung gefunden haben (Hoffmann et al. 2005).

Parameter für den Regenwasserrückhalt in Dachbegrünungen sind die Substrate in Art und Mächtigkeit, die darunterliegende Dränschicht sowie die angepasste Pflanzenauswahl. Ein besonderes Planungsziel sind zur Wasserretention optimierte Gründächer, die im Idealfall das Ziel des „abflusslosen Grundstücks“ bei der richtigen Kombination der Maßnahmen ermöglichen (Eger et al. 2017). Das kann in einem Widerspruch zu dem Ziel stehen, das Niederschlagswasser direkt auf dem Grundstück zu versickern und damit zur lokalen Grundwasserneubildung beizutragen.

Quantitative Retentionswirkung

Die theoretische Retentionsleistung von Dachsubstraten kann über die physikalischen Bodenparameter bestimmt werden. Die Retention unter realistischen Bedingungen hängt u. a. von der Vorsättigung des Substrates ab. Unvorteilhaft ist sowohl ein komplett ausgetrocknetes Substrat als auch ein voll gesättigtes. Bei den Berechnungen

der Speicherkapazität nach FLL (2018) wird von definierten Laborbedingungen ausgegangen, die in der Regel geringer sind als die unter Freilandbedingungen. Es erlaubt aber eine bessere Vergleichbarkeit. Der Regenrückhalt durch begrünte Dächer ist von den nachfolgenden Variablen geprägt:

- Substrat: Korngrößenverteilung (Durchlässigkeit), Schichtdicke, Speichervolumen pro cm Substrathöhe
- Dränschicht: Aufbauhöhe, Speichervolumen pro m²
- Neigungswinkel, Fließstrecke zum nächsten Fallrohr
- Unebenheiten im Dachaufbau, die etwa zur Pfützenbildung beitragen
- Überstaumöglichkeit des Gründachs bei Starkregen

In einem zweischichtigen Aufbau spielt die Speicherung in der Dränschicht, vor allem unter dem Aspekt zunehmender Starkregenereignisse, eine zunehmend wichtige Rolle. Wenn beispielsweise an Stelle der typischen Dränplatte mit der Aufbauhöhe von 25 mm eine höhere Dränplatte mit mehr Speichervolumen eingebaut werden kann, können entsprechend stärkere Niederschlagsereignisse zurückgehalten werden und in den Folgetagen den Pflanzen helfen, anschließende niederschlagsfreie Tage zu überbrücken. In der Arbeit Kaiser et al. (2019) wurden unterschiedliche Stärken von Dränschichten verglichen. Mit höheren Aufbauten konnten etwa 30mm Starkregen ohne beginnenden Abfluss zurückgehalten werden. Diese Arbeit kombiniert die Messung der Gewichtsänderung im Pflanzsubstrat mit den eingehenden Niederschlagsdaten sowie dem Abfluss aus der Begrünung. Einen vergleichbaren Ansatz praktizierten Yin et al. (2019) in Nanjing und ermittelten eine mittlere Retention von 60%. Sie hatten je nach Faktoren Retentionswerte zwischen 11 und 100% ermittelt.

Schon vor einigen Jahren simulierten Vanuytrecht et al. (2014) in Belgien verschiedene Klimaszenarien mit dem Blick auf die Leistungsfähigkeit der Retention von Starkregenereignissen. Sie verglichen in ihren Rechenmodellen Sedum-Moos-Dächer mit der Leistungsfähigkeit von Gräser-Kräuter-Extensivdächern und kamen zum Ergebnis, dass die Gräser-Kräuter-Varianten in Bezug auf die anstehenden intensiveren Niederschlagsereignisse durchweg höhere Retentionsleistungen haben.

Zhang et al. (2019) gingen der Frage nach, welche Faktoren die Retentionsleistung von Extensivdächern maßgeblich prägen, die Verdunstungsleistung (Evapotranspiration ET) oder das Retentionsvolumen des Substrates. Hierzu verglichen sie die Wirkung von vier Niederschlagsintensitäten auf die Retention in mm und in % des Niederschlagsereignisses auf unterschiedlich bepflanzte Parzellen und unbegrünte Referenzparzellen. Zur Bepflanzung wurden verschiedene Sedum-Arten verwendet. Die unbegrünten Parzellen waren in ihrer Wirkungsweise nicht signifikant von den begrünten Parzellen unterscheidbar (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Wasserrückhalt bei Extensiv-begrünten Dächern in mm Niederschlag, bzw. %-Retentionsleistung bei 5 Pflanzenkombinationen als Variablen (nach Li et al, 2018, vereinfacht).

	Niederschlagsmengen			
	< 5 mm	5-11 mm	11-15 mm	> 15 mm
Retentions in mm	Ca. 5 mm	Ca. 10 mm	Ca. 10 mm	Ca. 15 mm
	Alle V.	Alle V.	Leichte Streuung	Größere Streuung
Retention in %	Fast 200 %	Fast 100 %	Ca. 1/3	Weniger als 1/3
	Alle V.	Alle V.	Leichte Streuung	Größere Streuung

Li et al (2018) testeten in Shanghai eine Vielzahl von Pflanzen typischer Extensivdächer wie *Agrostis stolonifera*, *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Festuca arundinacea*, *Sedum lineare* und *Callisia repens*. Die Pflanzmodule erhielten eine üppige Beregnung der täglichen Stufen von 5, 10, 25, 50, 100 und 250 mm. Die Abflussmenge (run-off) variierte wie folgt: Aus der Bewässerungsstufe mit 5 und 10 mm lief nahezu nichts ab, bei 25 mm waren es bereits ca. 15 mm, bei 50 mm ca. 37-40 mm, bei 100 mm liefen etwa 85 mm ab und schließlich bei 250 mm ca. 235 mm. Von der Retention wurden ca. 30-45 % von den Pflanzen verdunstet, der Rest, wie es die unbegrünte Vergleichsfläche jeweils zeigte, direkt aus dem Substrat. Diese Zahlen stammen von winterlichen Messungen, die sommerlichen Vergleichsmessungen hatten etwas höhere Retentionswerte.

Auch wenn diese Starkregenereignisse unrealistisch hoch angesetzt sind, zeigen sie doch das Retentionspotenzial unter Extrembedingungen auf und lassen Rückschlüsse zur Funktion von Gründächern in Zeiten des Klimawandels zu. Die ET-Leistung von Pflanzen ist bei derartigen Starkregen im Vergleich zur Speicherfähigkeit der Substrate begrenzt. Bei Extremregen, wie hier beschrieben, gelangt jeder Dachaufbau an seine Kapazitätsgrenzen. Liu et al. (2019) formulieren die Reihenfolge der Bedeutung zur Retention wie folgt: Art des Dachsubstrates, Substrattiefe, Neigungswinkel, Pflanzenbewuchs.

Simulationen zur Wirkungsweise des Wasserrückhaltes sind vielfach durchgeführt worden. Baek et al. (2020) nutzten hierzu die Modelle mit den Berechnungsprogrammen SWMM und HYDRUS. Hiermit können unterschiedlich durchlässige Bodenarten als auch verschiedene Vorsättigungen abgebildet und quantifiziert und die Bedeutung der vorher genannten Variablen eingegrenzt werden. Mentens et al. (2006) analysierten vor zehn Jahren 18 Arbeiten, die Gründächer als Regenwassertools in Deutschland verwendeten. Ihr Ergebnis ist, dass allein mit 10 % begrünter Dachflächen mindestens 2,7 % des jährlichen städtischen Niederschlags zurückgehalten werden könnten. Auf das einzelne Grundstück bezogen wäre das durchschnittlich etwa 54 % des Jahresniederschlags. Damit wären die meisten der aktuellen problematischen Niederschlagsspitzen erfolgreich zurückzuhalten. Das deckt sich mit den Ergebnissen des Kuras-Projektes in Berlin (Langtitel: Konzepte urbaner Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme). Es wurde festgestellt, dass auch bei unterschiedlich gewählten Kombinationsmöglichkeiten von Mulden-Rigolen-Versickerungen über begrünten Dächern für das Stadtgebiet von Berlin die negativen sommerlichen Starkregenereignisse mit den Überlaufspitzen in die Berliner Gewässer erfolgreich dezentral abgefangen werden können (Matzinger et al. 2016).

Bousselot et al. (2020) empfehlen die Retentionsleistungen der begrünten Dächer an die regionalen typischen Regenfälle anzupassen, so wäre in Gegenden mit häufigen Nieselregen andere Speichermöglichkeiten erforderlich als in Gegenden mit sommerlichen Starkregenfällen. Mit den Ablaufdaten und entsprechenden Programmen wird in Deutschland bereits in diesem Sinne gehandelt. Unter dem Aspekt der Retention sind Flachdächer generell effektiver als geneigte Gründächer, die schon vor dem Erreichen der maximalen Wasserkapazität Regenwasser ableiten (Murphy et al. 2018).

Qualitative Retentionswirkung

Eine Reihe von Veröffentlichungen widmete sich der Frage, ob begrünte Dächer auch zur Reinigung von Niederschlägen in der Lage sind oder durch eine Auswaschung zur Belastung der Vorflut beitragen.

Da Extensivbegrünungen von Haus aus magere Substrate sind und der Pflanzenwuchs zusätzlich zum Nährstoffentzug beiträgt, zeigt sich, dass typische ungedüngte Extensivdächer eine Nährstoffsene darstellen. Die Startdüngung wird über die Jahre verbraucht, was zu einer Aushagerung der Substrate führt. Ob über den Luftstofftransport neben Stickstoff weitere Nährstoffe in das Dachsubstrat gelangen, ist eher unwahrscheinlich. Je nach pH-Wert und der Art des Substrates können die Schadstoffe im Dachsubstrat akkumuliert und teilweise durch Einbau in die Pflanzenmasse so zur Bindung des Stoffeintrags beitragen.

Einige Arbeiten widmen sich der Frage nach den gelösten Stoffen (TSS) aus dem Substrat und dem Eintrag über den Niederschlag. Eine weitere Eintragsquelle sind Staubpartikel, die in den Städten in unterschiedlicher Konzentration vorhanden sind und durch die Vegetationsbestände ausgekämmt werden. Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit, dass die Substrate verwittern und deren Kompartimente mit dem Durchlauf ausgewaschen werden. In Topfversuchen mit Auswaschungen, etwa Morgan et al. (2011), wird hingewiesen, dass ein erster Ablauf „first-flush“ höhere Konzentrationen enthalten kann als nachfolgend abfließendes Wasser. Das können Kompartimente von Stäuben sein, die zuvor von den Pflanzen ausgekämmt wurden und es sich so um eine „Filterreinigung“ handelt. Das Substrat kann den eher sauren Niederschlag durch die Passage im Substrat eher zu neutralen pH-Werten verändern, also von 4 zu 7. Damit sind höhere Speichermöglichkeiten verbunden. Morgan et al. (2013) zeigten, dass der Stoffaustrag über Dachfolien und viele Dachsubstrate zunächst ähnlich ist, bei Bepflanzung sinkt im Austrag der Nitratwert, der beim Eintrag mit 3,0 – 70 ppm gemessen wurde nie über 4,0 ppm. Die Pflanzen nehmen die Nährstoffe also auf und bauen sie in die Biomasse ein. Liu et al. (2019) sehen in begrünten Dächern Filterschichten, die verschiedenste Stoffe festhalten können und nur teilweise über den Ablauf ableiten.

In der Literatur zeichnet sich ab, dass die Stofffracht weitgehend im Substrat festgehalten wird und überwiegend in Pflanzen eingebaut wird. Es sollte auf die verwendeten Substrate ein besonderes Augenmerk bei der Auswahl gelegt werden, d. h. diese sollten möglichst frei von Schadstoffen und langfristig formstabil sein. Auswaschungsversuche bei neuen Substraten sollten vor dem Einbau stehen, wie es etwa bei den Projekten am Potsdamer Platz seinerzeit erfolgte, um die angeschlossene Regenwasseranlage nicht zusätzlich zu belasten. Die technischen Substrate der Dachbegrünung aus Bims, Ton, Lava verändern sich über die Jahre aufgrund von Bodenbildungsprozessen mit Ansätzen von Humusaufgaben, was ebenfalls Einflüsse auf alle anderen Bodenfaktoren hat (Köhler/Poll 2010). Hierzu sind zunehmend vergleichende Untersuchungen an alten Dachaufbauten wertvolle Informationsquellen, was sich aktuell auf die Altersklasse begrünter Dächer zwischen 50 und 100 Jahren bezieht.

Wandbegrünung als Reinigungsbiotope/Materialuntersuchungen

Eine Anzahl aktueller neuerer Veröffentlichungen verknüpfen modulare oder flächige Wandbegrünungen mit der Funktion von Reinigungsbiotopen für Regen-, Brauch- oder Grauwasser. Im Idealfall bieten diese Begrünungen neben der Wasserreinigung auch optisch ansprechende Lösungen. Experimente mit der Reinigungsleistung unterschiedlicher Substrate sind noch nicht abschließend bewertet. Die Vielfalt der Substrate hierfür ist groß, sie umfasst etwa Kokosnusssfasern, Perlite oder neue Kombinationen aus sehr unterschiedlichen Materialien. Die Erfahrungen mit Dachkläranlagen bieten die Grundlagen für die aktuellen Untersuchungen (Pradhan et al. 2019; Pradhan et al. 2020). Weitere Sonderbauweisen sind Fassaden mit Algen-Bioreaktoren (Talaei et al. 2020).

Bei den Baumaterialien für Wandbegrünungen wird zunehmend versucht, preisgünstige und nachhaltige Stoffe zu wählen. Die Life-Cycle-Analysen (LCA) sind jeweils die Instrumente für die Abschätzung der Qualität (Oquendo-Di Cosola et al. 2020). Eine Anzahl von wandgebundenen Begrünungen sind von Rosasco/Perini (2018) mittels LCA beurteilt worden. Diese sollten auf weitere Bauweisen von Wandmodulen übertragen werden, um in generalisierenden Übersichten zu münden. Modulare Moosbegrünungen sind immer noch Sonderbauweisen, zu denen es noch keine abschließenden Einschätzungen wegen der geringen Anzahl von Projekten gibt (Perini et al. 2020).

1.4 Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität

Der Oberbegriff „Natur in der Stadt/Biodiversität“ ist über die Jahre sehr viel weiter ausdifferenziert worden. So wurde in den 1980er Jahren überhaupt erst einmal die Aufmerksamkeit für die Besonderheit der spontanen städtischen Ruderalvegetation geweckt. Im Fokus stehen heute heimische – lokale Pflanzen- und Tierarten und die lokalen Genotypen der Wildpflanzen als Zielarten in der ökologisch orientierten Planung. Das Bau- und Naturschutzrecht wird in diesen Aspekten deutlich weiter geschärft. Bei erforderlichen Nachpflanzungen wird zunehmend Aufmerksamkeit den entsprechenden Genotypen und dem lokalen Pflanzenmaterial geschenkt. Dieses ist nur von zertifizierten Gärtnereien und Pflanzenproduzenten zu beziehen. Während Kultivare und Zierpflanzen weiterhin Bedeutung für gärtnerisch geprägte Dach-Gartenanlagen haben, können begrünte Dachflächen unter Aspekten des floristischen wie faunistischen Artenschutzes optimiert werden. Dachflächen bieten Areale, die nach der Anlage in der Regel selten betreten werden. Sie können als Rückzugsräume auch für gefährdete und störungsempfindliche Pflanzen- und Tierarten dienen, die an Naturstandorten bedroht sind.

Die Bezeichnung „Biodiversität“, synonym für „Vielfalt“, bezieht sich im biologischen Verständnis auf die drei Bereiche, der genetischen, der Arten- und der Habitat-Vielfalt. Geht es bei der Planung eines Dachgartens um die Erhöhung der Biodiversität, sind aus zahlreichen Untersuchungen jetzt die Voraussetzungen bekannt, wie es im Einzelnen umsetzbar ist. Strukturvielfalt mit geeigneten Kleinstandorten auf dem Dach und an der Fassade zu schaffen, sind wichtige Bausteine in der Bauphase. Die Auswahl des richtigen Saatgutes bzw. der Pflanzen ist ein weiterer Schritt. Die angepasste zielgerichtete Pflege führt zum dauerhaften Erfolg und dem Erhalt der Artenvielfalt über längere Zeiträume (Koehler/Ksiazek-Mikenas 2018a).

Floristische Biodiversität von Dachbegrünungen

Bei den meisten Untersuchungen werden Kultivare in den Listen eingeschlossen. Erst mit der besonderen Beachtung der genetischen Vielfalt wird verstärkt auf die Herkunft der Taxa geachtet. Begrünte Dächer sind anthropogen geformte Standorte, die eher als vielfältige „Gärten“ einzustufen sind, denn als Flächen mit biotischem Naturschutzpotenzial. Hier ist in den nächsten Jahren eine strengere Abgrenzung und weitere Differenzierung zu erwarten.

Gelegentliche Kritik an den Sedum-dominierten Gründächern ist unter dem Aspekt des enger begrenzten Biodiversitätsgedankens verständlich. Sedum bietet hinsichtlich Gestaltungsvielfalt und Pflegeleichtigkeit bei extrem dünn-schichtigen Substraten vielfältige und pflegeleichte Lösungen. Diese Gattung steht für Toleranz bei Wasserknappheit und trotzdem üppige, flächige Blühpöster. So sind Kultivare der Kaukasus-Fetthenne (*Sedum spurium*) als besonders robust hervorzuheben, die bei der Auswahl auch weiterhin eine besondere gärtnerische Bedeutung haben (Kozmińska et al. 2019). In der gleichen Veröffentlichung wird die robuste aber auf Wasserstress sensibel reagierende Art Weiße Fetthenne (*Sedum album*) hervorgehoben. Sie reagiert mit Chlorophyllabbau bei Wasserstress, was zu einer gestalterisch interessanten Rotfärbung führt. Auf den dünn-schichtigen Substraten gehört *Sedum album* zu den erfolgreichsten und genügsamsten Blütenpflanzen besonders flachgründiger Extensivbegrünungen. Diese genannten Vertreter der Gattung *Sedum* heben sich von lokalen Wildpflanzen hinsichtlich ihrer Konkurrenzkraft deutlich ab.

Eine Vielzahl von Veröffentlichungen zu begrünten Dächern bilden nur Momentaufnahmen kurzer Zeiträume ab. Langfristige Vegetationsuntersuchungen sind selten, diese sind dann umso wertvoller, wenn die Ausgangsdaten zum Vergleich in gleicher Qualität vorliegen und zur Interpretation der Veränderung mit herangezogen werden können. Als langfristige Untersuchungen an Berliner Dächern sind etwa Köhler (2006) zu nennen, die seit 1996 jährlich erfasst werden, für den Zeitraum bis 2019 vorliegen und zur Publikation in Vorbereitung sind. Ähnlich lang ist die Datenreihe des Projektes der Reihenhäuser der Lahe Wiesen in Hannover. Diese sind als einfache Intensivdächer angelegt worden und in den mehr als 30 Jahren ihres Bestehens mehrfach komplett untersucht worden (Catalano et al. 2017). Aus dieser Veröffentlichung ist ableitbar, dass sich zunächst die Artenzahlen über die Jahre erhöhen, dann stabilisieren und längere Zeit eher in der Vielfalt stagnieren, gleichzeitig aber immer wieder Arten aus dem Umfeld beispielsweise über Vögel eingetragen werden. Viele dieser neuen Einwanderer werden landläufig eher als „Unkräuter“ eingestuft. Ein gezielter gärtnerischer Eingriff, mit der Anlage von Nischen für weitere Arten, kann sich vorteilhaft auf die Artenzahl auswirken.

Köhler et al. (2018b) untersuchten eine einfache Extensivbegrünung in der Stadt Tornesch, die jahrelang ohne Pflege auskommen musste. Auch hier ist die Artenzahl über die Jahre deutlich zurückgegangen. Es hatten sich aus dem anfänglichen Arteninventar die Stärksten durchgesetzt, sodass die Dachfläche zwar sehr üppig aber artenarm aussieht. Als problematisch sind spontane Gehölze einzustufen, die, sofern sie nicht entfernt werden, zu Schäden an der Dachhaut führen können. Als zusammenfassendes Ergebnis hieraus lässt sich die Bedeutung der regelmäßigen Pflege für die Artenvielfalt (Biodiversität) als auch für die Funktionsfähigkeit der Dachbegrünung unterstreichen. Mclvor et al (2017) griffen die 2006 publizierten Dächer der Schweiz, Kanadas, Englands und Deutschlands nach 10 Jahren erneut auf und verglichen deren Entwicklung. Die etablierten Dächer funktionieren, meist mit etwas reduziertem Artenspektrum, weiterhin sehr gut.

Vanstockem et al. (2019) analysierten statistisch die Faktoren von 129 extensiv begrünten Dächern in Belgien hinsichtlich der floristischen Biodiversität. Die Dächer waren zwischen 1 und 19 Jahren alt und hatten Substrattieffen zwischen 2-15 cm. Ergebnisse hieraus sind; die Vegetation ist ständig im Wandel und das Umfeld ist weniger wichtig für die Vielfalt als die Substrathöhe. Die Dichte der gepflanzten Arten beeinflusst das Aufkommen von Spontanbewuchs und kleinwüchsiger Arten, die, wenn man diese auf Dachbegrünungen haben möchte, intensiv gärtnerisch betreuen sollte.

Pille/Säumel (2018) analysierten 322 Arbeiten zur floristischen Biodiversität von extensiven Dachbegrünungen, bisher waren nur 5 Arbeiten zur Artenvielfalt intensiver Dachbegrünungen zu finden.

Faunistische Biodiversität von Dachbegrünungen

Filazzola et al. (2019) führten eine Metastudie zur faunistischen Biodiversität von GI durch. Ein Schwerpunkt der Autoren lag auf Dach- und Fassadenbegrünungen. Aus ihrer Übersicht von über 1800 Veröffentlichungen hielten schließlich 33 Arbeiten ihren strengen Kriterien zur quantitativen Analyse stand. Mittels statistischer Analyse mit dem Ziel, die begrünten Varianten mit typischen unbegrünten zu vergleichen, kamen sie für die analysierten Tiergruppen Vögel, Arthropoden sowie Nematoden bei den ausgewerteten Forschungen zum Ergebnis, dass Dach- und Fassadenbegrünung signifikant zur Biotopanreicherung beitragen. Der Vergleich zwischen GI und natürlichen, vergleichbaren, ebenerdigen Standorten fiel knapp besser für die natürlichen Standorte aus.

Eine wesentliche Arbeit zur Fauna begrünter Dächer wurde von Mann (1996) geschrieben. Schon dort wurde auf die bestimmenden Faktoren, die zur faunistischen Vielfalt beitragen können, hingewiesen. Das sind im Einzelnen die Lage des Daches im Umfeld sowie die Größe und Struktur der Begrünung. Im Gegensatz zur Vegetation ist für die Fauna das Alter des Bewuchses für die Ausprägung von Lebensraumfunktionen prägend. Kziasek-Mikenas (2017) verglich eine Anzahl begrünter Dächer in Deutschland (Neubrandenburg, Berlin) mit der Vielfalt von extensiv begrünten Dächern in Chicago/USA. Es bestätigte sich, dass für die Biodiversität die anfängliche Strukturvielfalt einer der wesentlichen Faktoren ist, die sich noch über Jahre nachweisen lässt. Den Dächern kommt unter dem Aspekt der Lebensräume für solitär lebende Wildbienen große Bedeutung zu. Mikrostandorte, wie offener Sandboden, bieten darüber hinaus Nistmöglichkeiten, die in ebenerdigen Rasenflächen aus einer Vielzahl von Gründen häufig durch gärtnerische Pflegemaßnahmen vernichtet werden. Die faunistische Vielfalt begrünter Dächer wird umso größer, wenn passende Mikrohabitate vorhanden sind. In einer Reihe von Arbeiten wird auf die mögliche Vielfalt hingewiesen, etwa Coffman/Waite, (2011), Steck et al. (2015).

Domínguez, et al. (2020) glichen eine große Anzahl von extensiven Dachbegrünungen in Argentinien mit dem faunistischen Artenpotenzial im Umfeld ab. Auch sie kamen zum Ergebnis, dass die Standortvielfalt ausschlagge-

bend für die Vielfalt an blütenbesuchenden Tieren ist. Zwar ist in ihrer Untersuchung die Vielfalt am Boden zunächst größer, das fanden auch MacIvor/Lundholm (2011) heraus, allerdings ist die Gefahr der Zerstörung der Habitate auf den Dächern geringer und das Fehlen von räuberischen Arten auf den Dächern anzumerken. Dort lebende solitäre Bienen sind weniger dezimiert als in Lebensräumen vor den Gebäuden.

Belcher et al. (2019) widmeten sich in Singapur der Frage, welchen Einfluss begrünte Gebäude auf die städtische Vogelwelt haben. Ergebnisse dieser Arbeit sind:

- Große begrünte Gebäude unterstützen die Vielfalt der Vogelarten signifikant, das gilt für die Dachgärten als auch für die untersuchten großflächigen Wandbegrünungen.
- Allerdings konnten bei den intensiven Dachgärten der Innenstadt von Singapur keine hochspezialisierten Tropenwaldarten nachgewiesen werden. Für sie sind die Störquellen der geschäftigen Stadt zu störend. Im Gegensatz dazu ließen sich diese typischen Charakterarten nach Aussagen der Autoren auf Dachgärten des Stadtrandes finden.
- Die Artenzahlen auf den Gründächern generell nehmen mit zunehmender Gebäudehöhe ab.

Floristische Biodiversität von Fassadenbegrünungen

Die Artenvielfalt der Kletterpflanzenbegrünung ist in Deutschland begrenzt auf die hier vorkommenden wenigen einheimischen verholzenden Kletterpflanzen, wie Efeu, Hopfen, und einige Heckenkirschen-Arten oder Kletterrosen. Hinzu kommen eine Reihe von Kultivaren, die komplette Liste ist in der FLL-Fassadenbegrünungsrichtlinie (2018) zu finden.

Die wandgebundenen Begrünungen eröffnen neue ökologische Nischen vor und hinter den Pflanzmodulen. Diese sind aber laut der Recherche von Pille und Säumel (2017) noch nahezu unerforscht. Einerseits, weil es diese Module erst seit einigen Jahren gibt, andererseits, weil diese bisher zu selten gebaut wurden. Der bisherige Fokus zur Artenvielfalt der wandgebundenen Module lag auf einer robusten, flächendeckenden Pflanzenauswahl. Wandmodule, die unter ökologischen Aspekten ausschließlich mit lokalen Wildpflanzen bestückt sind, fehlen in Mitteleuropa noch. Patrick Blanc betont die Vielfalt in seinen Wandmodulen, diese befinden sich aber überwiegend in Regionen der Welt ohne Frost, die sich von Natur aus durch hohe Artenvielfalt auszeichnen. Die gewählten Arten sind auch in diesen Projekten schließlich gärtnerische Kultivare, die in größerer Anzahl verfügbar sind.

Aus den Versuchen in Neubrandenburg seit 2011 (Köhler/Nistor 2018c) und weiteren Arbeiten, etwa an Versuchsflächen der BOKU in Wien, sind in den nächsten Jahren für die Artenzusammensetzung für Mitteleuropa Übersichtstabellen zu erwarten, die es Planern ermöglichen, eine entsprechende vielfältigere Auswahl auf der Basis von bestehenden Erfahrungswerten zu treffen. Aktuell fällt die Empfehlungsliste der FLL-Fassadenbegrünungsrichtlinie (2018) sehr kurz aus.

Faunistische Biodiversität von Fassadenbegrünungen

Diese zusätzliche Strukturvielfalt an begrünten Kletterpflanzenfassaden eröffnet für Vögel, Insekten und Spinnen neue Lebensräume. Zusammenfassend sind diese Arten als thermophil (wärmeliebend), synanthrop (mit den Menschen zusammenlebend) und im Falle alter Efeubegrünungen auch als arboricol (holzbewohnend) zu klassifizieren (Köhler et al. 1993). Detailuntersuchungen, gerade bei der Fauna modularer Begrünungen, fehlen für Mitteleuropa bisher noch.

1.5 Weitere Effekte

Von zunehmender Bedeutung bei der Dach- als auch bei der Fassadenbegrünung ist die mögliche **Reinigungswirkung von Grauwasser** mittels einer Begrünung anzusetzen. Pradhan et al. (2020) zeigt am Beispiel einer Wandbegrünung, wie durch die Variation von Substraten, Phosphate und Nitrate etwa aus dem durchgeleiteten Grauwasser herausgefiltert werden können. Vor allem bei Neuplanungen kann die Bewässerung von Extensivbegrünungen auch mittels Grauwasser funktionieren, indem die notwendigen Bewässerungsleitungen zum Dach geführt werden. Dadurch wird eine durchgehende, ressourcenschonende Wasserversorgung der Begrünung ermöglicht. Untersuchungen konnten belegen, dass die Qualität des Grauwassers durch die darin enthaltenen pflanzenschädigenden Stoffe aus Reinigungs- und Waschmitteln nicht gehörig verschlechtert wird. Das Grauwasser muss vor dem Einsatz mikrobiologisch aufbereitet und hygienisiert werden (Walker/Schenk 2016). Einzelne Reinigungsanlagen auf Dächern funktionieren in Deutschland nun schon seit Jahrzehnten, etwa die bei John

Deere in Mannheim oder bei Possmann in Frankfurt. Unter anderem aufgrund des zusätzlichen Reinigungsaufwands bleiben die genannten Objekte bislang Einzelbeispiele.

Der **Lärminderung** durch begrünte Fassaden widmeten sich Romanova et al. (2019). Sie arbeiteten mit Pflanzen der Gattung *Bergenia* als typische Staude von modularen Wandbegrünungen und mit *Hedera helix* als großflächiger Kletterpflanzen. Als Ergebnisse wurden die entscheidenden Einflussfaktoren wie Blattmasse und Blattdichte hervorgehoben und für beide Pflanzen im Vergleich zur unbegrünten Wand eine signifikante Adsorption von Schallwellen ermittelt. Während für die Dachbegrünung und deren Lärminderungseffekt verschiedene Untersuchungen vorliegen, die je nach Frequenzbereich zwischen 10 und 20 dB(A) Reduktion nennen (Connelly/Hodgson 2013), besteht gerade bei den Fassaden noch erheblicher Forschungsbedarf im Zusammenspiel des Schall-absorbierenden Körpers und der separaten Betrachtung des zusätzlichen Nutzens durch unterschiedliche Begrünungen.

Der städtische Extraraum an den Fassaden und auf den Dächern wird als neuer Trend als Fläche zum **urbanen Gärtnern** genutzt (Artmann et al. 2020). Das verbindet neue Grünflächen in der Stadt mit Biodiversität und sozialer Interaktion. Es besteht ein Diskurs darüber, dass mehr begrünte Stadträume, auch in Abhängigkeit von der Gestaltung und Beleuchtung, die Kriminalitätsrate in Städten senken und so zur Gesundheit der Stadtbewohner beitragen (Halle et al. 2020). Die **urbane vertikale Landwirtschaft** im Gegensatz zu dem urbanen Dachgärtnern hat nennenswerte Produktionsmengen und entsprechende Produktqualitäten im Fokus. Diese Arbeitsrichtung ist nicht neu, die Protagonisten berufen sich auf Überlegungen von LeCorbusier und sehen in der Abschätzung des geringen ökologischen Fußabdrucks diese Form der Lebensmittelproduktion sehr zukunftsweisend. Pons et al. (2015) präsentieren hierzu Beispiele aus Barcelona. Der Produktionsdachgarten auf dem Arbeitsamt in Oberhausen geht in dieselbe Richtung und hat Mustercharakter. Al-Chalabi (2015) betont etwas kritisch, dass die vertikale Landwirtschaft in Gegenden mit viel Sonneneinstrahlung empfehlenswert sei. Die Überprüfung hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks im Vergleich zu herkömmlich angebauten Lebensmitteln weit außerhalb der Stadt sollte noch erfolgen, um die Nachhaltigkeit zu belegen. Denn bisher benötigt ein Kilogramm erzeugter Grüner Salat auf Dächern etwa 1,78kg CO₂, auf konventionellen Flächen nur 0,33kg CO₂. Er sieht die Lösung darin, an Gebäuden mehr PV einzusetzen, um damit die Energiebilanz zu verbessern. Ein weiterer Lösungsansatz besteht in der Anwendung von hydroponischen Systemen, die wesentlich leichter sind und sehr effektiv sein können. Goodman/Minner (2019) sprechen hier von einer „Agrarrevolution“, die Vielzahl der aktuellen Projekte unterstützt diese These. Die Berücksichtigung der fachgerechten Installation der Dachflächen von Schutz der Dachhaut bis hin zum Fallschutz und der sicheren Erreichbarkeit erfordern eine umfassende Planung im Vorfeld entsprechender Projekte, die schließlich ebenso zu erhöhten Materialeinsatz führen. An der Universität Singapur wurde experimentell und mit Simulation untersucht, welche Dichte an vertikal angeordneten Pflanzelementen für eine Durchlüftung des Gebäudes unter tropischen Bedingungen am besten geeignet ist (Yuan et al., 2019). Als Ergebnis ist zu sehen, dass eine lockere Anordnung der vertikalen Elemente des urbanen Gärtnerns mögliche Staunässe und Schimmelbildung durch Staunässe verhindert. Diese Erkenntnis kann in Mitteleuropa bei der Innenraumbegrünung wichtig sein.

1.6 Begrünungslösungen mit hohem Effekt

Bei den drei Varianten der Gebäudebegrünung, der Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung, gibt es eine Reihe von Gemeinsamkeiten in der Materialwahl und der erforderlichen Technik. In integrierten Konzepten werden die Begrünungskonzepte für den Innen- und Außenraum funktional zusammen betrachtet. Die richtige Kombination der Begrünungstechniken zu wählen, ist die Aufgabe für die bei der Begrünung beteiligten Pflanzenspezialisten. Individuell für jedes Gebäude und unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten, können aus einer Vielzahl von Möglichkeiten und der Kenntnis der akzeptablen Bau- und Pflegekosten passgenaue Lösungen für jedes Bauprojekt erarbeitet werden. Die nachweisbaren Wirkungen der Begrünungen beruhen auf der Kombination von Effekten der Pflanzen und der Substrate. Verschiedene ökologische Zielkriterien, wie beispielsweise Biodiversität, Verdunstungsleistung, Regenwasserrückhalt u.w. stehen dabei in einer Abhängigkeit zueinander. So kann eine Priorisierung oder Optimierung eines bestimmten Zielkriteriums dazu führen, dass andere Zielkriterien als Konsequenz weniger gut erreicht werden können.

Berücksichtigt man die steigenden innerstädtischen Grundstückspreise, die beispielsweise in bevorzugten Lagen Berlins bereits die 10.000 €/m² Grenze übersteigen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 09.02.2021), dann ist jede Form der Nutzung der Dachflächen unter dem ökonomischen Aspekt für den Investor relativierend. Auch die Mehrkosten für eine intensive Dachbegrünung von etwa 200 €/m² wirken dagegen gering.

Es entstehen zur ebenerdigen Fläche nahezu gleichwertige neue Freiflächen für den Nutzer auf den Dächern. Es muss allerdings die barrierefreie Zugänglichkeit ermöglicht werden.

Hohe Effekte bei geringem Aufwand ergeben sich aus den genannten, sich addierenden monetären und nicht monetären Vorteilen. Überzeugend ist der Vergleich der nur geringen zusätzlichen Gesamtbaukosten (siehe Tabelle 3) für die Begrünung. Demgegenüber steht der Vorteil der zusätzlichen Dachnutzflächen als Grün- und Freiraum, der insbesondere in verdichteten Räumen eine hohe Wirkung erzielt. Ab dem einfachen Intensivdach kommt der soziale Nutzen als Aufenthaltsfläche dem einer ebenerdigen Gartenfläche nahe, sofern die baulichen Voraussetzungen (Statik), der barrierefreie Zugang, die Absturzsicherung und der Brandschutz berücksichtigt werden. Die größte Variation in den positiven Effekten gibt es bei der intensiven Dachbegrünung. Der Aufbau kann zwischen intensiv gepflegten Dach-Gebrauchsrassen mit vereinzelt aufgestellten Pflanzkübeln, bis hin zu Bio-Refugien mit begrenzter Benutzung durch die Bewohner und Optimierung auf lokale Pflanzen- und Tiervielfalt im Sinne eines Ökorefugiums variieren.

Diese allgemein Wohlfahrtswirkungen rechtfertigen eine finanzielle Unterstützung durch öffentliche Förderprogramme, insbesondere, wenn Dachflächen als zusätzlicher Freiraum öffentlich zugänglich gemacht werden. Solche Beispiele sind aus Tokio bekannt, in Deutschland eher selten, wenn überhaupt als Dachbars kommerziell zugänglich.

Tabelle 3: Installations-, Unterhaltungs- und Rückbaukosten von Dach- und Fassadenbegrünungen aus unterschiedlichen Quellen

Gründach	Kosten Installation	Jährliche Unterhaltung	Rückbau	Mittlerer Preis m ² Innenstadt Bauland	Größe
Extensivbegrünung	67-128 (1)	0,9-9 (1)	12 (1)	500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
	25-50 (2)	Std. nach Aufwand (2)		500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
	19-135 (3)			500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
Semi-intensiv-Begrünung	112-128 (1)	7,8 (1)		500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
Intensivbegrünung	156-627 (1)	5,6 (1)	26 (1)	500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
	50-100 (2)	Std. nach Aufwand (2)		500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
	65 - 250 (3)			500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
Kletterpflanzenbegrünung	114-266 (1)	2-9 (1)	44-146 (1)	500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
	50-500 (2)	Std. nach Aufwand (2)		500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
	8-260 (3)			500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
Flächige Wandbegrünung	408-1.091 (1)	19 (1)	239 (1)	500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
	500-1.500 (2)	Std. nach Aufwand (2)		500-2.000, ggf. mehr	€/m ²
	250-1.000 (3)			500-2.000, ggf. mehr	€/m ²

(1) Manso et al (2021)

(2) GrünStadtGrau (2019)

(3) eigene Recherche (2021)

Schwieriger einzuschätzen sind die Fassadenbegrünungen. Sie setzen sowohl hohe Investitions- als auch Pflegekosten voraus. Auch hier ist im Idealfall ein Pflanzbild ähnlich eines ebenerdigen Gartens möglich, aber nicht dessen Nutzbarkeit als Aufenthaltsraum. Das Beispiel des amerikanischen Pavillons in Mailand zeigte auch, dass die vertikalen Flächen als effektive Gemüsegärten mit hohem Ertrag genutzt werden können. Ein großer Vorteil der Wandbegrünungen im Vergleich zu den begrünten Dächern ist neben der Verdunstungskühlung/ Verschattung die Sichtbarkeit im Straßenraum, was auch werbewirksam mit Zusatznutzen vom Eigentümer bzw. der Eigentümerin genutzt werden kann. Kletterpflanzenbegrünungen sind wesentlich preisgünstiger in den Anschaffungs- und Unterhaltungskosten, sind aber nicht so flexibel in ihrer Nutzung.

1.7 Zusammenfassende Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf

Die aktuell umfassendste Zusammenfassung der Vorteile von Dach- und Fassadenbegrünung ist von Manso et al (2021) veröffentlicht. Deren Ergebnisse sind in den Tabellen 4 und 5 zusammengestellt und um einige weitere Ergebnisse ergänzt.

Tabelle 4: Klimatische Effekte (Energieeinsparung) begrünter Dach- und Fassadenbegrünungen, Vergleich der Wirkungen im Mittelmeerraum und in Mitteleuropa.

	Zeitraum	Dämmung	In % Klima Mittelmeer(1)	Mitteleuropa (1)	Mitteleuropa (2)
Extensiv-Gründächer	Kühlung-Sommer	Gedämmt	53	84	/
		Ungedämmt	54	100	/
	Heizung-Winter	Gedämmt	53	8	4
		Ungedämmt	48	/	/
Semi-Intensiv Gründächer	Kühlung-Sommer	Gedämmt	41	/	/
		Ungedämmt	67	/	/
	Heizung-Winter	Gedämmt	30	/	/
		Ungedämmt	42	/	/
Intensiv-Gründächer	Kühlung-Sommer	Gedämmt	62	/	/
		Ungedämmt	84	/	/
	Heizung-Winter	Gedämmt	29	/	/
		Ungedämmt	48	/	/
Fassadenbegrünung	Kühlung-Sommer	Kühlung	34	/	/
Modulare Wandbegrünung	Kühlung-Sommer		66	/	/

(1) aus: Manso et al. 2021, gekürzt und ergänzt: Maximale Energieeinsparung von Gründächern im Vergleich zu einem Bitumendach. Relativangabe in % beschreibt maximalen Energiewirkungsgrad

(2) aus: Malorny/Köhler, 2009

Tabelle 5: Zusammenfassende Wertungen von messbaren Vorteilen der Dach- und Fassadenbegrünungen in Mitteleuropa im Durchschnitt

Bereich	Kennwerte	Indikatoren	Messgröße	Extensiv-Gründach	Intensiv-Gründach	Fassaden-Begrünung	Modulare Wandbegr.
Klima	Temperaturen	UHIE	°C	1,34	-	1,37	-
Lufthygiene	Feinstaubbindung	PM10	%	<79	-	<42-60	-
		PM2,5	%	-	-	<1,34% (1)	-
	C-Bindung	Zuwachs		Gering	Mittel	Gering	Gering
Wasserbewirtschaftung	Regenwasser-rückhalt, quantitativ		%	<33-<81	<85	-	-
		Regenwasser-rückhalt, qualitativ	Cd	%	8	-	-
		Pb	%	5	-	-	-
		NO3	%	80	-	-	-
		PO4	%	68	-	-	-
	Grauwasserreinigung	TSS - Total Suspended Solids	%	-	-	-	<80-90
Energie	Maximale Einsparung	Siehe Tabelle 4					
Lärm	Lärminderung		dB	<5-20	-	-	-
PV	Leistungsanstieg		%	2,6	-	-	-
Biodiversität	Fauna	Anzahl Tiere	Pro Fläche	Steigerung	Steigerung	Steigerung	Steigerung
		Flora	Anzahl Pflanzen	Pro Fläche	Steigerung	Steigerung	Steigerung

aus: Manso et al. (2021), Reduktion als Relativmethode in %, begrünt/unbegrünt im Vergleich
Nicht ausgefüllte Felder, Datenlage noch zu gering

Als Resümee ist aus dieser Übersicht abzuleiten, dass vielfältige Effekte nachweisbar sind. Allerdings sind die vorliegenden Erkenntnisse hinsichtlich der Art der Erfassung, der Methodik und weiterer Rahmenbedingungen so unterschiedlich, dass generelle Aussagen immer noch schwierig sind. Bei zukünftigen Untersuchungen ist der Wunsch an die Untersuchenden heranzutragen, dass möglichst verallgemeinerbare Erkenntnisse zu generieren

sind. Generell tragen Dach- und Fassadenbegrünungen zu einer Vielzahl von Verbesserungen bei. Stichworte wie:

Urbanes Dachgärtnern, „Biodiversitätsdächer“ oder auch Gründächer, die zur Reinigung von Brauch- und Regenwasser angelegt werden, bieten weitere Möglichkeiten, die aktuell viel zu wenig genutzt werden.

Bei den modularen und flächigen Wandbegrünungen steht die Entwicklung erst am Anfang. Der große Vorteil besteht in der Sichtbarkeit im Straßenraum. Der kontinuierliche Pflegeaufwand wird zukünftig sicher preisgünstiger, wenn es mehr Projekte gibt und entsprechend mehr geschultes Personal die erforderlichen Pflegearbeiten in einem lokal engeren Radius anbieten. Es sind weiterhin kreative, dauerhafte, nachhaltige und preisgünstige Lösungen gefragt. Riley et al. (2019) entwickelten etwa poröse Betonziegel, die mit Sukkulenten dauerhaft begrünt werden können, die sowohl bei den Installations- als auch bei den Pflegekosten günstiger sind als viele aktuelle Beispiele.

Ein Report, der als Erfolgskontrolle der letzten zehn Jahre der Gebäudebegrünung gewertet werden kann, ist die Zusammenstellung von Grant/Gedge (2019). Die Gebäudebegrünung begann in London durch die Überzeugungsarbeit Einzelner und ist heute in allen Stadtteilen Londons etabliert. Zusätzlicher Freiraum in der dicht bebauten Metropole, als auch das Argument, Refugien für die Stadtf fauna zu schaffen, haben zu einer fest etablierten Begrünungspolitik geführt. Für solche zusammenfassenden Einschätzungen ist es bei den Wandbegrünungen mangels der Anzahl an realisierten Projekten noch zu früh.

Während der Bearbeitung dieses Berichtes wurde am 15. Oktober 2020 durch den Generalsekretär der EU das Papier „A renovation Wave for Europe - Greening our buildings, ceating jobs, improving lives“ (EU-Kommission 2020a) vorgelegt. Darin wird in der ökologischen Sanierung, einschließlich der Gebäudebegrünung, die Chance gesehen, den Energiebedarf zu senken, über Life-Cycle-Betrachtungen die Qualitäten einzuschätzen, in der Kurzformel „The new European Bauhaus“ ökologisch, sozial und kulturell durchzustarten und in der zweiten Hälfte 2021 diese Transformation konkret umzusetzen.

Die Durchsicht der hier getroffenen Auswahl an Veröffentlichungen mit Bezug zur GI zeigen zusammenfassend, dass es genügend Ergebnisse gibt, welche als Argumente für mehr Gebäudebegrünung als ökologisch effektives und ökonomisch sinnvolles Instrument verwendet werden können. Ähnlich sehen es auch Boussetol et al. (2020) für Nordamerika. Gleichwohl können Detailbereiche benannt werden, in denen weiterer Forschungsbedarf besteht, um die Argumentationen zukünftig noch zu verfeinern. Die Empfehlungen hierzu sind nachfolgend hervorgehoben.

Weiterer Forschungsbedarf

Als Wissenslücken lassen sich aus diesen Arbeiten folgende Fragestellungen benennen:

- Viele Untersuchungen konzentrieren sich auf kurze Zeiträume von 1-2 Jahren, Langfristuntersuchungen wären aufgrund wandelnder Umweltbedingungen und möglicher Anpassungsstrategien der Pflanzen interessant.
- Meist sind die Wirkungen von Extensivbegrünungen nur an kleinen Modulen oder Kleinparzellen („Mikrokosmos“) untersucht worden. Der Vorteil solcher Einheiten ist es, für statistische Auswertungen ausreichend Parallelproben zu haben. Die klimatische Wirksamkeit von Gebäudegrün benötigt zur Absicherung der Daten jedoch langfristige Untersuchungen an realen Begrünungen, erst dann kann die klimatische Wirksamkeit in städtischen Grünverbänden abgesichert quantifiziert werden.
- Etwa ein Drittel aller Veröffentlichungen konzentriert sich auf Modellrechnungen, also vereinfachte Annahmen, die auf einem beschränkten Datensatz beruhen. Als Beispiel sei die Software ENVI-met genannt. Mittels neuer Rechentools wird diese Software laufend verbessert. Im Hinblick auf die Abbildung der realen Daten wären quantifizierbare Werte von Pflanzenarten hier eine zukünftig wichtige Ergänzung.
- Verfeinerungen der Artenauswahl hinsichtlich lokaler Besonderheiten der Biodiversität und in Verknüpfung mit den Ansprüchen an weitere Ökosystemdienstleistungen, wie Wasserrückhalt, Gebäudekühlung, Reinigungsbiotope an Fassaden und auf Dächern.
- Begrünte Gebäude als Bausteine städtischer Biotopnetzungen, vorzugsweise mit Konzepten der „freien Sukzession“ aber mit Managementplänen.
- Life-Cycle-Analysen: Welche Materialien werden eingesetzt? Wie ist deren energetischer Input im Blick auf die Nutzungsdauer zu bewerten? Wie gut sind die Baustoffe der begrünten Dächer/Fassaden recycelbar?

- Die Bedeutung begrünter Gebäude für den Tourismus: Begrünte Gebäude als Touristenpunkte mit hoher Aufenthaltsqualität für die Stadtbewohner und deren Besucher.
- Verankerung der rechenbaren Vorteile der Dach- und Fassadenbegrünung bei der Energie-Einsparung.
- Herausarbeitung von besonders effektiven Pflanzenarten bei der Gebäudebegrünung, etwa Toleranz weiter Amplituden zwischen Temperatur und Feuchteextremen, Verdunstungsleistungen.
- Vertiefungen zu Fragen des Brandschutzes bei der Gebäudebegrünung.
- Übertragbarkeit der ermittelten Wirkungen von Dach- und Fassadenbegrünungen aus internationalen Studien auf Deutschland.

1.8 Zwischenfazit

Die Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Gebäudebegrünung ist in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen. Sowohl die Dach- als auch die Fassadenbegrünung sind multifunktionale Maßnahmen, die verschiedene Wirkungen hervorrufen. Die Gewichtung der Effekte fällt bei den genannten Maßnahmen jedoch unterschiedlich aus.

Bei der Dachbegrünung steht insbesondere der Beitrag zum Regenwasserrückhalt und zur Retention im Fokus, gefolgt von der Minderung des urbanen Wärmeinseleffekts und der Förderung von Flora und Fauna im urbanen Raum. Bereits extensive Gründächer mit einer Aufbauhöhe von 10 cm können 50 % des anfallenden Regenwassers zurückhalten. Ein Retentions-Gründach schafft durch rigolenartige Elemente im Systemaufbau ein zusätzliches Retentionsvolumen auf dem Dach und entlastet bei Starkregen die kommunalen Entwässerungseinrichtungen. Über die Bepflanzung kann das angestaute Wasser im Anschluss verdunstet werden und so zur Kühlung der Umgebungstemperatur beitragen (1L Wasser verdunstet = 28,4 W/m² produzierte Verdunstungskälte). Eine Erhöhung der Verdunstung ist ein wichtiger Faktor zur Abkühlung städtischer Wärmeinseln. Durch eine fachgerechte Pflege, eine vielfältige und das Einbringen von Strukturelementen (z. B. Totholz) auf dem Gründach, kann ein naturschutzfachlich hochwertiger Lebensraum für Tiere und Pflanzen entstehen. Artenarme Sedum-Dächer sollten durch die Förderung des sogenannten Biodiversitätsgründachs, eine exentive Dachbegrünung mit hoher Strukturvielfalt, abgelöst werden.

Bei der Fassadenbegrünung steht der Kühlungseffekt durch Verschattung und Verdunstung im Vordergrund sowie die Bindung von Luftschadstoffen. Der Vorteil der Fassadenbegrünung zur Dachbegrünung liegt im direkten Wirkungsumfelds des Menschen auf Straßenniveau. Die Wirkung als gebäudebezogener sommerlicher Wärmeschutz auf die Gebäudeoberfläche und der damit verbundenen Einsparung an Kühlenergie ist der Einsparungseffekt, der für die Gebäudebesitzer bei den Energiekosten der Wohnungen bemerkbar ist. Im Bereich der Bindung von Luftschadstoffen zeigt sich, dass besonders heterogen strukturierte begrünte Wände mit sehr unterschiedlichen Blattstrukturen zur Feinstaubbindung beitragen. Auch der Beitrag zur Lärminderung und zur Verschönerung des Wohnumfelds sind zu nennen. Begrünte Lärmschutzwände bilden funktionale und gleichzeitig attraktive Elemente im Stadtraum.

Dach- und Fassadenbegrünungen können als alternative Anbauflächen auch einen Teil zur urbanen Landwirtschaft beitragen oder zum urbanen Gärtnern genutzt werden. Die Überprüfung hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks im Vergleich zu herkömmlich angebauten Lebensmitteln weit außerhalb der Stadt sollte noch erfolgen, um die Nachhaltigkeit zu belegen.

Die Frage der nachhaltigen Bewässerung von Dach- und Fassadenbegrünung bleibt bislang strittig. Während bei extensiven Begrünungen mit trockenheitstoleranten Pflanzen eine Bewässerung nicht notwendig ist, sieht das bei intensiver Begrünung und Fassadenbegrünungen anders aus. Es bestehen Forschungsprojekte zur Einbindung von Grauwasser und der systematischen Anstaubbewässerung, die bislang noch nicht in der breiten Masse angewendet werden. Besonders in sommerlichen Trockenperioden gilt es alternative Bewässerungsmethoden zur Trinkwassernutzung zu finden. Hier besteht weiterhin Entwicklungsbedarf.

Dach- und Fassadenbegrünungen tragen durch ihr Biomassenwachstum zur C-Speicherung bei. Soll die C-Speicherung erhöht werden, gilt es den jährlichen Biomassenzuwachs zu erhöhen. Düngung, Bewässerung sowie die Artenauswahl mit dem Ziel „Erhöhung des Blattflächenindex“ sind Möglichkeiten, die allerdings auch erhöhte Pflege, etwa den Schnitt an den Fassaden zur Folge haben. Bei extensiven Dachbegrünungen ist der Beitrag als Kohlenstoffsенke im Gegensatz zur intensiven Dachbegrünung aufgrund des geringen Pflanzenwachstums eher als gering einzustufen.

Gemäß den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie scheint das Klimaschutzpotenzial von Gebäudegrün primär darin zu liegen, dass beispielsweise durch Verdunstungskühleffekte oder Verschattungsmöglichkeiten Kühlenergie für Klimaanlage oder anderweitige aktive Gebäudekühlung eingespart werden kann (Einsparung direkter Emissionen). Das C-Speicherungspotenzial durch Biomassewachstum erscheint hingegen weniger wirksam als Klimaschutzmaßnahme, insbesondere nach normkonformer Betrachtung aller Module der Lebenszyklusbetrachtung (Einsparung indirekter Emissionen).

2 Bautechnische Lösungen zur Dach- und Fassadenbegrünung

2.1 Kategorisierung und Beschreibung bautechnischer Lösungen

Die Gestaltung von Gebäudebegrünungen umfasst eine große Breite prinzipieller Lösungsmöglichkeiten. Angewandt auf das Nutzungsziel, auf die örtlichen baulichen und klimatischen Verhältnisse und die jeweiligen Pflege- und Wartungsmöglichkeiten, ergibt sich eine Gruppe realistischer Alternativen, die den Rahmen für individuelle Gestaltungsabsichten und den Finanzierungsbedarf bestimmen.

Die unterschiedlichen Begrünungslösungen bilden jeweils eine typische Architektursprache aus, die mögliche Pflanzenauswahl ist umfangreich. Zu berücksichtigen sind die Tragfähigkeit und Oberflächenqualität der zu begrünenden Konstruktion. Ausschlaggebend sind zudem die Exposition und das Gesamtgewicht des Begrünungssystems (Eigengewicht ausgewachsener Begrünung, evtl. Sekundär- und Versorgungskonstruktionen, Niederschläge, Windkräfte). Wasseranschluss und Energieversorgung (z. B. für Pflege, Wartung und Instandhaltung) sind zu empfehlen. Es besteht in der Regel Baugenehmigungspflicht (Gestaltung, Statik, Brandschutz). Eine rechtliche Klärung ist bei Grenzberührung (Überhang, Platzbedarf, Wartung) erforderlich. Durch gezielt geplante Begrünungen kann erreicht werden, dass das Winterbild nicht von abgestorbenen Pflanzenteilen bestimmt wird. Alle Begrünungen bedürfen einer sicheren Wartungs- und Pflegezugänglichkeit, um den wirtschaftlichen Erhalt sicherzustellen. Einige Begrünungssysteme benötigen eine ganzjährige, automatisch gesteuerte künstliche Bewässerung und Nährstoffversorgung, was zugleich sorgfältig aufeinander abgestimmte Pflanzengesellschaften erfordert. Alle Bestandteile eines Begrünungssystems sind auf die geplante Lebensdauer abzustimmen.

Nachfolgend werden Lösungsmöglichkeiten zur Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen vorgestellt. Für die Darstellung und Kategorisierung aktueller Begrünungslösungen wurden die Bandbreite aktueller Begrünungslösungen, Ausgangssituationen und Anforderungen untersucht. So zeigen sich Anwendungen für Gebäude mit unterschiedlichen Dachformen (Flachdach, Schrägdach) sowie Begrünungslösungen für Fassaden, die versiegelten bzw. nicht versiegelten Bereichen zugeordnet sind.

Dachbegrünung

Ergänzend zur Nutzung von Dachflächen für die Solarenergiegewinnung kommt den Dachbegrünungstechniken wegen ihres gestalterischen und ökologischen Potenzials wachsende Beachtung zu. Neben den häufig ausgeführten reinen Begrünungen von Substratschüttungen gibt es inzwischen bewährte multifunktionale Lösungen, die hier zusammengefasst und als Unterkategorien im Anschluss beschrieben werden. Eine bauseitige wasserableitende Flächenabdichtung ist die Voraussetzung für alle Arten der Dachbegrünung.

a) Varianten mit Priorität Gewichtseinsparung, extensive Begrünungen

Hierbei handelt es sich um naturnah gestaltete Vegetationsformen, die sich weitgehend selbst erhalten und weiterentwickeln, mit geringem Aufwand herstellbar und zu unterhalten sind. Die extensive Begrünung ist der Begriff für kostengünstige, wartungsarme Begrünungen von flachen und geneigten Dächern. Sie lässt sich in verschiedenen Varianten ausführen. In Anlehnung an Spontanbegrünungen gibt es eine Reihe geeigneter Trägersysteme mit oder ohne Substrat, welche einerseits dem Anspruch an Gewichtsreduktion sowie andererseits dem Einsatz einer erhöhten Pflanzenbandbreite von Moosen über den Sedumteppich bis hin zu Stauden und Kleingehölzen gerecht werden. Diese Vielfalt von interessanten wie auch erfolgreichen Begrünungstechniken ist auf flachen und schrägen Dachflächen einsetzbar (Pfoser/Jenner 2014: 66). Auch Extensivbegrünungen genügen heute dem zunehmenden Anspruch der Flächenmultifunktionalität, z. B. als Solar-, oder Biodiversitätsgründach.

Sedum-/Moosmatten

Vorkultivierte Sedum-/Moosmatten bestehen aus einem Wasserspeichervlies und ggf. einem dreidimensionalen Wirrgewebe als Vegetationsträger. Sie werden mit ihrem Gewicht von ca. 20 kg/m² direkt auf die Dachabdichtung geklebt. Für den Fall der Anforderung einer dauerhaften frischen Grünwirkung ist die Entscheidung einer künstlichen Bewässerung mit Regenwasser zu treffen (Pfoser/Jenner 2014: 64).

Begrünung auf Substratschüttung in Höhe von 5-15 cm

Alle Dachkonstruktionen mit entsprechender Neigung können unter Berücksichtigung der Bauphysik und der erhöhten Dachlast begrünt werden. Dieser Aufbau kann infolge seines erhöhten Gewichts eine Kies- oder Platten-

beschwerung ersetzen, daher ist eine Fixierung der Dachabdichtung nicht erforderlich. Kostengünstig ist eine extensive einschichtige Dachbegrünung (Substrat über Schutzlage, ohne Entwässerungslage). Dies setzt hohe Ansprüche an die Substratqualität (z. B. Wasserspeicherefähigkeit, Durchlässigkeit) voraus. Aufgrund der wasserspeichernden Substratschicht und der robusten Pflanzenauswahl ist in der Regel keine künstliche Bewässerung erforderlich. Um die Vitalität in langanhaltenden Trockenperioden zu erhalten, sollte jedoch ein Wasseranschluss vorgesehen werden (Pfoser/Jenner 2014: 66).

b) Varianten mit Priorität Nutzung, intensive Begrünung

Die Nutzung von Dächern umfasst meist befestigte Wege- und Terrassenflächen auf Flachdächern oder flach geneigten Dächern. Eine gesamtflächige Nutzung der Dachbegrünung setzt entsprechend belastbare Gras-/Wiesenflächen voraus. Die konstruktive Eignung der Substanz für die Aufnahme von Zusatzlasten (Gründachaufbau/Wasserrückhalt) und Sicherheitsbauteilen (Absturzsicherung) ist zur Genehmigung nachzuweisen. Für Begrünungen von genutzten Dachgärten besteht die Forderung nach einer möglichst wenig eingeschränkten Pflanzenwahl, da diese – zumal in öffentlichen Bereichen – höheren mechanischen und klimatischen Belastungen sowie Vorgaben für Gestaltung und Nutzung der Oberfläche gerecht werden muss. Der Aufbau verlangt hierzu eine qualitative Nachbildung des gewachsenen Bodens. Mit der Speicherefähigkeit von geeigneten Substraten beginnt die Schütthöhe mit 15 cm, kann aber flächig oder stellenweise (Standorte für Gehölze/Bäume) deutlich darüber liegen (Bäume ab 80 cm). Wo solche Aufbauhöhen wegen der örtlichen Verhältnisse nicht flächig realisiert werden können, besteht die Möglichkeit, mit Pflanzgefäßen bereichsweise und zonierend Raum für ein ausreichendes Substratvolumen, z. B. über tragenden Wänden/Stützenstellungen, als Wurzelraum zu schaffen (Pfoser/Jenner 2014: 67 ff.).

Begrünungen auf Substratschüttungen von > 15 cm

Der Aufbau hat folgende Lagen (von unten nach oben): Wurzelfeste Dachabdichtung, Schutz- und Speichervlies, Drän- und Wasserspeicherelemente (optional Wurzelschutzbahn, Speichervlies, mineralisches Dränsubstrat), Filtervlies, Substratschichten auf Vegetation abgestimmt (Rasen, Stauden und Gehölze, Bäume bei einer Substrathöhe ab 80 cm). Das Aufbaugewicht ist statisch relevant und muss bei der Planung berücksichtigt werden. Die Pflanzenauswahl stellt hohe Ansprüche an den Schichtenaufbau. Intensivbegrünungen sind nur durch intensive Pflege und regelmäßige Wasser- und Nährstoffversorgung dauerhaft zu erhalten. Die Pflanzenauswahl erfolgt nach Winterhärte, Lebensform, Geselligkeit, Blatt-, Blüh- und Farbaspekten. Eine künstliche Bewässerung ist empfehlenswert (Pfoser/Jenner 2014: 67).

Pflanzgefäße

Vorkultivierte Füllungen mit Stauden, Gräsern und/oder Gehölzen sind möglich. Die Substratfeuchte, Wasserspeicherschicht, Dränage, Wasser-, und Nährstoffversorgung sind der Pflanzenauswahl anzupassen. Staunässe in den Behältern muss vermieden werden. Eine Dränage, abgedeckt mit einem Vlies, ist daher zu empfehlen. Die Exposition (Licht- und Windverhältnisse), Pflege- und Wartungszugänglichkeit sind bei der Planung zu berücksichtigen. Die geplante Bepflanzung hat direkten Einfluss auf die Behälterhöhe (für ca. 2 m hohe Sträucher mindestens 50 cm). Zur Begrünung eignen sich alle statisch ausreichend dimensionierten ebenen Flächen (Neigung max. ca. 5°). Bei druckempfindlichen Materialien wie Flachdächern mit Dämmungsaufbau müssen druckverteilende Platten untergelegt werden. Wichtig ist die Beachtung der Standfestigkeit auch unter Sturmfluss. Bei einem Einsatz auf Umkehrdächern oder nachträglich mit Perimeterdämmung gedämmten Flächen sollte für eine Durchlüftung der Standflächen gesorgt werden (Pfoser/Jenner 2014: 68).

c) Untervarianten für Dachbegrünungen – Multifunktionsdächer

Die zunehmende bauliche Dichte erfordert alternative Lösungswege. Ziel ist es, zugunsten von Begrünungen, den Platzbedarf für Gebäudetechnik möglichst zu begrenzen. Folgend werden multifunktionale Flächenlösungen, auch zur Erhöhung der Biodiversität aufgeführt.

Solar-Gründach

Die Dachkonstruktion ist auf ihre Eignung für ein Solar-Gründach zu prüfen, die Tragfähigkeit bzw. mögliche Punkte zur Lasteinleitung zu ermitteln, Auflast und Windsog sind zu berücksichtigen. Alle Dachkonstruktionen mit entsprechender Neigung von 0–5 ° können unter Berücksichtigung der Bauphysik sowie der erhöhten Dachlast mit einer Kombination aus Dachbegrünung und Solaranlagen ausgestattet werden. Neben den Richtlinien zur

Dachbegrünung ist die DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712) 2006: Errichten von Niederspannungsanlagen zu berücksichtigen. Weiterhin ist zu klären, ob und auf welche Weise umgebende Gebäude und Vegetation die geplante Installation beeinflussen.

Es gelten die zuvor beschriebenen Kriterien des geplanten Begrünungsaufbaus. Zusätzlich kommt eine technisch funktionale und sichere Bündelung der Energieversorgung der Instandhaltung zugute. Abstände der Paneelreihen sind in Abhängigkeit von Substratdicke, Pflanzenart, Wuchshöhe und Wartungszugänglichkeit festzulegen. Das Pflanzenwachstum wird über die Substratdicke und die Bewässerung gesteuert (Brenneisen 2014). Pflege- und Wartungsintervalle sind festzulegen und einzuhalten.

Biodiversitäts Gründach

Ein Biodiversitäts Gründach ist als Minderungs- oder Ausgleichsmaßnahme für Eingriffe in die Naturschutzgüter geeignet, wenn es folgende Bausteine der Biodiversität umsetzt (FLL 2008: 58 f.):

- Passende Substratauswahl, Oberflächenmodulation für Begrünungsziel und Artenreichtum
- Vegetationsfreie Areale (z. B. Sand- oder Lehmlinsen, Kiesbeete, Schotterflächen)
- Rückzug für Bodentiere (Substratanhügelungen, Gehölzpflanzungen, höhere Pflanzbeete)
- Einbeziehung von Futterpflanzen für Insekten und Vögel in das Bepflanzungskonzept (ganzjährig)
- Einbringung von Totholz (Haufen aus Ästen, Wurzelstöcken, Baumscheiben)
- Einsatz von wind- und wassersicheren Nisthilfen für Vögel und Insekten
- Platzierung von Wasserelementen, ggf. mit geeigneter Flora (z. B. Wassertränken, Teiche)

Ein detaillierter Ausführungsplan ist möglichst unter Einbeziehung von Biologen zu erstellen. Als Beitrag zur Artenvielfalt sowie nach Grad der vorgesehenen Anrechnung der Dachbegrünung für Minderung oder Ausgleich kann die Verwendung von standortgerechtem Pflanzenmaterial/gebietseigenem Saatgut gefordert werden (FLL 2008: 18, 58, 95, 81). Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), die örtliche Bauordnung sowie die Strategie zur Biologischen Vielfalt sind zu berücksichtigen.

Retentions Gründach

Das Pflanzenwachstum entspricht dem klassischer Gründächer. Hinweise zur Versorgung gelten entsprechend. Der Fokus kann jedoch auf einer höheren Verdunstungsleistung ausgewählter Pflanzen liegen. In Trockenphasen ist eine Mindestwasserversorgung (Regenwasserzisterne) zu gewährleisten (Köhler/Kaiser 2019). Der Aufbau eines Retentions Gründachs ist für eine möglichst große Abflussrückhaltung des Regenwassers optimiert. Spezielle Dränagen halten Wasser mittel- oder längerfristig zurück (bis zu 80 Liter/m²). Über das zurückgehaltene Wasser können die Pflanzen langfristig mit Regenwasser versorgt werden.

Wasser Gründach

Die Dachoberfläche als Aufbaugrund muss dauerhaft und zuverlässig dicht sein. Dachflächen als Umkehrdach oder mit nachträglich aufgebracht Dämmung sind ungeeignet. Aufschwimmende Bauteile müssen vermieden werden. Bei Bauweisen mit einer Wasserführung oberhalb der Substratschicht werden Repositionspflanzen feuchter Lebensbereiche verwendet (Seggenarten, Binsen, Sumpfdotterblumen etc.). Die Aufrechterhaltung eines Pumpenkreislaufs ist erforderlich. Die Pflege von Wasserdächern beschränkt sich auf das regelmäßige Entfernen unerwünschter Spontanvegetation. Wasser Gründächer bieten mit ihrer sichtbaren Wasserfläche zusätzliche Gestaltungspotenziale und Biodiversität.

Gebäude integrierte Farmwirtschaft

Relevante Standortkriterien für eine gebäudeintegrierte Farmwirtschaft sind Flächengröße, Aufbau und Belastbarkeit der Primärkonstruktion, die Zugänglichkeit, die Belichtung sowie rechtliche Aspekte (ZALF 2012). Anbauflächen auf dem Dach unterscheiden sich im Aufbau nicht von flächigen Intensivbegrünungen. Eine Schutzlage schützt den Dachaufbau vor mechanischer Einwirkung. Das Substrat sollte den Kriterien des Nahrungsmittelanbaus genügen. Pflanztröge und Hochbeete auf dem Dach sind heute keine Seltenheit mehr. Die Größe der Anbaufläche ist abhängig vom Nutzungskonzept (Pfoser 2020). Die Personensicherheit muss gegeben sein, die Ver- und Entsorgung mit Wasser und Nährstoffen ist sicherzustellen. Ressourcen- und Stoffkreisläufe (z. B. Speicherung und Einsatz von Regenwasser, Nutzung von Solarenergie, Kompostierung organischer Abfälle) sind sinnvolle Strategien. Es gelten die Richtlinien der Gebäudebegrünung sowie zusätzlich DIN EN 13031-1:203-09 und DIN EN 1991-1:2010-12.

Wand- und Fassadenbegrünung

Die heutige Bandbreite erfolgreicher Wand- und Fassadenbegrünungen wird zwei grundsätzlich unterschiedlichen Anwendungen gerecht. So gibt es Lösungen für unversiegelte Bereiche (z. B. Vorgärten und Gartenhöfe) und Lösungen für versiegelte Bereiche (z. B. Gehwege und Zufahrten). Wenn Maßnahmen zur Wärmedämmung geplant sind oder bereits durchgeführt wurden, müssen Begrünung und Dämmung aufeinander abgestimmt werden.

a) Lösungen für unversiegelte Bereiche

Sind Vorgärten vorhanden, ist eine Begrünung von Fassaden meist unproblematisch. Dennoch sind auch bei Begrünungen im Vorgartenbereich Verläufe von Hausanschlüssen zu klären und geeignete Pflanzsubstrate zu verwenden. Bei der Pflege der Vorgärten ist, insbesondere in der Anwuchsphase, darauf zu achten, dass die Fassadenbegrünung nicht beschädigt wird. Werden Gerüstkletterpflanzen gewählt, muss ggf. die vorhandene Vorgartenbepflanzung im Rahmen der Bauarbeiten (Anbringen der Rankhilfe) geschützt werden. Vorhandene Balkone/Loggien können bei der Wahl von Gerüstkletterpflanzen in die Gestaltung einbezogen werden. Begrünte Außenwände können die Aufenthaltsqualität positiv beeinflussen.

Selbstklimmer

Die Gruppe der Selbstklimmer eignet sich zur direkten Begrünung einer Wand/Fassade. Hierfür ist ein rissfreier und fugenloser Untergrund (Massivwand, Beton oder Mauerwerk) erforderlich. Das Gesamtgewicht der Pflanze wird direkt in die Wand/Fassade eingeleitet. Oberflächen, wie kunststoffvergütete Anstriche und dünne Spachtelputze, sind für eine Begrünung mit Selbstklimmern ungeeignet. Anforderungen an die Pflanzgrube und mögliche Kabeltrassen sowie eine ggf. erforderliche Bewässerung in der Anwuchsphase sind zu berücksichtigen (Pfoser 2018: 71 ff.).

Gerüstkletterpflanzen

Sommer- und Immergrüne Gerüstkletterpflanzen (Ranker, Schlinger/Winder) bieten vielfältige Möglichkeiten, um die architektonische Aussage des Entwurfs zu unterstreichen. Es sind vertikale, horizontale oder (partiell) flächenhafte Lösungen realisierbar. Durch die separate Wuchsebene können Gerüstkletterpflanzen gelenkt werden und sind daher in Bereichen mit bautechnisch sensiblen Bauteilen den Selbstklimmern vorzuziehen. Die Abstimmung von Pflanze und Wuchshilfe ist zur Fehlervermeidung wesentlich. Einjährige bzw. staudig wachsende Kletterpflanzen machen einen schnellen Begrünungserfolg möglich (Pfoser 2018: 74 ff., 211 ff.).

b) Lösungen für versiegelte Bereiche

Fassadenbegrünungen im Gehwegbereich sind sehr anspruchsvoll in der Planung und Ausführung. Dafür haben sie funktional und gestalterisch die größte Außenwirkung. Vorgelagerte Freiflächen (Pflanzstreifen) sind meist nicht gegeben. Es ist davon auszugehen, dass im Bereich des Gehwegs unterirdisch Kabeltrassen und die Hausanschlüsse für Gas, Wasser, Abwasser, Strom oder Kommunikationstechnik verlaufen. Der Boden im Bereich des Gehwegs ist stark verändert. Daher sollte bei bodengebundenen Begrünungen auf ein geeignetes, überbaubares Pflanzsubstrat zurückgegriffen werden. Alternativ bieten sich die Lösungen der wandgebundenen Begrünung an, die keinen Anspruch an einen Boden- und Bodenwasseranschluss haben, da sie künstlich mit Wasser und Nährstoffen versorgt werden.

Bodengebundene Begrünung

Hier kommen Selbstklimmer oder Gerüstkletterpflanzen, wie zuvor beschrieben, zum Einsatz. Die Pflanzen werden mit ihren Pflanzgruben z. B. im Bereich des Gehwegs platziert (min. 50 cm Tiefe, exklusive Einfassung) (FLL 2000: 96), die Pflanzscheiben ggf. durch Pflanzgitter vor dem Betreten durch Passanten etc. gesichert. Wurzelsperren zu angrenzenden Bauteilen/Infrastrukturen oder Pflanzgefäße entschärfen den Konflikt zwischen Pflanze und möglichen Leitungsinfrastruktur. Die Wasserversorgung wird durch Wurzelsperren bzw. Behälter eingeschränkt, sodass dauerhaft auf eine Bewässerung in Trockenperioden geachtet werden muss. „Nischen“ und „Rücksprünge“ sind eine weitere Option, den Pflanzen mehr (Wurzel-) Raum zu gewähren.

Wandgebundene Begrünung

Unter dem Begriff der wandgebundenen Begrünung werden Begrünungsanwendungen ohne Boden- und Bodenwasseranschluss zusammengefasst. Mit der Loslösung der Wand-/Fassadenbegrünung vom Boden werden die Möglichkeiten der Pflanzenexposition erheblich erweitert. Dies fordert angepasste Techniken des konstruktiven Aufbaus, der Substrathaltung und einer ganzjährigen (in der Regel automatisierten) Versorgung mit Wasser (im

besten Fall zuvor gespeichertes Regenwasser) und Nährstoffen sowie die Berücksichtigung geeigneter Pflanzengesellschaften (Pfoser/Jenner 2014; Pfoser 2018). Bei Vorkultivierung ist die sofortige Flächenwirkung mit der Baufertigstellung möglich. Gestaltungsziel kann die Betonung der Linearität (vertikal/horizontal) oder eine Vollbegrünung der Wand/Fassade sein.

Horizontale Pflanzgefäße (Einzel-/Linearbehälter) unterstützen das natürliche Vertikalwachstum der Pflanzen zum Licht hin. Die Pflanzenbandbreite reicht von Stauden, Gräsern, Farnen, Zwiebel- und Knollengewächsen sowie Kleingehölzen bis hin zu Kletterpflanzen. Die Auswahl ist je nach Anforderungen an Winterhärte und Wurzelraum eingeschränkt. Als Substrat kommen bodenähnliche Mischungen zum Einsatz. Dränagen beugen einer unkontrollierten Substratübernässung bzw. einem Überlaufen der Pflanzgefäße vor (Pfoser 2018: 78 ff.).

Modulare, vertikal ausgerichtete Einheiten sind meist quadratisch oder rechteckig. Die Substratbehälter mit Bautiefen von ca. 10–25 cm werden vorkultiviert auf die abgestimmte Unterkonstruktion montiert und durch ein Rohrsystem mit Wasser und Nährstoffen versorgt. Gegen Durchfeuchtung der Primärkonstruktion ist eine Abdichtungsebene oder eine ausreichende Hinterlüftung erforderlich. Das senkrecht gehaltene Substratvolumen besteht in der Regel aus strukturstabilen feuchtespeichernden Materialien mit ausreichender Luftkapazität (Pfoser 2018: 81 ff.). Für Gitterbehälter werden Recyclingkunststoffe oder korrosionsfreie Metalle eingesetzt. Unterhalb begrünter Flächen werden Fangbleche zur Ableitung von überschüssigem Wasser angeordnet. Durch handliche Montagevorgänge, Geräteeinsatz und Vorkultivierung im Gartenbaubetrieb werden Installationen mit relativ kleiner und schneller Baustelleneinrichtung ermöglicht (Pfoser 2018: 81 ff.).

Flächige Begrünungsträger bestehen in der Regel aus einem pflanzentragenden Geotextil an einer systemeigenen, hinterlüfteten, ganzflächigen, verrottungsfreien Trägerplatte bzw. Unterkonstruktion. Pflanzen werden mit ihren Wurzeln in Einschlitzungen eingebracht und überwachsen diese vollständig. Größere Pflanzen wurzeln in aufgedoppelten, substratgefüllten Vliestaschen. Zum Einsatz kommen Stauden, Kleingehölze, Moose, bedingt Kletterpflanzen. Diese werden in der Regel mit einer nährstoffhaltigen Bewässerung über die Substratersatzfläche (Geotextil) versorgt. Auch bei dieser Variante erfolgt die Pflanzenauswahl nach Exposition (Licht-, Windverhältnisse) und Pflanzengesellschaft. Die Pflege- und Wartungszugänglichkeit muss dauerhaft gewährleistet sein. Es handelt sich um eine leichte Bauweise. In der Installation wird der beste Wert Fläche/Zeit erreicht. Horizontal- und Vertikalkräfte werden über die Hinterlüftungsfuge hinweg in die tragende Außenwand eingeleitet. Bei problematischen Wandoberflächen (z. B. Wärmedämmverbundsystem oder Vorsatzschale) ist eine selbsttragende Sekundärkonstruktion vor der Wand nötig (Pfoser 2018: 86 ff.).

2.2 Vor- und Nachteile bautechnischer Lösungen

Die Vielfalt wirtschaftlicher, ökologischer und gestalterischer Motive zur Begrünungsanwendung und die große Variationsbreite ihrer unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten birgt vielfältige Chancen zur Schaffung von Synergien aus konkreten baulichen Optimierungen und zugleich verbesserten Lebens- und Umweltbedingungen. Ökologie/Umweltaspekte haben in den vergangenen Jahren unter dem Druck des Klimawandels, der damit verbundenen Verstärkung stadtklimatischer Probleme (Überhitzung, Zunahme von Starkregenereignissen etc.) und der daraus resultierenden Anpassung urbaner Gebiete an den Klimawandel, erheblich an Bedeutung gewonnen. Der Aspekt der Aufenthaltsqualität ist in jüngster Zeit besonders durch vorbildliche Beispiele intensiver Gebäudebegrünungen in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Dach- und Fassadenbegrünungen werden an Gebäuden heute zum Image- und Identifikationsfaktor. Auch das in den Innenstädten an wechselnden Orten zu findende „Grüne Zimmer“ wird gerne angenommen. Diese Projekte vereinen die Suche nach einer zukunftsfähigen, ökologisch bewussten Lebensweise mit einem hohen Gestaltungsanspruch. Gebäudebegrünungen tragen inzwischen auch zur Reduktion der Betriebskosten (meist im Bereich Gebäudekühlung) bei und sind dabei gegenüber rein technischen Lösungen bezüglich der Investitions- und Unterhaltungskosten im Vorteil.

Dachbegrünung - Lösungen mit Priorität Gewichtseinsparung, extensive Begrünungen

Spontanbegrünungen in der Natur sind das Vorbild extensiver Begrünungen: Moosdecken, Kräuter, Gräser oder Stauden auf Felsen, im Nebel der Wasserfälle oder von Moosen und leuchtend gelben Flechten bedeckte Mauerkronen haben sich spontan aus ihren Standortbedingungen gebildet. Dieser Entwicklung folgen die Techniken der Extensivbegrünungen, um Flach- oder Steildachflächen trotz aller Einfachheit mit einer vielfältigen Begrünungsgestaltung herzustellen.

Sedum-/Moosmatten

Textilmattenbegrünungen bieten den Vorteil der Vorkultivierung, sodass ein fertiger Moos-/Sedumteppich schon mit der Gebäudefertigstellung optisch wirksam und ökologisch relevant sein kann. Der Gestaltungsspielraum begrenzt sich auf die Flächenwahl. Das Farbenspiel ergibt sich aus den gewählten Moos-/Sedumarten.

Bei reinen Moosmatten reicht das Farbspektrum je nach Feuchtezustand von z. B. rostrot bis zu hellgrün. Der Einsatz erfolgt aufgrund des geringen Gewichts meist im in der Regel statisch ausgereizten Industrie- und Gewerbebau. Es können aber auch herkömmliche Flach- und Schrägdachaufbauten mit dieser Technik begrünt werden. Die Dachstatik muss auch für diese „leichte“ Form der Begrünung ausreichend dimensioniert sein, die Entscheidung zur Begrünung ist insoweit bauaufsichtlich relevant. Bei Wärmdächern muss auf eine lückenlose Dampfsperre geachtet werden, da die Feuchteverhältnisse des begrünten Belags auch in der warmen Jahreszeit eine kühlere Oberfläche des Dachaufbaus bewirken kann. Die Entwässerung erfolgt über die Mattenoberfläche. Eine zusätzliche mechanische Fixierung der Dachabdichtung ist ggf. erforderlich. Der Investitionsaufwand der reinen Begrünungstechnik, ohne Schutzvlies, künstliche Bewässerung mit Regenwasser und Nährstoffen, liegt im unteren Bereich (bei ca. 45–60 €/m², abhängig von Bauweise, Pflanzenauswahl, Gesamtgröße und Erreichbarkeit, Dachdurchdringungen), ebenso der Wartungs- und Pflegeaufwand (ca. 0,50 €/m²/a, zzgl. ggf. Kosten für Bewässerung und Nährstoffversorgung) (Pfoser und Jenner 2014: 64).

Substratschüttung 5-15 cm

Die Gestaltung der klassischen Extensivbegrünung zeigt sich in der Flächenwirkung mittelfristig je nach Pflanzenauswahl (Art, Textur, Farbgebung, Belaubungsphase). Die Pflanzenauswahl erfolgt nach Winterhärte und Lebensform (Lichtverhältnisse, Wasserbedarf, pH-Wert) sowie Geselligkeit, Blatt-, Blüh- und Farbaspekten. Der Aufbau besteht aus einer höhenvariablen Substratschüttung sowie einer Schutz-, Speicher- und Entwässerungslage oberhalb der Abdichtungsebene. Die Kosten des Aufbaus betragen ca. 15–35 €/m² (abhängig von der Pflanzenauswahl, Gesamtgröße und Erreichbarkeit, exkl. Bewässerungssystem). Pflege- sowie der Wartungs- und Instandhaltungsaufwand sind mit ca. 1–3 €/m²/a gering bis mittel einzustufen. Kosten für eine evtl. Bewässerung und Nährstoffversorgung sind hinzuzurechnen (Pfoser und Jenner 2014: 66).

Dachbegrünung - Lösungen mit Priorität Nutzung, intensive Begrünungen

Das Potenzial ungenutzter Flachdächer als begrünter Dachgarten, als Spielraum, als gewerbliches Angebot oder hochwertige Wohnungserweiterung etc. ist groß. Ein wertvoller Gebrauchsnutzen ist eine gute Grundlage für Erhalt und Pflege. Die Nutzung begrünter Dächer umfasst meist befestigte Wege- und Terrassenflächen. Voraussetzungen einer sicheren Nutzung sind eine ganzjährige gefahrlose Begehbarkeit (Nachweis zur Tragfähigkeit, Verkehrssicherheit/Absturzsicherung), die Berücksichtigung der Unfallverhütungsvorschriften, der Brandschutz sowie die Einhaltung nachbarrechtlicher Regelungen. Nutzungsumfang, Erhaltungsbeitrag und Pflegezuständigkeit sind zu klären. Nutzungsänderungen der Dachbegrünung sind statisch zu beachten (FLL 2008: 26).

Substratschüttung > 15 cm

Der Pflanzenauswahl sind bei dieser Form von Intensivdächern bei entsprechender Substrathöhe keine Grenzen gesetzt. Die geplante Flächenwirkung wird mittelfristig, je nach Pflanzenauswahl, Art, Textur, Farbgebung sowie Belaubungsphase erreicht. Geeignete Dachkonstruktionen sind statisch ausreichend dimensionierte flache oder flachgeneigte (0–5 °) Betondecken, unterirdische Betonbauwerke oder andere statisch stabile Konstruktionen. Der Kostenrichtwert der Begrünung liegt bei ca. 5 €/m² je cm Substratstärke (abhängig von der Pflanzenauswahl, Gesamtgröße und Erreichbarkeit, exkl. Bewässerungssystem). Pflege-, Wartungs- und Instandhaltungsaufwand sind mit ca. 3,50–5 €/m² (zzgl. Kosten für Bewässerung und Nährstoffversorgung) hoch und mit bodengebundenen Freiräumen vergleichbar (wie auch die Nutzung und die Gestaltungsvielfalt) (Pfoser und Jenner 2014: 67).

Pflanzgefäße

Das große Potenzial der Begrünung mit Pflanzgefäßen liegt in der flexiblen Handhabung und Veränderbarkeit. Intensivbegrünungen sind so ohne flächigen Gründachaufbau oder zur Ergänzung extensiver Gründächer (Erhöhung der Biodiversität) möglich. Diese Lösung eignet sich neben dem gestalterischen Nutzen zusätzlich für Absperrungen, Einfassungen und den Sichtschutz von Bereichen. Über eine Leitbepflanzung und Begleitpflanzen kann eine jahreszeitlich abgestimmte Gestaltung erreicht werden. Es ist mit > 500 €/m² (abhängig von Gefäß- und Pflanzenwahl, exkl. Bewässerungssystem) zu rechnen. Die Kosten für Wartung und Pflege in Höhe von ca. 3,50–5 €/m²/a (zzgl. Bewässerung und Nährstoffversorgung) kommen hinzu (Pfoser/Jenner 2014: 68).

Untervarianten für Dachbegrünungen – Multifunktionsdächer

Multifunktionsdächer mit integrierter Dachbegrünung fördern eine konsequente Flächenbegrünung und -entsiegelung zur Maximierung der Verdunstungsleistung, um städtischer Überhitzung und Starkregenereignissen entgegen zu wirken. Eine maximale Nutzung des Hüllflächenpotenzials von Gebäuden sollte das Leitbild zukünftiger Planungen sein.

Solargründach

Um die Begrünungsfläche nicht unnötig einzuschränken, können Anlagen zur solaren Energiegewinnung aufgeständert in die Dachbegrünung integriert werden (Pfoser 2018: 28). Um verschattenden Pflanzenaufwuchs im Bereich von niedrigen Solaranlagen zu vermeiden, kann die zu erwartende Pflanzenhöhe vor energieaktiven Paneelevorderseiten durch eine reduzierte Substrathöhe (bis 7 cm) oder durch eine geringere Wasserhaltung in diesen Bereichen geregelt werden. Zur Bepflanzung eignen sich niedrigwachsende Arten ohne Blütenstände bzw. mit kurzen Blütenständen. Zur Unterstützung einer höheren Artenvielfalt am Standort kann die Substrathöhe unter und hinter den Paneelen höher aufgebaut werden (12 cm). Damit wird in der Regel auch der Pflanzenaufwuchs kräftiger (Brenneisen 2014). Die Kombination aus solarer Energiegewinnung und Dachbegrünung bietet bei der Flächennutzung diverse Vorteile. Diese liegen, je nach Art der Kombination, in der Leistungssteigerung der Module durch eine Senkung der Betriebstemperatur infolge der Verdunstungskühlung von Pflanzen, in der Sicherung der Module gegen Kippen durch Beschweren der Aufständering mit Substrat und Begrünung sowie in einer einfachen und schnellen Montage. Eine Kosteneinsparung bei Dacheindichtungsarbeiten durch die Vermeidung von Durchdringungen der Dachabdichtung und Punktlasten sowie der Schutz der Dachabdichtung vor UV-Belastung, Temperaturextremen und Witterungseinflüssen bilden die wesentlichen Vorteile der Begrünung für das Bauwerk (Pfoser 2019).

Biodiversitätsgründach

Biodiversitätsdächer sind Extensivbegrünungen mit Anhögelungen, Zonen einfacher Intensivbegrünungen mit einer Wildstauden-Gehölze-Vegetation und oder/und intensiv begrünten Bereichen. Unterschiedliche Substrathöhen mit einer hohen Pflanzendiversität, Wasserflächen, vegetationsfreie Bereiche, Totholz und Insektennisthilfen bieten zusätzlichen Arten Heimat. Auf dem Dach entstehen somit ungestörte Lebensräume mit geringem Konkurrenzdruck zur Biotopvernetzung und zur Förderung der Artenvielfalt am Standort. Ziel ist eine Erfüllung möglichst vollständiger Lebensraumansprüche durch die Einbindung von Bauwerken in Ökosysteme, die Bildung eines „Städtischen Grünflächenverbundsystems“ aus u. a. Parkanlagen, Fassadenbegrünungen, Baumalleen und Dachbegrünungen sowie stadtnahen Grünflächen.

Stimmen die baulichen und vegetationstechnischen Voraussetzungen, lässt sich der blühende, artenreiche Vegetationsaspekt mit wenig Pflegeaufwand erhalten. Je nach Vegetations- und Pflegeziel muss das Biodiversitätsgründach 2–4 Mal im Jahr begangen werden, Fremdbewuchs (vor allem unerwünschte Gehölze) entfernt, hohe Vegetationsbestände gemäht, Biodiversitätsbausteine (Steinhaufen, Sandlinsen, Wasserflächen) von überwucherndem Bewuchs und Verunreinigung befreit und die Entwässerungseinrichtungen kontrolliert und ggf. gesäubert werden. Das Mähen (Minimierung zu stark aufkommender Grasbestände und höherer Vegetation, die niedrigwüchsigeren Arten das Licht wegnimmt) darf erst nach der Blüte durchgeführt werden. Anfallendes Mähgut muss vom Dach entfernt werden. Gedüngt wird mit Fingerspitzengefühl, um die Artenvielfalt zu halten und zu fördern. Je nach Gründachaufbau kann bei langanhaltender Trockenheit eine zusätzliche Bewässerung (Frischwasser, Grauwasser, Regenwasser, Grundwasser) notwendig werden. Nisthilfen müssen kontrolliert, ggf. gesäubert bzw. ausgetauscht werden. Ein Biodiversitätsdach unterliegt der natürlichen Sukzession, es bilden sich mit der Zeit andere Vegetationsformen aus (BUGG 2020: 17). Die Erweiterung der Nahrungs- und Lebensraumangebote und damit die Vorbeugung des Artensterbens (z. B. Sicherung Nahrungskette/Bestäubung) stellen einen unbezahlbaren Wert dar.

Retentionsgründach

Wasser ist eine wichtige Ressource und im Klimasystem gleichzeitig ein wichtiger Energieträger. Das Ableiten von Regenwasser in die Kanalisation besitzt erhebliche Nachteile für das Klima. Daher gilt es, Wasserrückhalt, Verdunstung und Kondensation zu fördern (Berlin 2010). Retentionsdächer unterscheiden sich optisch nicht von Extensiv- oder Intensivdächern. Der Unterschied liegt lediglich in der Stärke und Zusammensetzung des Substrats sowie ggf. in der Art der Drainage. Eine erhöhte Speicherfunktion extensiver oder intensiver Dachbegrünungen wird zunächst über eine dickere Substratschicht erreicht. Größere Dränschichten, ggf. mit besonderen Vor-

richtungen zur Wasserstandsregulierung, verstärken die Rückhaltung wesentlich (Kaiser/Köhler 2019). Im Grundzustand wird Regenwasser für Trockenzeiten gespeichert und steht der Vegetation zur Verfügung. Vor starken Regenereignissen kann, je nach Bauweise, gespeichertes Wasser kontrolliert an die Kanalisation abgegeben werden, um dann wiederum Niederschläge aufnehmen zu können. Starkregenspitzen erfolgen so in der Regel ohne unnötigen Abfluss in die Kanalisation. Der erhöhten Wasserspeicherkapazität ist jedoch mit einer ausreichend statisch dimensionierten Primärkonstruktion Rechnung zu tragen. Neben der Möglichkeit der Kühlung von Gebäuden spielt die Regenwasserverdunstung eine unmittelbare Rolle zur Vermeidung von Hitzeinseln in Städten. Ein weiterer Vorteil liegt je nach Aufbau in der Einsparung von Trinkwasser zur Bewässerung der Pflanzen. Bei dieser Bauweise sind der Extensiv-/Intensivbegrünung die Kosten der Retentionsebene hinzuzurechnen.

Wassergründach

Die Artenvielfalt der Fauna wird durch Wasserflächen und Repositionspflanzen erhöht. Wassergründächer bieten aufgrund der offenen Wasserfläche einen andersartigen Lebensraum und bedeuten daher eine positive Erweiterung für die städtische Fauna. Die gewünschte Flächenwirkung entsteht kurzfristig, bei Vorkultur sofort. Der Nachweis positiver Wirkungen zeigt sich wie folgt vorteilhaft. Das Ziel dieser begrünten Dachbauweise ist die Regenwasserrückhaltung zu klimatischen, pflanzenspezifischen oder verfahrenstechnischen Zwecken. Auch die Reduktion der Regenwasserableitung insgesamt und besonders die Vermeidung ihrer Spitzenwerte bei Starkregen kann im Umfang des Retentionsvermögens verbessert werden. Über Wasserdächer wird Regenwasser direkt zurückgehalten. Gebäudebegrünung kann an dieser Stelle sichtbar zur Nutzung von Regenwasser beitragen. Bestenfalls dient es zur direkten Kühlung des Bauwerks bzw. indirekt über die Nutzung des Regenwassers für technischen Kühlzwecke. Die mit der Kühlenergie der Pflanzen erreichte Temperaturdifferenz beträgt 2,5–10 K je nach Dimensionierung (Dörries/Zens 2003). Wasserdächer können bei Gebäuden, bei denen ein hoher Bedarf an Klimatisierung von Räumen oder Energieeinsparung bei der Rückkühlung von Energiekreisläufen besteht, zum Einsatz kommen (Dörries/Zens 2003). Regenwasser ist für Kühlzwecke besonders geeignet, da es gegenüber dem Trinkwasser aus dem Versorgungsnetz einen geringeren Anteil gelöster Stoffe besitzt und eine Aufbereitung (entsalzen/enthärten) entfallen kann (Kaiser 2008). Bei Einsatz von Betriebswasser (technische, gewerbliche, hauswirtschaftliche Anwendung) wird dieses durch die Begrünung gereinigt, Schadstoffe werden gefiltert. Die Kosten für die Begrünung sind äußerst gering (Pflanzenkosten nach Pflanzenauswahl), ebenso die Wartung/Pflege (ca. 0,50 €/m²/a).

Gebäudeintegrierte Farmwirtschaft

Die Zukunftsfähigkeit von Städten ist u. a. abhängig von ihrer Energie- und Ressourceneffizienz. Ein sinnvoller Ansatz ist die in Wertsetzung ungenutzter Flächen. Anbauflächen unter freiem Himmel und Dachgewächshäuser können u. a. auf Flachdächern von Supermärkten, Kulturzentren, Schulen, Restaurants, Industrie- und Wohngebäuden errichtet werden. Deutschlands Städte bieten nach Einschätzung von Fraunhofer-Forschenden rund 360 Millionen Quadratmeter an Flachdächern von Nicht-Wohngebäuden, die für den Anbau von Pflanzen in Gewächshäusern genutzt werden können (UMSICHT 2011). Das entspricht in etwa einem Viertel der Größe Deutschlands Ackerflächen, die für den Gemüseanbau verwendet werden. Zusätzlich stehen vertikale Gebäudeflächen für die Nahrungsmittelproduktion zur Verfügung. Abhängig von der Art gebäudeintegrierter Farmwirtschaft (Anbau auf Dächern bzw. in Dachgewächshäusern, Nutzung von Fassaden) ist die Bereitstellung und der Transport von Materialien für Pflege und Wartung zu klären, ebenso der Abtransport von Erzeugnissen und nicht kompostierbarem Abfall. Details zur Wasserver- und Entsorgung sind festzulegen. Die Versorgung und Pflege der Anbauflächen sowie Produkte entspricht der in Klein-, Saisongärten und Gewächshäusern am Boden. Der saisonale Anbau von Produkten ist sinnvoll, um kostengünstig zu produzieren. Fruchtwechsel und Mischkulturen vermindern Anbauprobleme durch Nährstoffmangel, Parasiten und Krankheiten. Aussaat-, Anbau und Erntezeiträume sind zu berücksichtigen (ZALF 2012). Einzelne Produkte stellen unterschiedliche Ansprüche an den Aufbau. Bienen-/Hummelvölker sorgen für eine gute Bestäubung. Innerstädtischer Obst- und Gemüseanbau auf, an oder in Gebäuden ist durch kurze Versorgungswege, Wasser-, Energie- und Stoffkreisläufe energie- und ressourcenschonend und sorgt zudem für soziale Vielfalt sowie für Souveränität in der Nahrungsmittelproduktion. Multifunktionale, nachhaltige Infrastrukturentwicklung und urbane Resilienz sind wesentliche Zukunftsthemen (Al-Chalabi 2015/Pfoser 2020).

Wand- und Fassadenbegrünung - Lösungen für unversiegelte Bereiche, bodengebunden

Begrünungslösungen mit Boden-/Bodenwasseranschluss zeichnet in der Regel ein geringer Investitions- und Erhaltungsaufwand aus.

Selbstklimmer

Selbstklimmer haben den Vorteil, dass sie Fassadenflächen ohne die Hilfe von Rankgerüsten und daher kostengünstig bewachsen können. Sie bilden im Lauf der Jahre einen dichten Bewuchs (in der Altersform Sicherung gegen Abrutschen ggf. erforderlich) und stellen daher ein wichtiges Habitat und Trittsteinbiotop für Vögel und andere Tiere dar. Andererseits bedürfen Selbstklimmer aber auch einer kontinuierlichen Pflege (Rückschnitt), um bautechnisch sensible Bereiche nicht zu gefährden. Mit ihnen lassen sich vor allem flächig wirkende Begrünungseffekte erzielen. Die flächige Wirkung der Selbstklimmer wird durch die Auswahl immergrüner Pflanzen betont. Sie bilden sowohl im Sommer als auch im Winter eine homogene Fläche. Sie hat den höchsten Biotopwert aller Lösungen. Durch die Auswahl eines sommergrünen Selbstklimmers wird die flächig-monochrome Wirkung der Direktbegrünung gebrochen. Die begrünte Fassade erlebt durch unterschiedliche Färbungen und Laubfall einen jahreszeitlichen Wandel.

Die Begrünung mit Selbstklimmern ist eine Entscheidung auf Dauer (sichtbare Haftorgane und ggf. Verfärbung der Fassadenfläche nach Entfernung des Bewuchses). Die Pflanzen sind negativ phototrop (Einwuchs lichtfliehender Pflanzentriebe), daher ist ein riss-/fugenfrierer Untergrund und der Schutz bautechnisch sensibler Bereiche durch einen jährlichen Pflegeschnitt erforderlich. Wuchsbegrenzungen können ggf. durch korrosionsfreie Metallrandwinkel oder Rücksprünge in der Wand-/Fassadenfläche erreicht werden. Eine Wasserversorgung wird ggf. in der Anwuchsphase und in extremen Trockenphasen benötigt. Mit zunehmender Wuchshöhe sind Hubsteiger etc. unumgänglich. Kostengünstige Realisierungen sind durch eine einfache Zugänglichkeit (Bau, Wartung) möglich. Nach Baukostenindex ist eine Begrünung mit Selbstklimmern mit ca. 0,40 €/m² besonders preiswert. Die Kosten für die Wartung/Pflege belaufen sich auf ca. 15 €/m²/a (exkl. Bewässerung), zunehmend mit dem Höhenwachstum und der gewünschten Wirkung (Pfosser 2018: 71 ff.).

Gerüstkletterpflanzen

Hier wachsen Pflanzen an stabilen Aufleitungen auf Distanz zur Fassade. Das Gesamtgewicht wird dahinter punktweise über Tragkonsolen in die Primärkonstruktion eingeleitet. Unabhängig von der Art der Wuchsvorkonstruktion muss diese auf die Wuchskräfte und das Gesamtendgewicht (Konstruktion, Pflanze, Frucht, Schnee-, Eis- und Windlast) abgestimmt sein. Bautechnisch sensible Bereiche erfordern einen jährlichen Pflegeschnitt. Für niedrige Gebäude sind Kletterpflanzen mit entsprechend geringem Höhenwachstum zu wählen – andernfalls steigen die Pflegekosten, durch den häufiger notwendigen Rückschnitt. Die Bewässerung in der Anwuchsphase sowie in Trockenperioden muss gewährleistet sein. Anforderungen an die Pflanzgrube und mögliche Leitungsinfrastruktur sind zu berücksichtigen (Pfosser 2018: 45).

Die dauerhafte Begrünung mit Gerüstkletterpflanzen kann in den ersten Jahren durch temporäre, einjährige oder staudig wachsende Pflanzen unterstützt werden, bis die gewünschte Wirkung erreicht ist (Pfosser 2018: 93, 223 f.).

Vertikale Wuchshilfen betonen die Höhe des Gebäudes und lassen es bei punktueller Verteilung gleichzeitig leichter erscheinen. Zudem kann die Strenge der architektonischen Aussage durch vertikale Strukturen gesteigert werden. Es stehen immergrüne (permanent begrünt) und sommergrüne Pflanzen (jahreszeitliche Dynamik) zur Auswahl (Pfosser 2018: 74 ff., 218 f.).

Horizontale Rankhilfen betonen die Länge des Gebäudes, es wirkt niedriger und weniger monolithisch. Je nach Positionierung kann die Basis oder der obere Abschluss optisch hervorgehoben werden. Durch regelmäßigen Rückschnitt bleibt das horizontale Moment betont (Pfosser 2018: 74 ff., 220 f.).

Durch netz- oder gitterartige Kletterhilfen kann der Eindruck eines grünen Vorhangs erzeugt werden. Je filigraner die Ausführung, desto stärker die schwebende Wirkung der Grünfassade als separate Ebene. Diese Lösung vermittelt eine große Leichtigkeit, mit der sich das Gebäude vollständig umhüllt. Hier kann die Wirkung von selbstklimmenden Pflanzen ohne deren Nachteile erreicht werden (Pfosser 2018: 74 ff., 220 f. 222).

Der Begrünungsaufbau inklusive Rankstruktur kostet ca. 150 €/m² (exkl. Montage). Für die Pflege und Wartung (1–2 x pro Jahr) sind ca. 20–25 €/m² (exkl. Bewässerung), zunehmend mit Breiten- und Höhenwachstum, zu rechnen. Ggf. ist eine Baugenehmigung erforderlich (Pfosser 2018: 74 ff.).

Wand- und Fassadenbegrünung - Lösungen für versiegelte Bereiche, bodengebunden

Eine Begrünung der Fassaden im Bereich des Gehwegs ist sehr anspruchsvoll. Im Erdreich kann es zu Konflikten mit Kabeltrassen und Hausanschlüssen kommen, der Boden ist für eine Bepflanzung meist ungeeignet und

weder dürfen die Pflanzen zum Hindernis für Passanten werden, noch sollen die Pflanzen durch Fahrzeuge oder Fußgänger beschädigt werden. In den nachfolgenden Lösungen für versiegelte Bereiche wird daher auf diese Problematik eingegangen. Die Begrünung muss gestalterisch und funktional auf das zu begrünende Gebäude abgestimmt sein.

Wurzelraum im Boden mit Pflanzscheibe (ggf. mit Wurzelsperre zu angrenzenden Bauteilen/Infrastrukturen) oder Wurzelraum in Pflanzgefäßen

Eine Begrünung mit Selbstklimmern ist ggf. aufgrund von Platzverhältnissen vorzuziehen. Lösungen mit ausladenden Gerüstkletterpflanzen sind zuvor rechtlich zu klären. Sie stellen ggf. mit ihrer Rankhilfe einen Eingriff in den öffentlichen Raum dar (Fuß- und Radweg). Eine Genehmigung der Bauaufsicht ist einzuholen. Der Einsatz temporärer Begrünungseffekte ist möglich. Die Pflanzen sollten oberhalb des Wurzelhalses vor mechanischer Beschädigung durch Passanten, Kehrfahrzeuge etc. geschützt werden. Unterirdisch bestehen ggf. Konflikte mit Hausanschlüssen, der dann geringe Wurzelraum ist zu berücksichtigen. Kabeltrassen können mit einer Wurzelsperre vor Einwurzeln geschützt werden. Auf ein ausreichendes Volumen der Pflanzgrube muss geachtet werden, ebenso auf ein geeignetes Pflanzsubstrat. Die Bewässerung bei anhaltenden Trockenperioden muss insbesondere in den ersten Jahren gewährleistet sein. Wuchsbegrenzungen durch Metallrandwinkel oder durch Rücksprünge in der Wand/Fassade vereinfachen die Pflege. Je nach Pflanzenauswahl ist auf den Schutz bautechnisch sensibler Bereiche (Fensterläden, Balkongeländer, Lüftungsklappen etc.) zu achten. Zur Wartung/Pflege werden ggf. hohe Leitern, ein Steiger oder eine Hubbühne benötigt.

Alternativ zur Pflanzgrube mit Wurzelsperre können bodengleich eingesenkte Pflanzcontainer mit begehbaren Gitterrosten angewandt werden. Soweit es die Situation zulässt, können auch mobile oberirdische Wuchsbehälter verwendet werden. Bodengleich eingesenkte Pflanzcontainer benötigen für die Pflanzenwahl ein geeignetes strukturstabiles Substrat (im Lichten mindestens B 50/H 50/T 50 cm, besser breiter als hoch, z. B. B 90/H 60/T 50 cm), sowie ggf. eine Wasser-versorgung/Wasseranstauebene. Ein übermäßiger Wassereintrag (z. B. durch Starkregen/ Niederschlagwasser) ist zu vermeiden (Wurzelfäule, Absterben der Pflanze). Eine ausreichend dimensionierte Entwässerung/Drainage leistet Abhilfe. Gleiches gilt für mobile oberirdische Wuchsbehälter.

Nischen oder Rücksprünge sind genehmigungstechnisch einfacher zu realisieren. Bei der Ausführung kann es jedoch zu Mehrkosten gegenüber einer nicht unterbrochenen Fassade kommen. Für die Aufnahme des Wurzelbereichs in baulichen Nischen/Rücksprüngen gelten für den Schutz der Kabeltrassen die beschriebenen Lösungen analog. Die Pflanzgrube kann auch hier mit einer Pflanzscheibe als auch mit einer Wurzelsperre gesichert werden. Durch die Nische haben die Pflanzen mehr Wurzelraum, was Anwuchsprobleme entschärft. Der Schutz vor mechanischer/chemischer Beschädigung bleibt erforderlich, ebenso der Schutz bautechnisch sensibler Bereiche und die nötige Infrastruktur für Wartung und Pflege.

Wand- und Fassadenbegrünung - Lösungen für versiegelte Bereiche, wandgebunden

Wandgebundene Bauweisen bieten Lösungen für eine teil- oder ganzflächig homogene Fassadenbegrünung, wo ein Boden- bzw. Bodenwasseranschluss nicht verfügbar ist. Bei wandgebundenen Begrünungen sind die Pflanzen von einer technischen Versorgung von Wasser und Düngung abhängig, Überprüfungsintervalle sind einzuhalten. Die Planung spielt eine wichtige Rolle. Zwei Pflegegänge im Jahr sind ausreichend, wenn die Pflanzen im Konkurrenzverhalten verträglich sind. Die Pflege sollte nur von qualifiziertem Personal ausgeführt werden.

Horizontale Pflanzgefäße (Einzel-/Linearbehälter)

Diese Lösung ist vielfältig anwendbar, vor Wandflächen ebenso wie vor Verglasungen oder als Freiraumabschluss für eine erhöhte Privatheit von z. B. Loggien oder Dachterrassen. Wesentlicher Teil der Gestaltung sind die Form- und Materialwahl der ggf. stark in Erscheinung tretenden substrathaltenden Gefäße. Die Primärkonstruktion (Gebäudefassade) muss auf das Gesamtgewicht des Begrünungsaufbaus abgestimmt sein. Das gilt ebenso für erforderliche Kragkonsolen oder Geschossumgänge zur Aufnahme von Pflanzenbehältern. Alternativ kann eine Vorkonstruktionsebene zur Aufnahme der Pflanzenbehälter selbsttragend auf eigenen Fundamenten angeordnet werden. Eine dauerhafte Pflege- und Wartungszugänglichkeit, Wasser-, Nährstoffversorgung, Entwässerung sowie ein Stromanschluss sind erforderlich. Eine Übernässung ist zu vermeiden, Überschusswasser (z. B. Regen) ist durch Überläufe abzuführen. Je nach Installationshöhe sind Hubsteiger etc. erforderlich. Langfristig kostengünstige Lösungen werden durch eine einfache Zugänglichkeit für die Wartung erreicht (z. B. Wartungsgang). Je nach Materialwahl liegen die Kosten des Begrünungsaufbaus zwischen ca. 230–1.000 €/m², zzgl.

Bewässerungssystem). Die Kosten für Pflege und Wartung dieser Lösung liegen bei einer guten Erreichbarkeit (z. B. über Laubgänge) bei ca. 10 €/m²/a (exkl. Bewässerung) (Pfoser 2018: 74 ff., 78 ff.).

Pflanzen in modularen, vertikal ausgerichteten Einheiten

Die Kennzeichen modularer Begrünungssysteme sind die Gliederung der Sichte Ebene in ein Flächenraster, die Anpassungsfähigkeit an Maßvorgaben der Fassadengeometrie sowie eine umfangreiche mögliche Pflanzenauswahl. Neben den Vorteilen der Sofortwirkung (mögliche Vorkultivierung) und der leichten Änderbarkeit können Oberflächentextur, Aufbaustärke, Farbgebung und Blühaspekte frei gestaltet werden. Bündige Oberflächen Pflanze/Verglasung/Bekleidung erzeugen einen anspruchsvollen und rechtssicheren (Grenzeinhaltung) Architekturbeitrag. Die Substratdicke der Module bestimmt das Wurzelvolumen, die Wasseraufnahme und die Pflanzenentwicklung. Einer möglichen Austrocknung in Rand- und Sonnenbereichen ist schon in der Planung entgegenzuwirken. Die Montage sowie die Montagegeschwindigkeit entsprechen einer üblichen vorgehängten, hinterlüfteten Wandbekleidung. Bezüglich Konstruktion, Substrat-, Vegetationstechnik und zuverlässiger Wasser- und Nährstoffversorgung sollten keine Kompromisse gemacht werden. Richtlinien sind einzuhalten. Auch bei dieser Lösung ist eine dauerhafte Pflege- und Wartungszugänglichkeit, Wasser- und Nährstoffversorgung erforderlich. Eine Übermässung ist zu vermeiden, zusätzliche Niederschläge sind zu beachten, eine geeignete Entwässerung ist vorzusehen. Stromanschlüsse sichern die kontinuierliche Funktion von Pumpen sowie die Möglichkeit für Pflege und Wartung. Je nach Installationshöhe sind Leitern/Hubsteiger etc. erforderlich. Die Kosten für einen Begrünungsaufbau dieser Lösung liegen zwischen ca. 370–1.100 €/m² (abhängig von der Bauweise, der Gesamtgröße und Erreichbarkeit, zzgl. Bewässerungssystem). Der Kostenrichtwert für die Wartung und Pflege pro Jahr beträgt ca. 10 % der Herstellungskosten, exkl. Bewässerung (Pfoser 2018: 81 ff.).

Pflanzen in flächigen Begrünungsträgern

Flächenausschnitte können wie bei Modulbauweisen auf die Fenster bzw. die Verglasung der Gebäudeaußenwand reagieren. Auch bei Textil- und Textil-Substratsystemen bestimmt die Pflanzenlage das spätere Begrünungsbild. Sie erfolgt in der Regel nach dem Entwurf des Pflanzplans, der die Pflanzenmischung nach den Kriterien „geeignete Geselligkeit“, „Ausmaß der Wuchsdynamik“, „Färbungen“ und „unterschiedlicher Licht-, Wasser- bzw. Nährstoffbedarf“ berücksichtigt. Die gewünschte Flächenwirkung tritt etwa nach zwei bis drei Monaten ein. Die Pflanzenwahlkriterien entsprechen der modularen Technik. Allein das geringere Wurzelvolumen reduziert das Wasserspeichervermögen und schließt besonders kälteempfindliche Pflanzen aus. Mit Moosen und Flechten lassen sich monochrome, sehr ebenflächige Wandbegrünungen erreichen. Infolge der ausdauernden Lebensstrategie können diese farbverändernd auch längere Trockenphasen überstehen. Diese Begrünungsform überzeugt, wie auch die anderen wandgebundenen Lösungen durch die mögliche variable Bepflanzung, die Bodenfreiheit, die zusätzliche Kühlwirkung durch künstliche Bewässerung sowie eine erhöhte (temperaturabhängige) Verdunstungsleistung. Während die Hauptverteilung der Wasser- und Nährstoffversorgung im Bereich der tragenden Sekundärkonstruktion liegt, sind die dünneren Tropfschläuche in der Regel direkt hinter dem Vlies verlegt. Eine dauerhafte Pflege- und Wartungszugänglichkeit, Wasser- und Nährstoffversorgung ist unerlässlich. Diese Form der Begrünung lässt nur kurzfristige Bewässerungsausfälle zu, sodass die Möglichkeit eines Fernmonitorings ratsam ist. Die kontinuierliche Funktion von Pumpen muss gewährleistet sein, um die Wasser- und Nährstoffversorgung sicherzustellen. Die Pflege und Wartungszugänglichkeit sind dauerhaft zu ermöglichen. Auch bei dieser Begrünungsform sind abhängig von der Installationshöhe ggf. Leitern/Hubsteiger etc. erforderlich. Die Kosten des Begrünungsaufbaus liegen zwischen ca. 400–1.200 €/m² (abhängig von Bauweise, Gesamtgröße und Erreichbarkeit, exkl. Bewässerungssystem). Für die Wartung/Pflege pro m² und Jahr sind ca. 40 € (höhenabhängig, zzgl. Kosten für Bewässerung und Nährstoffversorgung) anzusetzen (Pfoser 2018: 86 ff.).

Leistungsfaktoren der Gebäudebegrünung

Die abschließenden Grafiken fassen die Leistungsfaktoren der Gebäudebegrünung zusammen und verweisen jeweils auf weiterführende Literatur. Sie zeigen Potenziale hinsichtlich der Optimierung von Einzelgebäuden sowie der möglichen Umfeldverbesserung im Zusammenhang. Sie gliedern die Ergebnisse in den Bedarf über den Jahresverlauf, unterschieden in Maßnahmen, Wirkung und Einsparpotenziale durch Dach- und Fassadenbegrünungen. (Pfoser 2018: 122, S. 143; BUE 2018: 7, 9)

BEDARF	°C Temperatur	☀️ Licht	🌀 Lüftung	⚡ Elektrische Energie	💧 Wasser	♻️ Material/ Ökobilanz	
MASSNAHME	 Adiabate Kühlung	 Wärmehaltung/ Pufferwirkung	 Außen liegender Sonnenschutz	 Vorkonditionierung natürliche/kontrollierte Lüftung	 Umweltenergie	 Grauwassernutzung/ -reinigung	 CO ₂ -Bilanz
WIRKUNG GEBÄUDE- BEGRÜNUNG	+ Vermeidung Aufheizung Gebäudeoberflächen/ Innenraum/Absorber durch Verschattung/ Verdunstungsleistung der Pflanzen	+ Reduktion Wärme- verluste der Gebäudehülle + geringere Windbelastung + geringere Feuchte	+ Blendschutz durch Verschattung + Funktionsübernahme technischer Systeme + Pflanzenabhängig transluzent	+ Luftreinigung + Luftbefeuchtung + Kühlung der Zuluft im Sommer + ggf. Pufferwirkung der Zuluft im Winter	+ Wirkungsgrad- steigerung technischer Systeme + Unterstützung aktiver und passiver Energie- gewinnung	+ Trinkwassersparnis + Kühlwirkung + Schadstoff-Filterung + Gestaltungselement	+ Kohlenstoff - Speicherung + O ₂ -Produktion + Energiebedarfsreduktion + Filterung von Feinstäuben + Bauteilschutz/Verlänge- rung der Lebensdauer
EINSPARUNG/ ZUGEGWINN	Einsparung Kühlkosten	Reduktion Wärmedurchgang	Reduktion Primär- energie, Einsparung Wartungskosten technischer Systeme	Unterstützung/ Entfall Klimageräte	Leistungssteigerung Photovoltaik, Einsparung Kühlenergie, Biomassegewinnung	Einsparung systemabhängig	Einsparung Fassaden-/ Dachmaterialien, Lebens- dauerverlängerung

Gebäudeoptimierung und Umfeldverbesserung. Wirkungen sowie Einsparungen durch Gebäudebegrünung (© Nicole Pfoser)

Leistungsfaktoren Gebäudeoptimierung

Materialschutz/Materialökonomie

Schadstoffe/ Verschmutzungen	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der Fassade gegen Schadstoffe und Verschmutzung (Köhler 1993, Thönnessen 2002) • Oberflächenschutz vor thermischen Spannungen infolge teilflächiger Staubablagerung sowie vor chemischen Beanspruchungen (BSU 2013; Pfoser/Jenner 2014)
Witterungseinflüsse	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz von Dach- und Wandkonstruktionen vor Temperaturextremen sowie Sturm- und Hagelschäden (Suda/Rudolf-Miklau 2012)
Lebensdauer- verlängerung	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenvorteile durch Materialökonomie, Materialschutz (UV, Δt), Verlängerung der Lebensdauer, Reduktion Energiebedarf (Köhler & Nistor 2015) • Neben der Abminderung von solarstrahlungs- und materialbedingten Temperaturschwankungen wird die durch UV-Strahlung bedingte Materialalterung reduziert. Von einer Materiallebensdauererlängerung um 10–20 Jahre kann ausgegangen werden (DDV 2013; Hämmerle 2010)

Reduktion Energiebedarf/Leistungssteigerung

Kühlleistung	<ul style="list-style-type: none"> • 85–95 % Verschattung durch Gerüstkletterpflanzen (Fischer 2002). • Kühlung durch Evapotranspiration und Verschattung bei Begrünung um ca. 30 °C (DeNardo et al. 2005; Scharf/Pitha/Trimmel 2012), Effektverstärkung durch Bewässerung. • Reduzierte sommerliche Aufheizung infolge Dachbegrünung (Temperaturamplitude Bitumendach: 50 °C/begrüntes Dach: 10 °C) (Berlin 2010). Verringerung des Wärmeeintrags unter extensiver Dachbegrünung (10–15 cm Substrataufbau) von 30–60 % gegenüber einem Kiesdach (Köhler/Malorny 2009). • In den Sommermonaten Umwandlung von 58 % der Strahlungsbilanz in Verdunstungskälte durch extensive Dachbegrünung (vgl. 5 % unbegrüntes Dach) (Schmidt 2003: 481–487; Berlin 2010: 16) • Leistungssteigerung von Photovoltaik-Aufdachanlagen um 4–5 % durch Modulkühlung (PV/Dachbegrünung vs. PV/Bitumendach (Wöfl 2011)). • Einsparung von Energiekosten durch Prozesskühlung (Wasserdach) (Pfoser/Jenner 2014: 130–131)
Wärmehaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Dämmwirkung eines Dachaufbaus im Winter von 3–10 % durch 10–15 cm extensive Dachbegrünung (Vergleich bekiester Dachaufbau) (Köhler/Malorny 2009; Scharf/Pitha/Trimmel 2012). Dämmwirkung abhängig von Bewuchsdicke und -dichte, Substratschicht, Durchfeuchtung (Scharf/Pitha/Trimmel 2012) und vorhandenem Dämmstandard (Köhler 2012). • Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand (R) von 0,14 bis 0,40 m²K/W (Substrathöhe 10 cm, wassergesättigt). Entsprechung: ca. 6–16 mm einer konventionellen Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) 040. (Köhler/Malorny 2009) • Hoher puffernder Einfluss: Messungen des Wärmedurchgangs (W/m²) von extensiven/intensiven Gründächern im Vergleich zu bekiesten bzw. mit Bitumen oder mit Blechpaneelen gedeckten Dächern (Scharf/Pitha/Trimmel 2012)

Wertsteigerung

Nutzflächen- erweiterung	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Grünflächen für private, gemeinschaftliche oder öffentliche Aktivitäten: z. B. Erholung, Spiel und Bewegung, Anbau von Obst und Gemüse • Steigerung des Immobilienwertes durch erhöhte Umgebungsqualität/Zugewinn an mietaktiver Fläche (BUE 2017: 18)
Lärminderung	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion des Lärmdurchgangs von 5–46 dB(A) durch Schallabsorption und Schalldiffusion der Begrünung, abhängig von Frequenz (Hz), Substratfeuchte, Schichtenhöhe, Begrünungsaufbau, Belaubungszustand, Dachneigung und Lage (Conelly/Hodgson 2008; Lagström 2004; Mann 2000; Pfoser/Jenner 2014; Van Renterghem/Botteldooren 2008; Weber 2011)
Akzeptanz/Nachfrage	<ul style="list-style-type: none"> • Hohes Nachfrageinteresse aufgrund Umgebungsqualität/Freiraumangebot trotz städtischer Dichte (BUE 2017: 18)
Corporate Identity	<ul style="list-style-type: none"> • Alleinstellungsmerkmal, Identifikations-/Vertrauensbildung durch Naturelement, Aufwertung der Adresse, Medienwirksamkeit/Fernwirkung

Abbildung 2: Gebäudeoptimierung und Umfeldverbesserung. Wirkungen sowie Einsparungen durch Gebäudebegrünung (Nicole Pfoser)

BEDARF	Wasser	Vermeidung von Überhitzung	Reduktion der Luftbelastung	Akzeptanz	Minderung der Lärmbelastung	Biodiversität	
MASSNAHME	 Regenwasser-Rückhalt	 Regenwasser- verdunstung	 Adiabate Kühlung und Verschattung	 Photosynthese und Feinstaubbindung	 Aufwertung von Gebäuden und Freiraum	 Schallreflektion und -absorption	 Erweiterung Lebensraum für Flora und Fauna
WIRKUNG GEBÄUDE- BEGRÜNNUNG	+ Wasserrückhalt durch Minderung des Abflussbeiwerts + Verhinderung hoher Belastung der Kanalisation	+ Reduktion versiegelter Flächen + Erhöhung der Verdunstungsrate + Umgebungskühlung	+ Kühlung durch Verdunstung und Verschattung + Minderung städtischer Wärmeinseln	+ Kohlenstoffspeicherung + Sauerstoffproduktion + Feinstaubbindung und Verstoffwechslung von Luftschadstoffen + Oberflächenschutz	+ Verbesserung der Aufenthaltsqualität + Steigerung der Akzeptanz + Corporate Identity + Fernwirkung	+ Lärminderung durch Reflexions- und Absorptionsleistung + Reduktion Transmission Gebäude	+ trägt zur lokalen Artenvielfalt bei + Erweiterung Nahrungs- und Lebensraum
EINSPARUNG/ ZUGEWINN	reduzierte Niederschlag- wassergebühr	Reduktion Starkregen- ereignisse / Sturm und Hagelschäden, Kanalanlastung	Schutz Material/ Klima/Gesundheit	Schutz Material/ Gesundheit	Attraktivität	Gesundheit, Sicherheit, Aufenthalts- und Kommunikationsqualität	Artenschutz

Leistungsfaktoren Umfeldverbesserung

Städtebauliche und freiraumplanerische Gründe

Aufwertung von Gebäuden und Freiraum	• Verbesserung des Wohnumfelds (Aufwertung der Adresse, Attraktion, Corporate Identity, psychologische/medizinische/soziale Vorteile) (vgl. Schlößer 2003; Volm 2002)
Gestaltungsvielfalt	• Visuelle und raumbildende Möglichkeiten der Anwendung (Pfoser/Jenner 2014) • Vielfalt an Begrünungsformen, breite Pflanzenauswahl mit unterschiedlichen Flächenbildern, Laub-, Blüten-, ggf. Fruchtfarben, Belaubungs- und Blühphasen (Pfoser/Jenner 2014)
Aufenthaltsqualität	• Gestaltungsvielfalt/Naturelement im Stadtraum, Minderung städtischer Aufheizung/Kühlwirkung, Sicht- und Windschutz, Lärmreduktion, Verbesserung der Luftqualität (Pfoser/Jenner 2014)
Lärminderung	• Minderung des Umgebungslärms von bis zu 6 dB(A) durch Schallabsorption und Schalldiffusion, abhängig von Frequenz (Hz), Verkehrsgeschwindigkeit, Begrünungsaufbau, Belaubungszustand, Substratfeuchte, Schichtenhöhe, Dachneigung und Lage (Cornelli/Hodgson 2008; Langström 2004; Mann 2000; Van Renterghem/Botteldooren 2008; Weber 2011)

Wasserwirtschaftliche Aspekte

Regenwasserrückhalt	• Wasserrückhaltekapazität bis 99% (abhängig von Substratzusammensetzung und Substratdicke/Anstauhöhe) (Pfoser/Jenner 2014: 152). Entsprechende Entlastung des städtischen Kanalsystems. • Reduktion von Abflussspitzen: Abflussbeiwert (C_s) gem. DIN 1986-100 (Ausgabe 12/2016): Intensivbegrünung = 0,1 Aufbau > 50 cm; 0,2 > 25 cm; 0,3 > 15 cm / Extensivbegrünung = 0,4 Aufbau > 10 cm; 0,5 < 10 cm (zum Vergleich Kiesschüttung = 0,8 / Abdichtungsbahnen = 1,0)
Regulierung städtischer Niederschläge	• Reduktion von Wetterextremen (Starkregenereignisse und Trockenperioden) durch lokalen Regenrückhalt und Verdunstungsleistung (Pfoser/Jenner 2014: 151–153; Schmidt 2003)

Beitrag zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung

Umgebungskühlung	• Reduktion der örtlichen Lufttemperatur im Vergleich zu unbegrüntem Dachern bis zu 17 °C (extensiv) und 18,5 °C (intensiv) und der lokalen Lufttemperatur um 1,7 °C (Pfoser/Jenner 2014: 178–179) abhängig von Gebäudehöhe, Vorfeuchte und meteorologischen Rahmenbedingungen • Kühlung durch Verdunstung und Verschattung (Beeinflussung des Mikroklimas): 20–40% Transpiration, 40–80% Reflexion sowie Absorption der Sonneneinstrahlung (Pfoser/Jenner 2014: 112)
Verdunstungsleistung	• Verdunstung von 200 l/m ² in einer Vegetationsperiode (Pflanzgefäße als Dachgartenbegrünung) (Bambach 2012) Verdunstung von 62–67% des Jahresniederschlags (Harlaß 2008).
Reduktion der Luftbelastung	• Kohlenstoffspeicherung, Sauerstoffproduktion, Feinstaubbindung und Verstoffwechslung von Luftschadstoffen • Verbesserung der Luftqualität innerhalb einer Straßenschlucht (PM ₁₀ -Konzentration/NO ₂ -Konzentration) (Pugh et al. 2012) • Ein Gründach gilt als CO ₂ -Senke (83 g C m ⁻² Jahr ⁻¹) (Heusinger/Weber 2017) • Stäube und Feinstäube „verklumpen“ auf den Blättern zu „nicht lungengängigen“ Partikeln. Diese werden dann im weiteren Jahresverlauf beim Blattfall mit dem Laub abgeführt (Ottelé 2011; Suda/Rudolf-Miklau 2012) • Moose nehmen pro Jahr ca. 2,2 kg/m ² CO ₂ auf (das entspricht der CO ₂ -Effizienz von Intensiv-Grünland) (Frahm 2008)

Naturschutzfachliche Aspekte

Eingriffsminimierung	• Dach- und Fassadenbegrünungen als Kompensation angesichts städtischer Bodenversiegelung
„Trittsteine“/Biotopverbund	• Verknüpfung eines erweiterten und verbesserten städtischen Nahrungs- und Lebensraumangebots für Tiere mit den stadtnahen Naturflächen (Brenneisen 2003; Köhler 1993; Zimmermann 1987)
Artenvielfalt	• Abhängig von unterschiedlichem Deckungsgrad und Abwechslungsreichtum der Vegetation sowie resultierender Individualzahl und -dichte der Fauna, Begrünungsform, Lage/städtische Situation, Flächengröße, Rückzugsfläche (Boden-, Wasser-, Wind-, Temperatur-, Nährstoffverhältnisse) und Alter des Lebensraums (Reifezeit) (Mann 1996; Zimmermann 1987)

Fortsetzung Abbildung 2

2.3 Ökobilanz

Das folgende Kapitel nimmt eine näherungsweise Betrachtung der Umweltwirkungen von Dachbegrünungen vor. Hierzu werden extensiv und intensiv begrünte Flachdächer in mehrschichtiger Bauweise mittels Ökobilanzierung abgebildet und ausgewertet.

In einem ersten Schritt wurden in der Praxis verwendete Baustoffe identifiziert, bei fehlender Datengrundlage Alternativen ausgewählt und die Systemgrenzen definiert. Um die ökologische Wirkung der Dachbegrünung zu quantifizieren und die Ergebnisse einzuordnen, werden die bilanzierten Gründächer einem Kiesdach mit Bitumendachbahn und Kiesschüttung als Referenzbauweise gegenübergestellt.

In dieser Arbeit werden die höheren Materialaufwendungen der Gründächer aufgeführt und dem gegenüber einer CO₂-Reduktion durch Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse gutgeschrieben. Hierzu wurden Messwerte ausgewählter Studien und Versuchsreihen herangezogen. Berücksichtigt wird die oberirdische Phytomasse der Vegetation der Extensiv- und Intensivbegrünungen, wobei Wachstum und Verrottung derer als konstant angenommen wird. Es gilt anzumerken, dass sowohl das Wurzelwerk als auch das Substrat Kohlenstoffdioxid speichern, dies jedoch vereinfacht auf Grund der geringen Anzahl empirischer Quantifizierungen sowie der Methodik vergleichbarer Arbeiten in dieser Ökobilanzierung nicht berücksichtigt wird.

Anschließend werden Energieeinsparungen durch geringere Wärmeverluste der Substratschüttungen quantifiziert und den Gründächern gutgeschrieben. Die Dachbegrünungen sind nicht für den Wärmeschutznachweis nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) anrechenbar, haben jedoch durch ein geringeres Temperaturgefälle und einen geringeren Wärmedurchlasswiderstand faktisch eine dämmende Wirkung. Hierbei wurde sich auf Messreihen der Hochschule Neubrandenburg bezogen, welche belegen, dass eine Substratstärke von 10 cm eines extensiven Gründaches einer konventionellen Dämmung nach (WLG 040) von 1 cm Stärke gleichzusetzen ist (Köhler und Malorny 2009).

Kombinationen ausgewählter Baustoffe werden schlussendlich mittels einer Systemvarianz variiert, um zum einen Aussagen über eine Vielzahl potenzieller extensiver und intensiver Dachbegrünungen treffen zu können und zum anderen, um den Einfluss einzelner Baustoffe auf das Treibhausgaspotenzial der Dachbauweisen zu identifizieren.

Für die Bilanzierungen wird das Ökobilanzierungstool eLCA, basierend auf den ÖKOBAUDAT-Datensätzen des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Referat WB 6 Bauen und Umwelt mit freundlicher Genehmigung verwendet.

Dachbauweisen

Extensive Dachbegrünung

Aufbau	Beschreibung
Vegetation ①	Stauden, (u.a. Sedum, Gräser, Kräuter), Kleingehölze, Moose
Substrat Schüttung (100 mm) ②	Extensiv Mehrschichtsubstrat Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims,
Filtervlies (1,1 mm) ③	Filtervlies PP (Polypropylen)
Dränage Schüttung (50 mm) ④ Drän- und Wasserspeicherelement (25 mm)	Dränage Schüttung: Blähschiefer, Blähton, Splitt, Lava. Drän- und Wasserspeicherelement: HDPE-Recycling-Regenerat
Schutzlage (6 mm) ⑤	PP/PES/Acryl-Recyclingfasern
Dachabdichtungsbahn (4.5 mm) ⑥	EPDM (EVALASTIC), EVA (EVALON), Bitumenabdichtungsbahn
Geeignete Dachunterkonstruktion ⑦	<i>Außerhalb der Systemgrenzen</i>

Intensive Dachbegrünung

Aufbau	Beschreibung
Vegetation ①	Stauden (u.a. auch Gräser, Farne, bedingt Zwiebel- und Knollengewächse), Gehölze (bedingt Bäume), Moose
Substratschüttung ② (> 150 mm)	Intensiv Mehrschichtsubstrat aus mineralischen Hauptbestandteilen: Blähschiefer, -ton, Splitt, Bimssand, Waschbims, Lava, Naturbims
Filtervlies (1,2 mm) ③	Filtervlies PP (Polypropylen)
Dränage Schüttung (120 mm) ④ Drän- und Wasserspeicherelement (60 mm)	Dränage Schüttung: Blähschiefer, Blähton, Splitt, Lava. Drän- und Wasserspeicherelement: HDPE-Recycling-Regenerat
Schutzlage (6 mm) ⑤	PE/PP Vlies, Folie für Gründach
Dachabdichtungsbahn (4.5 mm) ⑥	EPDM (EVALASTIC), EVA (EVALON), Bitumenabdichtungsbahn
Geeignete Dachunterkonstruktion ⑦	<i>Außerhalb der Systemgrenzen</i>

Kiesdach

Aufbau	Beschreibung
Kiesschüttung (100 mm) ①	Kiesschüttung 2/32
Dachabdichtungsbahn (4.5 mm) ②	EPDM (EVALASTIC), EVA (EVALON), Bitumenabdichtungsbahn
Geeignete Dachunterkonstruktion ③	<i>Außerhalb der Systemgrenzen</i>

Definitionen

Definition Ökobilanz

Die Ökobilanz (engl.: Life Cycle Assessment – LCA) ist eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen über den gesamten Lebenszyklus („von der Wiege bis zur Bahre“).

Dabei werden alle Umweltauswirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung eines Produkts sowie die damit verbundenen vor- und nachgelagerten Stoffströme von Prozessen, wie die Herstellung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, untersucht (Stoffstromintegrierte Betrachtung). Des Weiteren werden relevante potenzielle Umweltwirkungen auf die Umweltmedien Boden, Luft und Wasser berücksichtigt (Medienübergreifende Betrachtung). Grundsätze und Regeln zur Durchführung von Ökobilanzen sind in DIN EN ISO 14040/44 standardisiert und umfassen folgende vier Elemente:

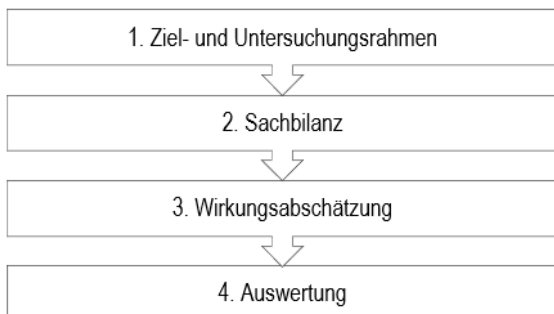


Abbildung 3: Aufbau Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040

Definition Treibhausgaspotenzial

Das Treibhausgaspotenzial (engl.: Global Warming Potential – GWP) ist eine Maßzahl für den relativen Beitrag einer chemischen Verbindung zum Treibhauseffekt, also der mittleren Erwärmung der Erdatmosphäre über einen

Zeitraum von 100 Jahren. Die Wirkung verschiedener Treibhausgase werden in dieser Wirkungskategorie zusammengefasst, in Kohlenstoffdioxid (CO_2) umgerechnet und in einer CO_2 -Äquivalenten ausgedrückt.

So trägt beispielsweise Methan (CH_4) zum Treibhausgaspotenzial über den betrachteten Zeitraum mit dem Faktor 28 und Lachgas (N_2O) mit dem Faktor 265 bei.

Zusammenfassung der Ergebnisse

In Abbildung 4 wird das Treibhausgaspotenzial der ausgewählten Dachbauweisen vorerst ohne und anschließend mit Gutschriften von CO_2 -Speicherung und Energieeinsparungen dargestellt.

Auf Grund der geringeren Materialaufwendungen erzielt das Kiesdach vorerst ein geringeres Treibhausgaspotenzial ($0,45 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$) gegenüber den Gründächern mit Extensivbegrünung ($2,19 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$) und Intensivbegrünung ($3,34 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$).

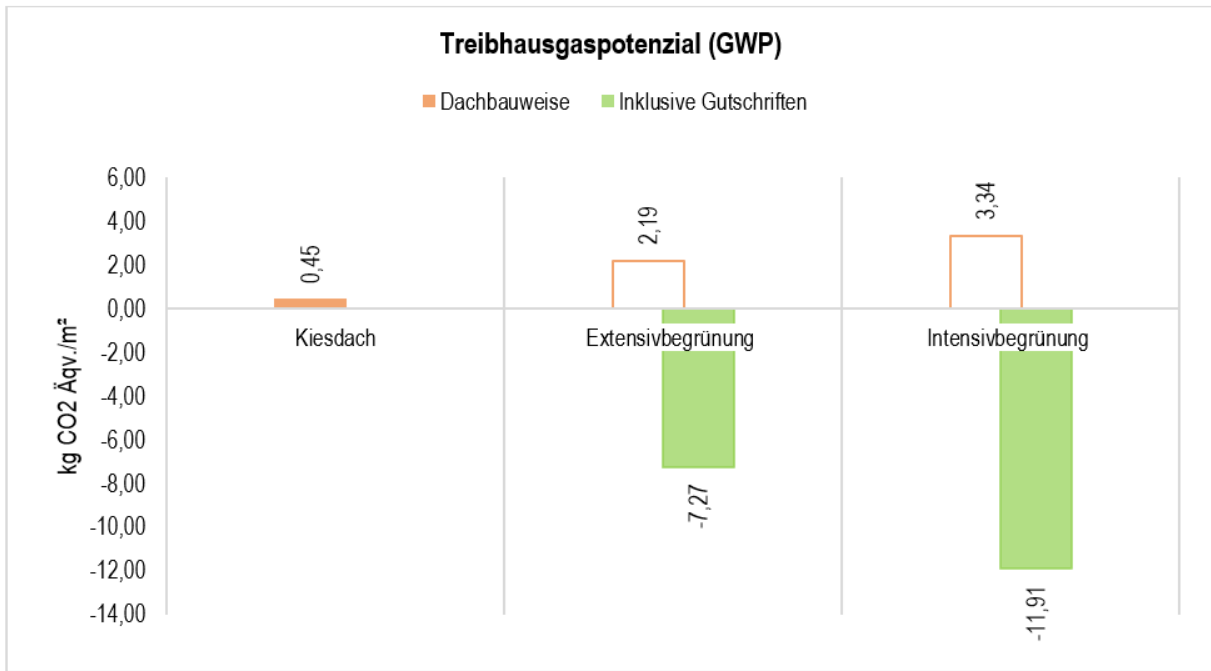
Wird nun die CO_2 -Speicherung der Vegetation sowie die Energieeinsparungen der Gründächer gegenüber dem Kiesdach berücksichtigt, so verringert sich das Treibhausgaspotenzial der Intensivbegrünung ($-11,91 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$) und Extensivbegrünung ($-7,27 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$) drastisch.

Bezogen auf das Treibhausgaspotenzial ist die CO_2 -Speicherung der Vegetation verglichen zu den Energieeinsparungen für Heiz- und Kühlenergie von geringerer Bedeutung und erzielt je nach Vegetationsform und bilanzierter Dachbauweise ca. 10-15 % der Reduktion des GWP.

Systemvarianz

In Abbildung 5 werden die identifizierten Baustoffe der ausgewählten Dachbauweisen variiert, um den Bilanzierungsumfang und somit die Aussagekräftigkeit der Ökobilanz zu erhöhen, sowie den Einfluss einzelner Baustoffe zu identifizieren. Insgesamt wurden so 560 extensive Dachbegrünungen bilanziert mit Treibhausgaspotenzial von $0,63$ bis $7,15$ (Median: $2,19$) $\text{kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$. Ebenfalls wurden 560 intensive Dachbegrünungen bilanziert mit Treibhausgaspotenzial von $0,67$ bis $13,45$ (Median: $3,34$) $\text{kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$. Quelle der Datensätze ist die BBSR-Online-Publikation Nr. 03/2017 „ CO_2 -neutral in Stadt und Quartier – die europäische und internationale Perspektive“ (BBSR 2017:68). Das Kiesdach wurde insgesamt mit vier Variationen bilanziert mit Treibhausgaspotenzial von $0,18$ bis $1,18$ (Median: $0,45$) $\text{kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$. Der geringere Bilanzierungsumfang liegt in den gewählten Systemgrenzen begründet.

Die Abbildung 5 veranschaulicht deutlich den Einfluss verschiedener Baustoffe auf das Treibhausgaspotenzial der Produktsysteme. So sind beispielsweise die Ausreißerpunkte für die Extensivbegrünung ($4,74$ bis $7,15 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$) und Intensivbegrünung ($10,53$ bis $13,45 \text{ kg CO}_2 \text{ Äqv./m}^2$) auf das Drän- und Wasserspeicherelement anstelle der Dränageschüttung zurückzuführen.



- Systemgrenze: Dachabdichtung bzw. Wurzelschutzbahn bis inklusive Substratschüttung. Dachunterkonstruktion mit Voranstrich und Vegetation außerhalb der Systemgrenzen
- Bilanzierungszeitraum: 40 Jahre
- Lebensdauer Baustoffe: 50 Jahre; Drän- und Wasserspeicherelement: 40 Jahre
- Kiesschüttung: 5 cm; Substratschüttung: Extensiv: 10 cm; Intensiv: 20 cm
- Vegetation: Extensiv: Sedum (0,9 kg CO₂ Äqv./m²); Intensiv: Stauden (2,4 kg CO₂ Äqv./m²)
- Annahme Heizenergieeinsparung Extensiv/Intensiv: 0,5/1,0 kWh/m²a; Kühlenergieeinsparung Extensiv/Intensiv: 0,283/0,300 kWh/m²a
- Annahme CO₂-Äqv. für Erdgas: 0,201 CO₂-Äqv. kg/kWh; für den dt. Strommix: 0,401 CO₂-Äqv. kg/kWh
- Funktionelle Einheit: 1m²

Abbildung 4: Treibhausgaspotenzial inklusive Gutschriften

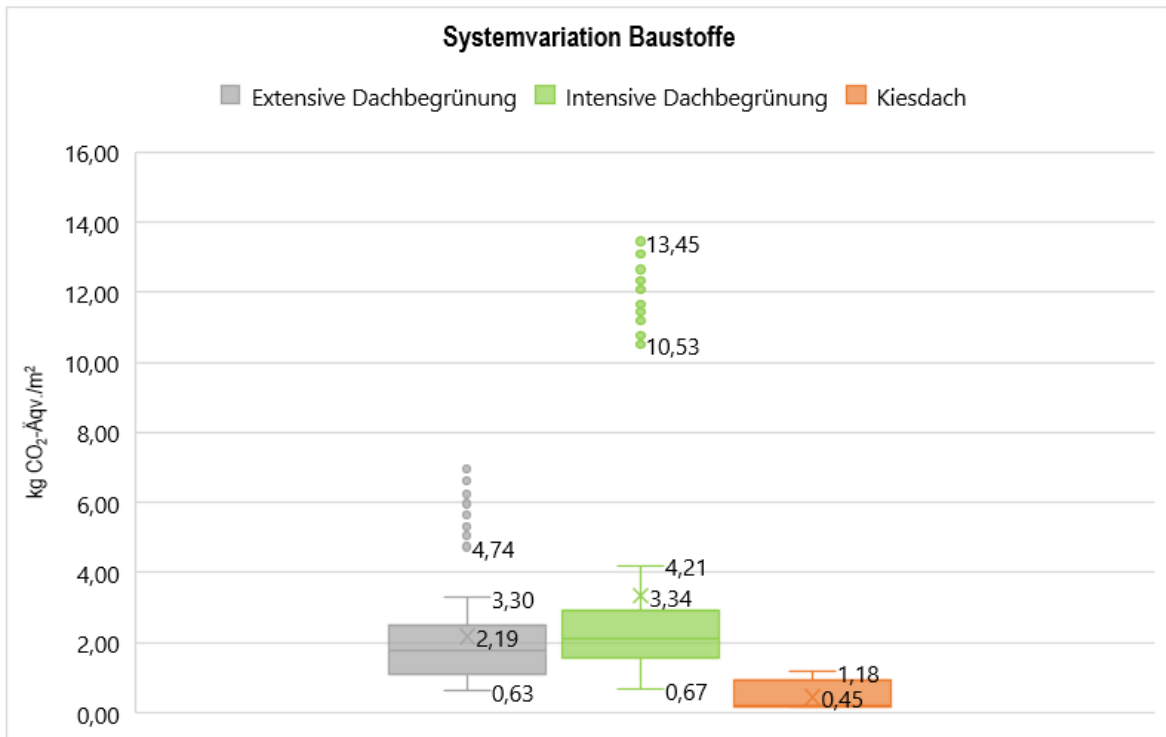


Abbildung 5: Sensitivitätsanalyse Baustoffe der ausgewählten Dachbauweisen

Ein weiteres Ergebnis dieser Systemvarianz ist, dass alle bilanzierten Gründächer inklusiver Gutschriften für CO₂-Speicherung und Energieeinsparungen in der Umweltwirkungskategorie Treibhausgaspotenzial besser als die Kiesdächer abschneiden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Treibhausgaspotenzial Gründächer inklusive Gutschriften & Kiesdach

	MIN	MAX	AVG	
Extensivbegrünung	-8,83	-2,31	-7,27	kg CO ₂ Äqv./m ²
Intensivbegrünung	-14,58	-1,80	-11,91	kg CO ₂ Äqv./m ²
Kiesdach	0,18	1,18	0,45	kg CO ₂ Äqv./m ²

Die erstellte Ökobilanz kann für weitere Betrachtungen als Grundgerüst genutzt werden, um umweltfreundliche Varianten zu identifizieren und den Einfluss einzelner Baustoffe zu veranschaulichen.

Annahmen

C-Speicherung der Vegetation

Durch Photosynthese binden Pflanzen CO₂ aus der Luft als Kohlenstoff in der Biomasse. Diese CO₂-Speicherung ist nur vorübergehend, da der Sauerstoff bei der Photosynthese und der Kohlenstoff bei der Verrottung wieder freigesetzt wird. Vereinfacht wird bei der vorliegenden Arbeit eine konstante Speicherung und Verrottung angenommen, sowie ein maximales Wachstumsstadium der Vegetation. Zur C-Speicherung durch die Vegetation von Gründächern sind bisher nur wenige Messergebnisse zugänglich und allgemein wenig Forschung betrieben, wie auch die folgenden zwei Zitate unterstreichen:

Heusinger und Weber (2017): „Literatur besagt, dass Gründächer Wärme- und CO₂ Senken darstellen – empirische Quantifizierungen sind aber kaum vorhanden.“

Buffam und Mitchell (2015): „There is very little known about the dynamics of atmospheric CO₂ exchange in green roof ecosystems, which would give insight into short-term changes in carbon stocks.“

Faktoren, die die C-Speicherfähigkeit von Dachbegrünungen beeinflussen können, sind unter anderem die gewählte Pflanzenart, Alter der Pflanzen und Substratstärke. Die Ergebnisse einer Literaturrecherche werden in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Literaturrecherche CO₂-Speicherung Gründächer

Vegetationsform	CO ₂ -Aufnahme	Einheit	Literatur
Sedum	85 – 1.200	g CO ₂ Äqv./m ²	Heusinger und Weber (2017), Getter et al. (2009), Buffam und Mitchell (2015), Herfort et al. (2012),
Moos	1.100 – 2.200	g CO ₂ Äqv./m ²	Frahm (2009), Herfort et al. (2012)
Stauden	1.900 – 2.900	g CO ₂ Äqv./m ²	Herfort et al. (2012)

Bei der vorliegenden Arbeit wurde ein C-Speichervermögen für die Extensivbegrünung von 0,9 kg CO₂ Äqv./m² mit einem Sedum gewählt und für die Intensivbegrünung einem Wert von 2,4 kg CO₂ Äqv./m² für Stauden gewählt. Des Weiteren wurde keinerlei Phytomasse für das Kiesdach angenommen.

Energieeinsparungen

Die Berechnung der Energieeinsparungen der Gründächer folgt der Methodik des FLL-Leitfadens „Gebäude Begrünung Energie Potenziale und Wechselwirkungen“ (Dettmar et al. 2013) in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Darmstadt und Technischen Universität Braunschweig.

Grundlage hierfür ist die Arbeit von Köhler und Malorny (2009), die im Folgenden zitiert wird:

„Über Messungen der Wärmeleitfähigkeit konnten an der Hochschule Neubrandenburg Wärmedurchlasswiderstände (R) verschiedener extensiver Gründachaufbauten ermittelt werden. Bei einem 10 cm starken Substrat erreicht ein extensiv begrüntes Dach, je nach Substratart, einen zusätzlichen R-Wert von 0,14 bis 0,40 m²K/W unter maximaler Wassersättigung. Dies entspricht ca. 6 mm bis 16 mm einer konventionellen Dämmung der Wärmeleitfähigkeitsgruppe (WLG) 040.“

Klimatisierungseinsparung durch Gebäudebegrünung gegenüber einem Kiesdach (vereinfachte, stationäre Betrachtung) und die Heizenergieeinsparung durch Gebäudebegrünung anhand der Heizgradtage (vereinfachtes

Verfahren nach EnEV 2009) wurden analog zu TU Darmstadt (2014) S. 144 ff. berechnet. Die Annahmen für Emissionen des deutschen Strommix und Erdgas wurde anhand von UBA (2020) aktualisiert.

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

Für eine weitere Betrachtung der Umweltwirkungen von Gründächern können folgende Themen näher untersucht werden:

- Einpflegung der Daten bei Aktualisierung der ÖKOBAUDAT Datengrundlage, insbesondere bei fehlender Datengrundlage mit ausgewählten Referenzbaustoffen wie Drän- und Wasserspeicherelement.
- C-Speicherung anderer Vegetationsformen kann variiert und angepasst werden.
- Sofern solide Datengrundlage vorhanden, kann die C-Speicherung im Wurzelwerk und Substrat der Gründächer ebenfalls betrachtet werden.
- Ähnlich der Bilanzierung von TU Darmstadt (2014) könnte eine energetische Verwendung der Biomasse am Ende des Lebenszyklus berücksichtigt werden.
- Für die Emissionen des deutschen Strommix und Erdgas wurde sich auf UBA (2020) mit Daten für 2019 bezogen. Sobald Neuberechnungen für 2020 vorhanden sind, sollten die Werte aktualisiert werden.
- In der Fachliteratur (FBB 2013; BUE 22.01.2021) wird von einer Verlängerung der Lebensdauer von Dachabdichtungsbahnen von 20-30 Jahren auf 40 Jahre bei Dachbegrünungen auf Grund von Schutz vor UV- und Infrarotstrahlung, extremen Wetterereignissen (z. B. Hagel) und gedämpften Temperaturschwankungen gesprochen. In der vorliegenden Ökobilanz wurde die Lebensdauer basierend auf Vorgaben der ÖKOBAUDAT von 50 Jahren verwendet. Der beschriebene Effekt könnte empirisch bewiesen und berücksichtigt werden.
- Durchführung einer Ökobilanz mit vergleichbarem Umfang für Fassadenbegrünung.
- Erste Einschätzung: Die Bilanzierung der Fassaden ist mit gleicher Methodik und Datengrundlage durchführbar, dafür werden jedoch solide Datengrundlagen für C-Speicherung sowie Messreihen zum zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand benötigt.

2.4 Kosten-Nutzen-Betrachtung

Die Investitionskosten sind für den Großteil der Bauherrschaft am bedeutendsten. Liegt keine Pflicht zur Gebäudebegrünung vor, entscheiden diese in der Regel darüber, ob eine Dach- oder Fassadenbegrünung umgesetzt wird oder nicht. Die Nutzungs- und Einsparungskosten stehen dann im Hintergrund oder bleiben gar unberücksichtigt. Innerhalb einer Lebenszykluskostenbetrachtung werden alle Kosten von Investition, Nutzen und Instandhaltung zusammengefasst und hinsichtlich der Amortisationszeit des Systems einander gegenübergestellt, um so den nachhaltigen Nutzen der Baumaßnahme aufzeigen.

Im direkten Vergleich zu anderen Gebäudehüllen ist bei den Gebäudebegrünungssystemen häufig zu Beginn mit höheren Kosten zu rechnen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Gebäudebegrünung auch ökonomische und ökologische Vorteile über ihren Lebenszyklus bieten kann. Das wird in diesem Kapitel anhand verschiedener Beispiele getrennt für die Dach- und Fassadenbegrünung verdeutlicht.

Dabei wird sich zeigen, dass sich vor allem Dachbegrünungssysteme kostenspezifisch rentieren, ohne weiche Faktoren mit in die Betrachtung einziehen zu müssen. Dagegen können die rechnerisch möglichen Einsparpotenziale bei Fassadenbegrünungssystemen die hohen Investitions- und Wartungskosten in einigen Fällen nicht wieder ausgleichen. Hier werden zusätzlich die weichen Faktoren herangezogen.

Kosten-Nutzen-Betrachtungen zur Dachbegrünung

Zum Auftakt werden die aus Deutschland vorliegenden Kosten-Nutzen-Betrachtungen der vergangenen Jahre kurz beschrieben und in einer Übersichtstabelle vorgestellt. Die Abhandlungen fanden zum Teil noch vor dem Wechsel von D-Mark auf Euro (€) statt. Daher wurde im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchung der aktuelle Wechselkurs (1 D-Mark = 0,51 €) angenommen.

Tabelle 8: Deutsche Veröffentlichungen Lebenszyklusbetrachtung Dachbegrünung (vgl. S. 63-67)

Autor	Veröffentlichung	Objektgröße in m ²	Zeitraum in Jahre	Gesamteinsparung in €/m ²	Gesamteinsparung in €/m ² /Jahr	Zusatz
Hämmerle	1995	2.750	36	≈ 21,92	≈ 0,61	Vergleich mit unbegrüntem Dächern
Manschek	1997	6.000	30	≈ 17,4	≈ 0,58	Vergleich mit Kiesdach
Kolb (extensiv)	1997	/	40	≈ 6,2	≈ 0,16	Vergleich mit Kiesdach
Kolb (intensiv)	1997	/	40	≈ 50,4	≈ 1,26	Vergleich mit Kiesdach
Hoffmann & Fabry	1998	≥ 400	75	≈ 103,5	≈ 1,38	Vergleich mit Kiesdach
Lietke	1998	30.000	/	/	≈ 6,54	ohne Vergleich
Krupka (mehrschicht)	2001	1.500	40	≈ 10,16	≈ 0,25	Vergleich mit Kiesdach
Krupka (einschicht)	2001	1.500	40	≈ 11,7	≈ 0,29	Vergleich mit Kiesdach
Hämmerle	2002	1.000	40	≈ 28,14	≈ 0,7	ohne Vergleich
Mann	2003	Zusammenfassung und Auswertung der Herangehensweisen bei Lebenszykluskostenbetrachtungen				
Ansel	2009	100	40	≈ 13,45	≈ 0,34	Vergleich mit Kiesdach
Pfoser	2013	1.000	50	2	0,04	Vergleich mit Kiesdach
Pfoser (mit PV)	2013	1.000	50	-68	-1,36	Vergleich mit Kiesdach (mit PV)
Feller	2017	Allgemeine Auswertung begrünter Dächer in München im Vergleich zu Kiesdächern				
Stadt Hamburg	2017	1.000	40	2,52	0,06	Vergleich mit Bitumendach

Der BuGG übernimmt keine Gewähr für die errechneten Kostenangaben!

Für Dachbegrünungen wurden seit den 1990er Jahren mehrere Kosten-Nutzen- bzw. Lebenszykluskostenbetrachtungen durchgeführt. Im Durchschnitt der Untersuchungen (ausgenommen Lietke 1998 und Pfoser PV-Untersuchung 2013, da diese aufgrund einer anderen Vorgehensweise bei der Berechnung mit den anderen Lebenszykluskostenbetrachtungen nicht vergleichbar sind) konnte eine Einsparung von etwa 0,51 €/m² im Jahr über den berechneten Zeitraum durch die Dachbegrünung im Gegensatz zu den unbegrüntem Dachvarianten ermittelt werden. Meist wurde der Vergleich mit einem Kiesdach herangezogen. Vorgehensweisen und betrachtete Objekte der verschiedenen Autoren sind jedoch im Hinblick auf die Kosten so unterschiedlich, dass sich die Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichen lassen. Da einige Untersuchungen zusätzlich noch zu D-Mark-Zeiten stattfanden und die Zeitpunkte der Veröffentlichung zum Teil schon länger zurückliegen, weichen die angenommenen Werte Investition und Wartung von den heutzutage angesetzten Kosten ab.

Die Investitions- und Instandhaltungskosten von Gründächern liegen immer höher als die von unbegrüntem Dächern. Die reinen Pflegekosten betragen jährlich 0,50 €/m² mehr als bei den Kiesdächern (Feller 2017). Die Untersuchungen zeigen auf, dass die hohen Anfangskosten der Dachbegrünungssysteme durch die längere Lebensdauer der Dachabdichtung und damit verringerten Sanierungsmaßnahmen und die weiteren zusätzlichen Einsparungen und finanziellen Zuschüsse der direkten und indirekten Förderungen amortisiert werden können. Am derzeit aussagekräftigsten ist wohl die Untersuchung von Nicole Pfoser aus dem Jahr 2013, da diese sehr umfangreich ist. Hier wurde eine Kosteneinsparung für ein 1.000 m² großes Gründach im Vergleich zu einem Kiesdach von 2 €/m² über einen Zeitraum von 50 Jahren errechnet. Obwohl das Ergebnis zeigt, dass Gründächer zu einer Kosteneinsparung führen können, fand die Berücksichtigung weicher Faktoren und wichtiger Einsparpotenziale durch Förderungen hier noch nicht statt. Auf diesem Gebiet sind aber definitiv weitere, umfangreicher Untersuchungen notwendig, bei dem u. a. alle Investitionskosten, d. h. Herstell- und Instandhaltungskosten, Statik und Arbeitssicherheit, und die zahlreichen Einsparpotenziale inklusive der ökologischen und sozialen Folgekosten unbedingt mitberücksichtigt werden müssen. Im Folgenden werden Studien aus der Tabelle 8 näher beschrieben.

Wolfgang Ansel (2009)

In der Broschüre „Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen“ des DDV (Deutscher Dachgärtner Verband, heute Bundeverband GebäudeGrün e. V.) wurde eine Beispielrechnung für ein nur 100 m² großes extensives Gründach durchgeführt und mit den Kosten eines Kiesdaches gleicher Größe verglichen. Die gewählten Kosten für die Investition des Grün- (30 €/m²) oder Kiesdaches (10 €/m²), dessen Pflege (Gründach 0,50 €/m²/a; Kiesdach 0,25 €/m²/a) und die Sanierung des Daches beruhten auf Erfahrungswerten des DDV. Für die Berechnung wurde ein Zinssatz von 3 % angenommen. Als Pro-Argument wurde die Verringerung der Niederschlagswassergebühr, in diesem Fall für Berlin (50 % für ein Gründach im Jahr 2009), gewählt. Das entsprach einer Einsparung von 0,92

€/m²/a. So konnten aufgrund des Ausfalls der Sanierungsarbeiten nach 20 Jahren und der gesplitteten Abwassergebühr und trotz der deutlich höheren Herstell- und Fertigstellungskosten des Gründaches 13,45 €/m² über eine Laufzeit von 40 Jahren eingespart werden (Ansel 2009).

Nicole Pfoser (2013)

In ihrem Abschlussbericht zur Gebäudebegrünung haben Pfoser et al. (2013) anhand eines 1.000 m² Bürodaches in Wiesbaden die Lebenszykluskosten zwischen einem Gründach (10 cm Substrat) im Gegensatz zu einem Kiesdach mit und ohne PV-Anlage über eine Laufzeit von 50 Jahren untersucht. Angesetzt wurde ein Diskontierungszins von 5 %. In die Berechnung einbezogen wurden die Investitionskosten (ohne statische Erfordernisse), Betriebskosten, Niederschlagswassergebühr (in Wiesbaden für Gründach 30 % der regulären Kosten) und Energiekosten. Ausgehend von vorherigen Berechnungen gewinnt man durch die Einsparung von Heizenergie- und Klimatisierungskosten für dieses Gründach etwa 0,10 €/m²/a. Obwohl die Investitions- und Instandhaltungskosten beim Gründach höher sind, liegt dessen Barwert (Kosten pro m² über 50 Jahre) mithilfe der Kosteneinsparungen bei etwa 75 €/m² und damit 2 € niedriger als beim Kiesdach (Pfoser et al. 2013). Die Untersuchung ist in der nachfolgenden Abbildung 6 beschrieben. Für die Lebenszykluskostenbetrachtung zwischen den Dächern mit PV-Aufständern konnte für das Gründach kein positives Ergebnis erzielt werden. Trotz der höheren Erträge des Gründaches mit PV-Aufständern sind die Investitions- und Wartungskosten im Gegensatz zum Kiesdach zu hoch, um diese wieder auszugleichen. Gegebenenfalls wäre eine Förderung hier hilfreich (Pfoser et al. 2013).

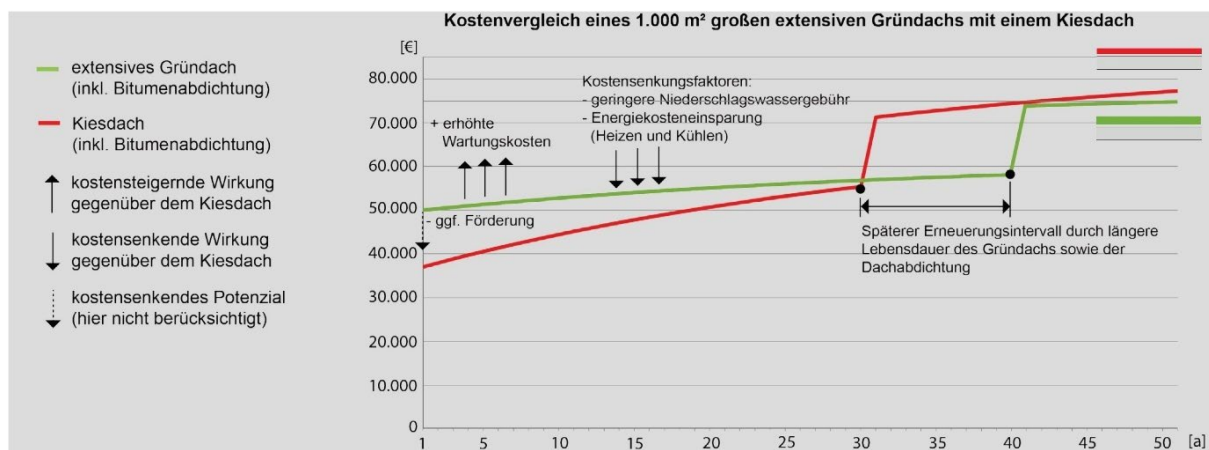


Abbildung 6: Kostenvergleich eines 1.000 m² großen extensiven Gründachs mit einem Kiesdach (Pfoser 2013: 144)

Stefan Feller, Stadt München (2017)

2015 hat die Stadt München, bzw. ihre kommunale Wohnungsbaugesellschaft GEWOFAG, untersucht, welcher kostenspezifische Mehraufwand beim Bau und der Unterhaltung von extensiven Gründächern entsteht. Dementsprechend hat man einschichtige Gründächer mit 10 cm Substrat mit Kiesdächern verglichen. Die Auswertung der Herstellungskosten ergab eine nullprozentige bis hundertprozentige Erhöhung der Kosten im Gegensatz zu den Kiesdächern. Jedoch betragen die Mehrkosten des Gesamtvorhabens im ungünstigsten Fall nur 0,17 %. Daran ist zu erkennen, dass eine Dachbegrünung nur einen sehr geringen Teil der Gesamtkosten des Gebäudes ausmacht. Die reinen Pflegekosten betragen jährlich 0,50 €/m² mehr als bei den Kiesdächern. Weitere Kriterien, wie Einsparung der Abflussgebühren oder Vorteile durch die Dachbegrünung wurden nicht mit betrachtet (Feller 2017).

Stadt Hamburg (2017)

Die neueste umfassendere Untersuchung unternahm die Freie und Hansestadt Hamburg im Zuge ihrer Gründachstrategie. Hierfür hat die Stadt mehreren Bauobjekten hinsichtlich der Gründachkosten nach verschiedenen Kriterien analysiert und die Ergebnisse zusammengetragen. Für ihre Kosten-Nutzen-Betrachtung als Vergleich zwischen Gründach und Bitumendach wurde eine Dachfläche von 1.000 m² gewählt. Zudem wurde ein Zinssatz von 3 % pro Jahr angenommen. Ähnlich wie bei den vorherigen Betrachtungen kann das Gründach, das in diesem Fall die Durchschnittskosten von vier verschiedenen extensiven Dachbegrünungsobjekten in Hamburg widerspiegelt, die höheren Herstell- und Pflegekosten erstens durch die laufenden Kosten, insbesondere der niedrigeren Niederschlagswassergebühr und zweitens durch die notwendige Sanierung des Bitumendaches kompensieren. In diesem Fall können Kosten von knapp 2.500 € über den Zyklus von 40 Jahren bei der extensiven

Dachbegrünung gespart werden. Eine Aussage für andere Dachbegrünungssysteme (z.B. intensive Dachbegrünung oder Biodiversitäts Gründächer) kann jedoch nicht getroffen werden (Hamburg 2017). Etwaige Sanierungen des Gründaches wurden bisher nicht in der Berechnung berücksichtigt.

Investitionskosten für eine Dachbegrünung

Unabhängig von der Systemwahl, ob extensive oder intensive Dachbegrünung, resultieren die Kosten aus:

- System-spezifische Kosten
- Kosten für erhöhte Statik
- Kosten für Attikaerhöhung
- Kosten für Wurzelschutz
- Kosten für Absturzsicherung

System-spezifische Kosten

Unter system-spezifischen Kosten sind Transport, Installation und Bauteile des Dachbegrünungsaufbaus zu verstehen. Zu den Bauteilen gehören:

- Pflanzen (z. B. als Ansaat, Pflanzballen oder Bäume)
- Substrat
- Drainageelemente
- Filtervlies
- Entwässerungselemente (Kanäle, Kontrollschächte etc.)
- Kiesstreifen
- Schutzvliese
- Sonstige Bauteile für Sonderlösungen, z. B. Solaraufständerungen oder Retentionselemente

Typische extensive Dachbegrünungen kosten in der Anschaffung je nach Aufbau und Größe des Daches zwischen 15 und 50 €/m². Intensivbegrünungen von Dächern beginnen bei etwa 40 €/m², allerdings sind aufgrund der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten kostenspezifisch nach oben keine Grenzen gesetzt. Sonderlösungen, wie Solar-Gründächer, Biodiversitätsgründächer oder Urban-Farming-Dächer sind in den Kosten sehr variabel, da hier meist objektspezifisch geplant wird. Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick zu den Kosten verschiedener Dachbegrünungsaufbauten, die bei ausführenden Betrieben abgefragt wurden.

Tabelle 9: Investitionskosten (Richtwerte) für eine Dachbegrünung (netto) in €/m²

	Sedum-Moos	Sedum-Moos-Kräuter	Sedum-Kräuter-Gräser	Kräuter-Gräser-Sedum	Gräser-Kräuter
Höhe Gründach-aufbau [cm]	5 - 6	7 - 9	9 - 11	11 - 15	15 - 18
Einbaukosten 18 m ²	45 - 72	48 - 84	51 - 133	54 - 100	57 - 108
Einbaukosten 50 m ²	30 - 51	35 - 64	40 - 68	44 - 65	47 - 70
Einbaukosten 100 m ²	30 - 43	33 - 50	36 - 53	38 - 60	41 - 66
Einbaukosten 500 m ²	20 - 34	22 - 37	24 - 40	29 - 46	32 - 50
Einbaukosten 1.000 m ²	15 - 33	17 - 36	19 - 40	22 - 45	25 - 50

	Hohe Stauden-Gehölze (Dachgarten)	Rasen	Hohe Stauden-Rasen-Bäume (Tiefgarage)
Höhe Gründach-aufbau [cm]	25 - 30	30	25 - 100
Einbaukosten 18 m ²	100 - 250	120 - 250	150 - 500
Einbaukosten 50 m ²	95 - 200	110 - 200	140 - 350
Einbaukosten 100 m ²	85 - 175	100 - 175	130 - 300
Einbaukosten 500 m ²	70 - 150	85 - 150	110 - 250

	Hohe Stauden-Gehölze (Dachgarten)	Rasen	Hohe Stauden-Rasen-Bäume (Tiefgarage)
Einbaukosten 1.000 m ²	65 - 135	70 - 135	80 - 200

	Solar-Gründach*	Biodiversitäts-gründach	Retentions-gründach	Urban-farming-Dach	Steildach mit 30 °
Höhe Gründach-aufbau [cm]	10 - 12	8 – 10, partiell bis 30	25 - 100	ab 25	10
Einbaukosten 18 m ²	400 - 500	75 - 100	130 - 250	85 - 250	110 – 200
Einbaukosten 50 m ²	300 - 400	50 - 75	120 - 200	80 – 200	100 – 150
Einbaukosten 100 m ²	200 - 300	40 - 68	95 - 175	70 - 200	80 – 120
Einbaukosten 500 m ²	180 - 250	35 - 58	65 - 150	52 - 150	65 – 100
Einbaukosten 1.000 m ²	150 - 220	30 - 54	55 - 135	40 - 135	/

* BuGG-Kostenrichtwerte für Dachbegrünung inkl. Photovoltaikanlage (abhängig von Dachbegrünungsaufbau, Reihenabständen und genutzten PV-Modulen)

Kosten für erhöhte Statik

Niedrige Extensivbegrünungen und Kiesdächer haben ein ähnliches Gewicht. Mehrkosten in der Statik entstehen dadurch i. d. R. nicht. Bitumen bzw. EPDM-Dächer sind hingegen leichter als eine Extensivbegrünung und setzen somit eine geringere Anforderung an die Statik. Wird die Begrünung höher ausgeführt, ist mit Mehrkosten für die statischen Ansprüche des Gebäudes zu rechnen. Eine allgemeine Aussage kann jedoch nicht getroffen werden, da dies von der Größe und Art des Gebäudes, des Daches und dem gewünschten Gründachaufbau abhängt. Beispielsweise nannte Mann (2002) Mehrkosten der Statik von 9 €/m² bei einem Trapezblechdach mit Spannweiten von 10-20 m, auf das eine extensive Dachbegrünung von 80 bis 100 kg/m² aufgebracht werden soll. Wird stattdessen ein Betondach begrünt, liegt nur ein Kostenaufschlag von 3 €/m² bis zu einem Zusatzgewicht von 400 kg/m² vor. Demnach bewegen sich die Mehrkosten bei einer Extensivbegrünung auf einem Betondach im Cent-Bereich. Aktuelle Quellen beziffern Kosten von maximal 3-4 €/m² beim Einsatz einer extensiven Dachbegrünung (Hamburg 2018).

Kosten für Attikaerhöhung

Die Erhöhung Attika ist nicht immer zwingend erforderlich. Ist diese notwendig, werden aktuell Mehrkosten von etwa 6,50- 8,50 €/m² angenommen (Hamburg 2018).

Kosten für Wurzelschutz

Im Normalfall gibt es zwischen einer wurzelfesten Dachabdichtung und einer Dachabdichtung ohne Wurzelfestigkeit keine Preisdifferenz (Mann 2002). Eine detaillierte Analyse steht jedoch noch aus.

Kosten für Absturzsicherung

Auf begrüntem und unbegrüntem Dächern sind Absturzsicherungssysteme notwendig. Es existieren je nach Budget verschiedene Formen der Absturzsicherung. Für Dachbegrünung sind sowohl in der Dachhaut befestigte Anschlagpunkte möglich als auch auflastgehaltene Befestigungssysteme über PSAgA und Geländer. Eine Kostengegenüberstellung der unterschiedlichen Systeme wurde bisher noch nicht durchgeführt.

Instandhaltungskosten (Pflege und Wartung) für eine Dachbegrünung

Die Instandhaltungskosten sind höher als bei konventionellen Dächern. Extensivbegrünungen benötigen etwa zwei Pflegegänge jährlich. Dadurch ergeben sich im Schnitt Kosten zwischen 1 € bis 2 € pro Jahr pro Quadratmeter. Demnach kostet ein etwa 1.000 m² extensiv begrüntes Flachdach im Unterhalt ca. 1.000 € bis 2.000 € jährlich.

Tabelle 10: Instandhaltungskosten (Richtwerte) von Dachbegrünung (netto) in €/m²/a

	Sedum-Moos	Sedum-Moos-Kräuter	Sedum-Kräuter-Gräser	Kräuter-Gräser-Sedum	Gräser-Kräuter
Pflegekosten €/m ² /a für 18 m ²	5 - 15	5 - 15	5 - 18	6 - 18	6 - 20
Pflegekosten €/m ² /a für 50 m ²	4 - 8	4 - 8	4 - 10	5 - 10	6 - 12
Pflegekosten €/m ² /a für 100 m ²	3 - 5	4 - 5	4 - 6	4 - 6	4 - 7
Pflegekosten €/m ² /a für 500 m ²	2 - 3	2 - 3	2 - 4	2 - 4	2 - 5
Pflegekosten €/m ² /a für 1.000 m ²	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 3	2 - 4

	Hohe Stauden-Gehölze (Dachgarten)	Rasen	Hohe Stauden-Rasen-Bäume (Tiefgarage)
Pflegekosten €/m ² /a für 18 m ²	20 - 50	35 - 75	50 - 75
Pflegekosten €/m ² /a für 50 m ²	15 - 40	25 - 65	30 - 65
Pflegekosten €/m ² /a für 100 m ²	10 - 20	20 - 40	20 - 40
Pflegekosten €/m ² /a für 500 m ²	6 - 12	6 - 25	10 - 25
Pflegekosten €/m ² /a für 1.000 m ²	4 - 10	5 - 18	8 - 18

	Solar-Gründach*	Biodiversitäts-gründach	Retentions-gründach	Urban-farming-Dach	Steildach mit 30 °
Pflegekosten €/m ² /a für 18 m ²	10 - 18	12 - 20	10 - 25	15 - 100	20
Pflegekosten €/m ² /a für 50 m ²	5 - 10	6 - 12	5 - 12	15 - 50	12 - 17
Pflegekosten €/m ² /a für 100 m ²	3 - 10	4 - 7	3 - 8	10 - 25	7 - 10
Pflegekosten €/m ² /a für 500 m ²	2 - 6	3 - 5	2 - 6	6 - 10	4 - 7
Pflegekosten €/m ² /a für 1.000 m ²	2 - 5	2 - 4	2 - 5	4 - 8	/

Rückbau und Entsorgungskosten

Auch die Rückbau- und Entsorgungskosten müssen bei einer Kosten-Nutzen-Betrachtung mitberücksichtigt werden. Aktuell liegen keine Werte für diese Variablen vor. Im Rahmen einer umfassenden Untersuchung sollten diese Werte für wichtige Dachgrößen (z. B. 18, 50, 100, 500, 1.000 und 10.000 m²) identifiziert werden.

Einsparpotenziale durch eine Dachbegrünung

Verlängerung der Lebensdauer der Dachabdichtung

Eine Dachbegrünung schützt die Dachabdichtung vor extremen Witterungseinflüssen, wie Hagel, Starkniederschlägen und Stürmen, sowie vor thermischer Belastung und einer starken UV-Strahlung. Entgegen konventioneller Dächer, die nach etwa 20-30 Jahren aus diesen Gründen saniert werden müssen, ist noch unklar, wie lange die Dachabdichtung tatsächlich unter einer Dachbegrünung hält, ohne dass diese erneuert werden muss. Von einer Sanierung alle 30-40 Jahre bis hin zur gesamten Lebensdauer eines Gebäudes sind verschiedene Aussagen vertreten. Eine regelmäßige Pflege des Gründaches kann die Sanierung der Dachabdichtung zusätzlich hinauszögern.

Direkte Förderungen

Zunehmend mehr Städte und Kommunen bieten Förderprogramme an, um dem hohen Versiegelungsanteil entgegenzuwirken und einen positiven Effekt für die Umwelt zu schaffen. Werden die gewünschten Bedingungen an

den Dachbegrünungsaufbau erfüllt, liegen die Fördersummen für extensive Dachbegrünungen zwischen 15 und 30 €/m². Teilweise werden Dachbegrünungen sogar noch höher gefördert, mit bis zu 100 €/m² (BuGG 2020).

Indirekte Förderungen

Dachbegrünungen sind in der Lage, Niederschlagswasser zurückzuhalten. Durch den Rückhalt kann die Kanalisation entlastet werden und somit Hochwasser vorgebeugt werden. In den meisten Städten Deutschlands wird diese Funktion mit einer Gebührenreduktion bei der Gesplitteten Abwassergebühr anerkannt. Die durchschnittliche maximale Gebührenreduktion für eine Dachbegrünung liegt aktuell bei 0,48 €/m² im Jahr (BuGG 2020).

Energieeinsparungen

Wenn möglich, kann die Dämmung auch durch einen gewissen Substrataufbau ersetzt werden. Untersuchungen ergaben, dass u. a. ein extensives Gründach mit einer Substratschicht von 10 cm eine typische Dämmung (WLG 040) von 1 cm Stärke ersetzen kann. Das bedeutet, dass die Dämmschicht, wenn zulässig, verringert werden kann. Die gezielte Erhöhung des Substrataufbaus mit dem Ziel, die Dämmschicht zu verringern, sollte kritisch im Hinblick auf Ziele der Ressourcenschonung sowie auf Kosten-Nutzen-Aspekte geprüft werden.

Des Weiteren kann angenommen werden, dass die kühlende Wirkung im Sommer dafür sorgt, dass Klimaanlage weniger genutzt werden müssen. Zwar sind im Wohnbereich noch wenig Klimaanlage verbreitet, jedoch ist die Nutzung von Klimaanlage ein Trend, der sich in den nächsten Jahren vermutlich verstärken wird. Belastbare Zahlen liegen aktuell aber noch nicht vor, sondern sollten im Rahmen eines Forschungsvorhabens ermittelt werden.

Im Vergleich zwischen einem Kiesdach und einer extensiven Dachbegrünung auf sehr gut gedämmten Dächern bestehen zwar zusätzliche Einsparungen durch die Begrünung, diese sind allerdings sehr gering. Es kann jedoch angenommen werden, dass bei einem Vergleich auf einem schlecht gedämmten, oder ungedämmten Dach eines Bestandsgebäudes die Kühl- und Dämmwirkung noch höher ist, solange das Gebäude aktiv beheizt und gekühlt wird (Pfoser 2013).

Eingriffs-Ausgleichsregelung

Dachbegrünungen können bei der naturschutzrechtlichen Eingriffs-Ausgleichsregelung als Minderungsmaßnahme angerechnet werden, um so direkt vor Ort eine Teilkompensation zu schaffen. Das schafft die Möglichkeit, alternative Ausgleichsmaßnahmen an anderer Stelle zu vermindern (Hamburg 2018).

Berücksichtigung der weichen Faktoren

Für eine Kosten-Nutzen-Betrachtung muss auch der Wert der weichen Faktoren geklärt werden. Beispielsweise erschließen intensive Dachbegrünungen bisher ungenutzte, hochwertige Freiräume und ermöglichen somit Räume für Aufenthalt, soziale Kontakte oder auch gärtnerische Nutzung, sofern eine barrierefreie Erschließung möglich ist. Extensive und intensive Dachbegrünungen können als Biotopverbund dienen und zum Artenschutz beitragen.

Gebäudebegrünungen werten das Wohnumfeld auf, sorgen für Gemeinschaftsbildung und Nutzerzufriedenheit und steigern nicht zuletzt die Lebensqualität. Zu klären ist hierbei zwischen Vermieter und Mieter die Zuständigkeit bei der Pflege. Da die bauliche Dichte in den Ballungsräumen weiter zunehmen wird und Fragen zu ausreichender Grünversorgung, der Kompensation von Nutzflächen, einem funktionierenden sozialem Umfeld und ökologische und klimatische Fragestellungen beantwortet werden müssen, steigt auch die Bedeutung der Dachbegrünung. Die weichen Faktoren, wie die Verbesserung des Arbeits- und Wohnumfeldes, die Verbesserung des Mikroklimas, die Bindung von Luftschadstoffen, die Erhöhung der Biodiversität und die Verminderung des Lärms, sind nur sehr schwer bilanzierbar.

Kosten-Nutzen-Betrachtungen zur Fassadenbegrünung

Fassadenbegrünungen vereinen viele positive Wirkungen und bieten zudem auch noch Kosten-Nutzen-Vorteile für die Bauherr- und Eigentümerschaft, sowie für das Quartier bis hin zur ganzen Stadt (siehe Abbildung 7). Diese resultieren vor allem aus den baulichen Schutzeffekten und für den Nutzenden aus der gesteigerten Aufenthaltsqualitäten.

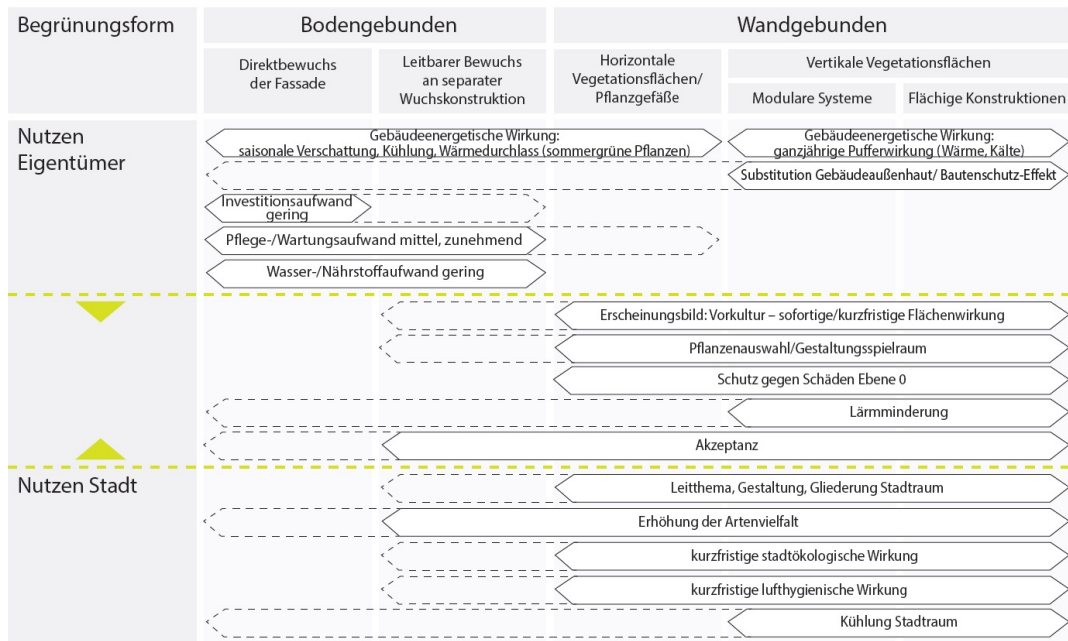


Abbildung 7: Positive Wirkungen von Fassadenbegrünungen für Eigentümerschaft und Stadt (Pfoser et al. 2016)

Nicole Pfoser

In 2013 wurde erstmals eine Vergleichsaufstellung zu verschiedenen Kostenfaktoren unterschiedlicher Fassadenbegrünungssysteme aufgestellt. Fassadenbegrünungen sorgen für eine Verschattungskühlung, für Verdunstung, haben einen Dämm- und Lärmschutzeffekt und verhindern, dass die dahinterliegende Fassade zu stark durch die Witterung, Temperaturextreme und UV-Strahlung in Mitleidenschaft gezogen wird. Verschiedene Fassadenbegrünungssysteme sorgen dabei jeweils für ein unterschiedliches Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Wandgebundene Systeme schaffen es trotz ihrer zahlreichen positiven Wirkungen nicht, bzw. nur in seltenen Fällen, die hohen Baukosten wieder auszugleichen. Gemäß der Untersuchung von Pfoser können mindestens die Pflege- und Wartungskosten der Fassadenbegrünungssysteme durch die verschiedenen Einsparungspotenziale ausgeglichen werden. Da jedoch ein großer Anteil der wandgebundenen Fassadenbegrünungssysteme Einzelanfertigungen sind, entstehen vor allem höhere Planungskosten, die bei standardisierten Bauweisen nicht vorkommen würden. Weitere Kosten können durch schwer erreichbare Höhen und ungewöhnliche Lagen entstehen (siehe Abbildung 8).

Pfoser ermittelte zudem, dass unabhängig vom System ab einer Größe von 1.000 m² die Kosten konstant bleiben, da keine weiteren kostenrelevanten Bedingungen auftreten. Des Weiteren verfolgen einige Fassadenbegrünungen nicht das Ziel einer nachhaltigen Bauweise, sondern sollen als Kunstwerk, Besonderheit oder Werbezweck dienen und dauerhaft ansprechend aussehen. Die Gestaltung ist hier im Vordergrund und die Kosten spielen nur eine nebensächliche Rolle. Diese Begrünungsvarianten stehen somit in keinem Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Investitionskosten für eine Fassadenbegrünung

Unabhängig von der Systemwahl, ob bodengebundener oder wandgebundener Fassadenbegrünung, resultieren die Investitionskosten aus:

- den systemspezifischen Kosten
- der bau- und wartungstechnischen Erreichbarkeit
- der Pflanzenauswahl
- der Bepflanzungsdichte
- dem Aufwand für die Wasser- und Nährstoff-Versorgungsanlage

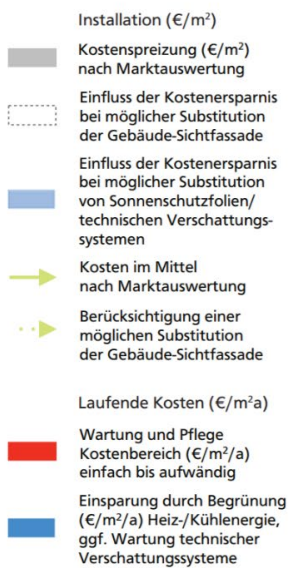
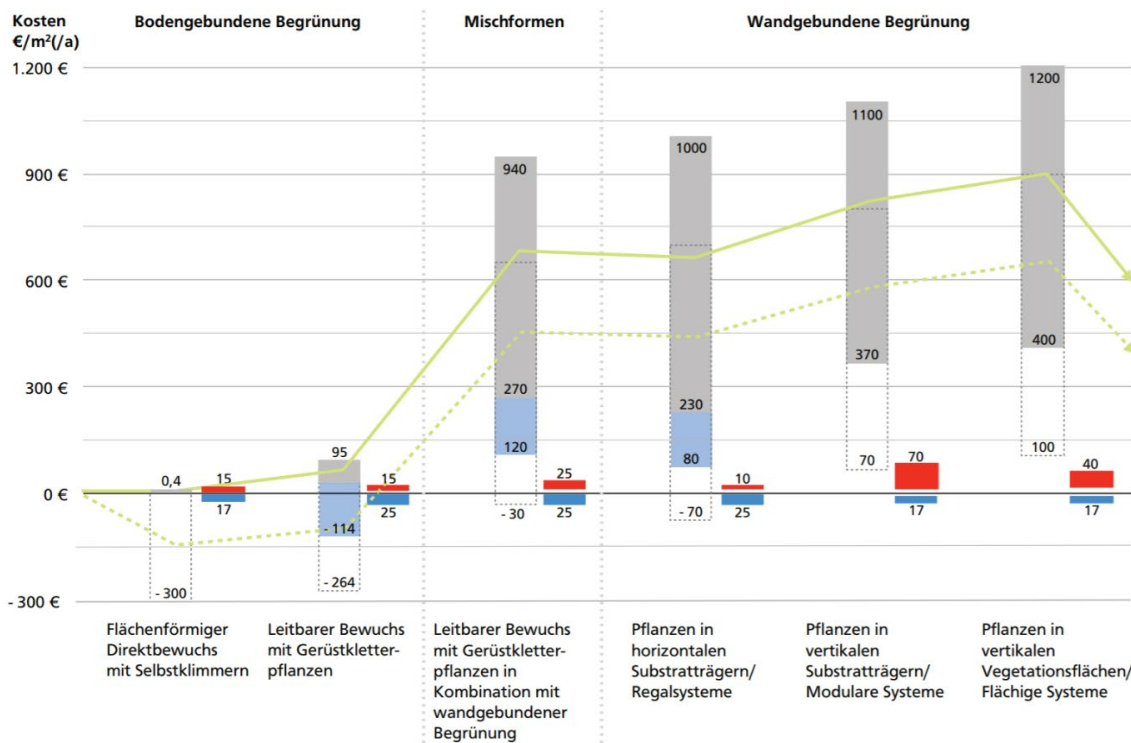


Abb. 30: Gesamtüberblick der Bauweisen im Kostenvergleich (Installation = €/m², laufende Kosten = €/m²a) © Nicole Pfoser 07/2012 [22; 23, S. 268-269], Ergänzungen 02/2016

Grundlagen: BKI Baukosteninformationszentrum, Hrsg.(2012): BKI Baukosten 2012. Statistische Kostenkennwerte für Positionen, Teil 3; Eigene Marktauswertung 2011-2012; Enzi, V. (2010): Fassadenbegrünungen - Innovation und Chancen. Wien, S. 18; Green Roofs, Hrsg. (2008): Introduction to Green Walls. Technology, Benefits & Design. www.greenscreen.com/Resources/download_it/IntroductionGreen-Walls.pdf [15.3.2009]; N.N. (2002): Fassadenbegrünung. Pflanzen an Fassaden sind Wetterschutz und Klimaanlage für das Gebäude selbst, In: Modernisierungsmarkt Jg.: 25, Nr.6, S. 26; Pfoser, N. (2010 a): Architekturmedium Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, In: Stadt+Grün 3/2010, Berlin, S. 54-59; Pfoser, N. (2011a): Fassadenbegrünung. Erweiterte Systematik, In: Bauwerksbegrünung, Jahrbuch 2011, Stuttgart, S. 97-103; Pfoser, N. (2011 b): Erweiterte „Systematik“ der Fassadenbegrünung – Eigenschaften und Unterschiede von Boden- und Fassadengebundenen Begrünungssystemen, In: Biotope City – International Journal for City as Nature, Amsterdam (9.2011); unter: www.biotope-city.net [07.12.2012]; Schulte, A. (2012): Living Walls erobern die Städte. Funktion und System der neuen „Fassadengärten“. In: Neue Landschaft Jg. 57, Nr. 5, S.54; Schmidt, M. (2015): Begrünte Fassaden als Baustein des energieeffizienten Bauens. Vortrag am 09.06.2015, Hochschule Ostwestfalen-Lippe

Abbildung 8: Gesamtüberblick der Bauweisen im Kostenvergleich (Dettmar et al. 2016 S.34)

Systemspezifische Kosten

Unter systemspezifischen Kosten sind Transport, Installation und Bauteile des Fassadenbegrünungssystems zu verstehen. Zu den Bauteilen gehören:

- bei einer bodengebundenen Fassadenbegrünung
 - die Kletterhilfe (z. B. Rankgitter oder Seilsysteme)
 - ggf. Pflanzgefäße inkl. Bewässerungskomponenten
- bei einer wandgebundenen Fassadenbegrünung
 - Vegetationsträger
 - Unterkonstruktion für vorgehängt hinterlüftete Fassade
 - Bewässerungskomponenten

Bau- und wartungstechnische Erreichbarkeit

Für Einbau und Wartung einer Fassadenbegrünung sind für schwer zugängliche, bzw. sehr hohe Fassaden teilweise weitere kostenverursachende Hilfsmittel, wie Hubsteiger oder Abseilsysteme vom Dach aus, notwendig.

Pflanzenauswahl

Die Kosten für Pflanzen einer bodengebundenen Fassadenbegrünung sind vergleichsweise gering und bemessen sich je Pflanze im niedrigen zwei- bis dreistelligen Eurobereich. Bei wandgebundenen Fassadenbegrünungssystemen werden meist Stauden, Gräser und Farne verwendet. Das System gibt dabei vor, wie viele Pflanzen pro m² angesetzt werden.

Bepflanzungsdichte

Für bodengebundene Fassadenbegrünungen können je nach Ausbreitung der gewünschten Pflanzenart mehr oder weniger Pflanzen bzw. Kletterhilfen notwendig werden. Dagegen gibt es bei wandgebundenen Systemen meist vorgegebene Pflanztaschen, welche die Menge der notwendigen Pflanzen bestimmt.

Aufwand für die Wasser- und Nährstoff-Versorgungsanlage

Für bodengebundene Fassadenbegrünungen sind in der Regel keine zusätzlichen Bewässerungsanlagen notwendig. Diese werden nur bei Sonderlösungen mit Gefäßen gebraucht, welche für die Pflege und Wartung schwer zugänglich sind.

Ein Grund für die hohen Kosten von wandgebundenen Fassadenbegrünungen sind die Wasser- und Nährstoffanlagen, denn diese sind ein essenzieller Bestandteil für die Funktion des gesamten Systems. Die Größe der Fassadenbegrünung bestimmt auch die Kosten für die Bewässerungsanlage. Häufig werden diese Systeme mit einer zusätzlichen Fernüberwachung verkauft, welche wiederum zusätzliche Kosten für die Instandhaltung einnimmt.

Die nachfolgende Tabelle 11 gibt einen Überblick zu den Kosten verschiedener Fassadenbegrünungssysteme.

Tabelle 11: Investitionskosten (Richtwerte) für eine Fassadenbegrünung (netto) in €/m²

Begrünungsmaßnahme	Bodengebunden ohne Kletterhilfe	Bodengebunden mit Kletterhilfe	Wangebundene Begrünung	Regalbauweise
Einbaukosten 20 m ²	10 – 55	100 – 260	250 - 1.000	300 – 500
Einbaukosten 50 m ²	10 – 98	35 – 110	600 – 800	200 – 310
Einbaukosten 100 m ²	8 - 97	35 – 230	500 – 700	190 – 230
Einbaukosten 250 m ²	8 – 50	35 - 120	450 - 700	190 – 210

Instandhaltungskosten (Pflege und Wartung) für eine Fassadenbegrünung

Die Pflegekosten werden bestimmt durch:

- die notwendigen Pflegemaßnahmen
- der Häufigkeit der Pflegeintervalle
- der Zugänglichkeit der Fassadenbegrünung
- des vorhandenen Bewässerungssystems
- dem vereinbarten Pflegevertrag

Werte, die in etwa für die Pflege der verschiedenen Fassadenbegrünungsformen anfallen, sind in der nachstehenden Tabelle 12 genannt.

Tabelle 12: Instandhaltungskosten (Richtwerte) von Fassadenbegrünung (netto) in €/m²/a

Begrünungsmaßnahme	Bodengebunden ohne Kletterhilfe	Bodengebunden mit Kletterhilfe	Wangebundene Begrünung	Regalbauweise
Pflegekosten 20 m ²	5 - 60	15 - 45	15 - 20	20 – 45
Pflegekosten 50 m ²	12 - 45	12 - 30	12 - 40	30
Pflegekosten 100 m ²	10 - 33	10 - 22	10 - 28	22
Pflegekosten 250 m ²	8 - 20	8 - 12	8 - 20	18

Rückbau und Entsorgungskosten

Auch die Rückbau- und Entsorgungskosten einer Fassadenbegrünung müssen innerhalb einer Kosten-Nutzen-Betrachtung mitberücksichtigt werden. Aktuell liegen keine Werte für diese Variablen vor. Im Rahmen einer umfassenden Untersuchung sollten die Daten für wichtige Fassadenbegrünungssysteme identifiziert werden.

Einsparpotenziale von Fassadenbegrünungen

Verlängerung der Lebensdauer der Fassade

Ähnlich wie die Dachbegrünung sorgt auch die Fassadenbegrünung für den Schutz der dahinter liegenden Fassade gegen UV-Strahlung, hohe Temperaturdifferenzen und starker Witterung, wie Stürmen, Nieder- und Hagelschlägen. Das sorgt für eine längere Lebensdauer der Oberfläche und zögert die notwendige Sanierung heraus.

Ein weiterer Synergieeffekt ist der Schutz vor Schmutz oder auch Verwüstungen, z. B. durch Graffiti.

Energieeinsparungen

Wandgebundene Systeme wirken, ähnlich wie eine Dachbegrünung, im Sommer kühlend und im Winter durch ihre Dämmwirkung wärmend. Somit kann die Heiz- und Kühlenergie im Innenraum reduziert werden. Energieeinsparungen finden in den Sommermonaten statt, da weniger Klimaanlagen eingesetzt werden müssen. Im besten Fall können Klimageräte komplett entfernt werden. Damit können Kosten für die Geräte von etwa 600 bis 2.000 € pro Raum und deren Betriebskosten von etwa 0,20 € je Stunde eingespart werden (Dettmar 2016). Hinzu kommt eine Ressourceneinsparung für die Herstellung der Klimageräte und die Vermeidung von CO₂-Ausstoß durch deren Betrieb.

Sonstige mögliche Einsparungen

Bodengebundene Fassadenbegrünungen können aufgrund ihrer Verschattungswirkung zur Einsparung von anderen Sonnenschutzsystemen, z. B. Sonnenschutzfolien oder technischen Verschattungssystemen führen.

Werden Gebäude neugeplant oder Fassaden saniert, müssen die Fassadenoberflächen nicht mit verhältnismäßig hochwertigen Materialien ausgestattet werden, da die Fassadenbegrünung diese Oberflächen verdeckt. Zum Teil könnten Begrünungselemente sogar den Abschluss der Fassade bilden, was weitere Kosten für andere Materialien spart (Köhler 2012).

Darüber hinaus haben Fassadenbegrünungen ähnliche Wirkungen auf die Umwelt und den Menschen wie Dachbegrünungen. Diese „weichen“ Faktoren (z. B. Verdunstungskühlung, Schadstoffabsorption, Lärmschutz oder Steigerung der Aufenthaltsqualität) lassen sich jedoch nur bedingt in Zahlen ausdrücken und müssen daher separat betrachtet werden.

Bisher unberücksichtigte Faktoren bei Einsparpotenzialen von Gebäudegrün

Trotz der verschiedenen Kosten-Nutzen-Untersuchungen wurden zahlreiche harte und weiche Faktoren, die für Kosteneinsparungen sorgen, nur vereinfacht bzw. noch gar nicht berücksichtigt. Hier gilt es in zukünftigen Untersuchungen Lösungen zu finden, wie diese Faktoren in eine Kosten-Nutzen-Betrachtung integriert werden können.

Harte Faktoren:

- Geringe Dimensionierung der Entwässerungseinrichtungen im Gebäude, Einsparung von Regenwasserrückhaltebecken, Versickerungsmulden, Zisternen o. ä aufgrund Regenwasserrückhaltung
- Direkte Zuschüsse durch Förderprogramme
- Indirekte Zuschüsse durch vergünstigte Kredite oder Gebühreneinsparungen
- Anrechnung beim Öko-Konto
- Vorteile beim Nachhaltigen Bauen (BNB und DGNB)
- Schallschutzmaßnahmen nach außen und Abschwächung der Schallreflexion von außen

Weiche Faktoren:

- Gebäudebegrünung als ökologische Ausgleichsfläche (z. B. Gegenrechnung mit Einsparung für Naturschutzmaßnahmen)
- Allgemeine Wohlfahrtswirkungen durch Verdunstungskühlung, Feinstaubbindung, C-Bindung
- Sonstige Wirkungen, die nicht in Geldwert ausgedrückt werden können:
 - Steigerung des Wohlbefindens
 - Steigerung der Aufenthaltsqualität
 - Steigerung der Wohn- und Arbeitsqualität
 - Steigerung der Gestaltungsqualität
 - Imagegewinn

2.5 Hemmnisse und Hürden zur Umsetzung von Gebäudebegrünungen

Obwohl die zahlreichen Vorteile und Potenziale der Fassaden- und Dachbegrünungen erwiesen sind, stoßen diese in der Praxis bei Bauherren und Investoren häufig auf Ablehnung. Die Vorbehalte sind meist auf Planungsfehler, Investitionskosten sowie mangelhafte Ausführung und Pflege zurückzuführen. Auch werden hohe Investitionskosten als Hemmnis angeführt. In anderen Fällen basieren sie auf fehlendem (Fach-)Wissen oder Vorurteilen. Für eine gelungene Förderung von Gebäudebegrünungen müssen solche Hinderungsfaktoren bekannt sein, um angemessen reagieren zu können, z. B. durch gute, fachkompetente Beratung und Planung.

Hemmnisse und Hürden von Seiten der Bauherrschaft/Investoren

Kostenaspekte bei der Herstellung von Gebäudebegrünungen

Gebäudebegrünungen werden häufig nur als additives Gestaltungselement betrachtet. Neben systemtypischen Baukosten wirken sich individuelle Einflüsse auf die Gesamtkosten aus: Die bau- und wartungstechnische Erreichbarkeit der begrüneten Flächen, die Pflanzenauswahl, die Pflanzungsdichte und der erforderliche Aufwand für die Wasser- und Nährstoffversorgungsanlage sowie laufende Ausgaben für die Erhaltung sind variable Kostenfaktoren.

Eine vergleichende Betrachtung der Wirtschaftlichkeitsaspekte (Investition und Instandhaltung) integrativer Entwurfsansätze bei Neubauten und Gebäudeerneuerungen (z. B. im Zusammenhang mit energetischen Sanierungen) zeigt auf, dass im Gegenzug bestimmte Einsparungen erreicht werden können (Pfoser 2016: 204 f.). Dies betrifft signifikant den Herstellungsaufwand von Fassadensichtoberflächen an den von Begrünung bedeckten Fassadenbereichen, der zu einer vollständigen Kompensation der Begrünungskosten führen kann, rechnet man die Baukosten von ersparten Naturstein- oder Metallsichtfassaden dagegen. Besondere Kostenvorteile lassen sich im Bereich preisgünstiger bodengebundener Fassadenbegrünungstechniken erzielen. Auch bei wand- und fassadengebundenen Systemen und Mischformen zeigt sich der Spareffekt: Durch Sichtfassadensubstitution können wirtschaftliche Lösungen erreicht werden. Durch Dach- und Fassadenbegrünungen, insbesondere bei vollflächiger Ausbildung, werden die Außenflächen langfristig wirksam gegen Niederschläge, Schmutz und UV-Schädigung geschützt. Zu einer erhöhten Lebensdauer tragen auch deutlich reduzierte Temperaturdifferenzen an den Gebäudeoberflächen bei (Pfoser 2016: 207).

Kostenaspekte bei Pflege und Wartung von Gebäudebegrünungen

Bedenken wegen vermeintlich überproportional hoher Kosten und wegen hoher Verlustrisiken infolge von Fehlplanung oder ausbleibender Wartung (verlorene Investitionen) werden bisher nicht fachgerecht ausgeräumt (Pfoser 2016: 35). Sowiesokosten im Unterhalt des Gebäudes sind gegenzurechnen, Lebenszykluskosten einzubeziehen. Bei beispielsweise erhöhten Wartungskosten von großflächigen bzw. hoch am Gebäude montierten Begrünungen ist von realen Einspareffekten bei einer z. B. halbjährlichen Bündelung der Begrünungs- und Fassadenwartung bzw. Glasreinigung auszugehen (N.N. 2002: 26). Gleiches gilt für die nötige Erreichbarkeit der Flächen mit Leitern oder Befahrssystemen (ebd.: 26; Oettelé 2011: 53). Die Einsparpotenziale einer möglichen Substitution von Sonnenschutzfolien und technischen Verschattungssystemen, sowie die Einsparung durch Begrünung hinsichtlich Heiz-/Kühlenergie und Wartung technischer Verschattungssysteme sind ebenfalls zu berücksichtigen. Beachtenswert sind zusätzlich mögliche einsparbare Investitionen für Raumklimageräte und deren Betriebskosten, anfallende Renovierungskosten (abhängig von Materialart, Farbe, Oberfläche und der örtlichen Schmutzbelastung) sowie notwendige Sanierungen durch Schäden der Gebäudeoberflächen infolge eines direkten Witterungsangriffs (Sturm, Hagel). Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass Pflege- und Wartungskosten extensiver Dachbegrünungen, bodengebundener Fassadenbegrünungen, einfacher wandgebundener Fassadenbegrünungen und Mischformen durch die dargestellten Einsparungen kompensiert werden (Pfoser 2016: 205).

Fehlendes Wissen um Zusatznutzen

Derzeit überwiegen Vorurteile und Hemmnisse noch das Wissen um die Potenziale von Gebäudebegrünungen. Dabei sind die Vorteile, wie folgend beschrieben, vielfältig. Sie liegen in der Gebäudeoptimierung (z. B. Einsparung Kühlkosten, Reduktion Wärmedurchgang, Unterstützung/Entfall Klimageräte, Unterstützung aktiver/passiver Energiegewinnung, Steigerung des Immobilienwertes, Nutzflächenerweiterung, Bauteilschutz) und in der Umfeldverbesserung, wie z. B. wasserwirtschaftliche Aspekte (reduzierte Niederschlagswassergebühr, Reduktion Starkregenereignisse/Reduktion Sturm- und Hagelschäden, Kanalentlastung), der Beitrag zum Klimaschutz (Vermeidung von Überhitzung, Reduktion der Luftbelastung), städtebaulich/freiraumplanerische Gründe (Aufwertung

von Gebäuden und Freiraum, Minderung der Lärmbelastung), und naturschutzfachlicher Aspekte (Eingriffsminimierung, Biotopverbund, Artenvielfalt – erweiterter Lebensraum für Flora und Fauna). In der ganzheitlichen Betrachtung zeigen sich demnach Kosten-/Nutzvorteile nicht nur für den Eigentümer und die Eigentümerin eines begrünten Gebäudes, sondern auch für das Quartier oder das bauliche Umfeld, begründet hauptsächlich aus ökologischen Vorteilen, baulichen Schutzeffekten und einer gesteigerten Aufenthaltsqualität (Pfoser 2016: 71 ff.; ebd. 89 ff.; BUE 2018: 7, 9).

Sorge vor möglichen Schäden am Gebäude

Vorbehalte gegenüber Fassaden- und Dachbegrünungen hinsichtlich Verselbständigung der Pflanzen, Schmutz, Substanzschädigung bis hin zur Durchfeuchtung der Bausubstanz halten sich und werden durch nicht fachgerecht ausgeführte Begrünungen bestätigt. Neben der Klärung der Zielvorstellungen und Umsetzungsstrategien gilt es, Fehlerquellen und die daraus resultierenden Schadensverläufe zu vermeiden (Pfoser 2016: 47).

Die Schadensursachen gliedern sich neben einer vorgeschädigten Bausubstanz in die Kategorien bautechnischer Planungsfehler, ungeeigneter Begrünungsform bzw. Pflanzenwahl sowie mangelhafter bzw. ausbleibender Pflege und Wartung (Pfoser 2016: 48). Schäden sind demnach nicht primär auf die Begrünung selbst zurückzuführen. Daher gilt es vor allem, Widerstände aus Unkenntnis sowie aus fehlerhafter Anwendung auszuräumen, indem die Themen in ihrer botanischen Vielseitigkeit in direktem Zusammenhang mit den heutigen Kenntnissen zur Bautechnik und zum energetischen Bauen dargestellt werden. Eine entsprechend erweiterte interdisziplinäre Planung ist deshalb heute eine unerlässliche Voraussetzung zur vorsorglichen Schadensvermeidung.

Angst vor Ungeziefer

In großem Umfang haben Begrünungsanwendungen mit Vorurteilen der "Ungeziefervermehrung" zu kämpfen (Schlößer 2003: 16 ff.). Umfragen relativieren jedoch diesen Sachverhalt. So werden Aussagen zu Bedenken vor Ungeziefer weitgehend von Bewohnern unbegrünter Gebäude getroffen. Bewohner begrünter Gebäude sprechen sich hier eher positiv aus. Zur Beurteilung wurde der Frage nachgegangen, welche Einstellungen zur Begrünungsanwendung an Gebäudefassaden in der Bevölkerung vorherrschen, und inwieweit diese Art der städtischen Grüngestaltung von den Bürgern und Bürgerinnen beachtet und akzeptiert wird. Hierzu wurden in 24 Stadtteilen von Köln zeitgleich schriftliche Befragungen durchgeführt. Im Ergebnis standen immerhin 84 % der Bewohner von begrünten Häusern und 68 % der Bewohner von unbegrünter Gebäude einer Begrünung spontan positiv gegenüber, ohne Sorge vor Ungeziefer (Schlößer 2003: 91).

Fehlende Gesamtschau

Die wirtschaftliche Optimierung privater Investorenprojekte kann primär auf den Verkaufserlös gerichtet sein. Wo nur der merkantile Gewinn zählt, besteht die Gefahr, dass die Realisierung oft auf einem unteren Qualitätslevel erfolgt. Auch bei großem Begrünungspotenzial besteht kein (über die Mindest Erfüllung der vertraglichen Verpflichtungen hinausgehendes) Engagement des Investors, zusätzliche Ausgaben für die städtische Quartiersqualität oder für ökologische Verbesserungen der Umweltbedingungen im Nahbereich zu tätigen. Hier werden gegebenenfalls höhere Unterhaltungskosten durch Minimierung der Investitionskosten in Kauf genommen. Selbst in städtischen Lagen mit wenig Grün haben Planer – soweit es keine entsprechenden Auflagen oder Ansprüche gibt – derzeit kaum Chancen begrünte Gebäude durchzusetzen. Eine vorausschauende, multiple Faktoren einbeziehende Planung rechnet sich unter den aktuellen Bedingungen noch immer nicht. Das gegenwärtige Bauen fällt aufgrund der primären Fokussierung auf die Investitionskosten – anstelle auf Lebenszykluskosten und die Berücksichtigung der Gebäudeoptimierung und Umfeldverbesserungen durch Dach- und Fassadenbegrünungen – für einen gemeinsam getragenen integrativen Begrünungsanspruch aus. Einzelne additive Begrünungen der Bewohner leisten dort zumindest einen – wenn auch unsystematischen – Beitrag zur ökologischen und gestalterischen Verbesserung (Pfoser 2016: 34 f.; Dettmar/Pfoser/Sieber 2016: 18).

Hemmnisse und Hürden von Seiten der Planenden/Ausführenden

Gestaltung/Architektur vs. „Natur“

Der Lebensraum "Stadt" ist von heterogenem Gebäudebestand und wachsenden Angebots- und Erlebniserwartungen geleitet – deren bauliche Erfüllung ist zudem (mit Ausnahmen) in die Hände rein wirtschaftlich optimierender Interessen gelegt. Wird Architektur nicht im gesamtkonzeptionellen städtischen Zusammenhang gedacht, geraten im Fortschreiten der städtischen Verdichtung Freiraum, Vegetation und Fauna in den Hintergrund.

Der Begriff „Green Building“ ist noch immer dem energieeffizienten Bauen, jedoch nicht zwangsläufig mit Vegetation, vorbehalten.

Die gestalterische Kombination beider Inhalte ist noch selten, wird aber zunehmend Thema. Das kann unterschiedliche Gründe haben. Zum einen ist das städtische Platzangebot begrenzt, zum anderen entwickelt sich eine geänderte ökologische Einstellung und es werden neue bautechnische Umsetzungsmöglichkeiten entwickelt (Pfoser 2016: 31; Fabbrizzi 2003; Graf 2008; Oswalt 1998: 74 f.). Die konzeptionelle Zusammenführung von Architektur und Landschaftsarchitektur ist Basis dieses Gestaltungswegs. Soweit eine Begrünung ausschließlich additiv einem Gestaltungsziel folgt, werden klimatische Vorteile der Pflanzenanwendung ganz nebenbei erreicht. Handelt es sich um einen integrativen Ansatz, sind vielfältige Begrünungsvorteile, wie die Reduktion an Energiebedarf, die Vermeidung oder Unterstützung technischer Verbraucher, Materialschutz und Materialökonomie, Wertsteigerung, die Umfeldverbesserung mit umfassendem Nutzen für die Stadt sowie städtebauliche und freiraumplanerische Qualitäten, wasserwirtschaftliche Argumente, Beiträge zur Klimaanpassung und naturschutzfachliche Aspekte überzeugend. Die in den Vordergrund tretende Erkenntnis der Mehrfachfunktion „Gestaltung/Ökologie/Energie“ hilft bei der Überwindung von Vorurteilen.

Planerischer und konstruktiver Mehraufwand

Der planerische und bauliche Mehraufwand hinsichtlich der Erweiterung des Bauleistungsbereichs und nötiger Abstimmungen mit Fachplanern und Ausführenden (z. B. Vegetations- und Ver-/Entsorgungstechnik, Gebäudestatik, konstruktiver Aufbau) sind vordergründig. Zur Beurteilung der Ressourceninanspruchnahme einer Begrünung ist jedoch eine ökonomische Lebenszyklusbetrachtung zielführend. Die hier relevanten Lebenszyklusphasen umfassen Planungsphase, Herstellungsphase (Materialwahl, Produktion, Transport), Konstruktionsphase (Auslieferung, Baustelleneinrichtung, Montage), Nutzungsphase (Kosten für Betrieb, Pflege und Instandhaltung), Erneuerungsphase (Teilerneuerung, Gesamterneuerung, ggf. Umbau) sowie Rückbau- und Entsorgungsphase (Weiterverwendung, Recycling, energetische Verwertung, Deponie) (Lützkendorf et al. 2013). Der Einfluss von Kosteneinsparungen/ggf. Zugewinn durch Wertsteigerung (z. B. Erhöhung der mietaktiven Fläche als Dachgarten, Magnetwirkung begrünter Gebäude) mögliche Material- und Techniksubstitutionen, Energiebedarfsreduktion und Bauteilschutz/Materiallebensdauererweiterung sind in der Gesamtkonzeption zu berücksichtigen, langfristig abzuwägen und wirken so ausgleichend.

Mangel an Fachwissen zur Planung und Umsetzung/Fachkräftemangel

Eine gelungene Fassadenbegrünung setzt Planung, Ausführung und Pflege nach den aktuellen Regeln der Technik voraus (vgl. FLL-Richtlinie Fassadenbegrünung/FLL-Richtlinie Dachbegrünung). An Gebäudebegrünung interessierte Bauherren und Bauherrinnen sowie Investoren und Investorinnen treffen noch immer auf unzureichend ausgebildete Ratgeber. Eine gleichermaßen zukunftsweisende sowie dem Stand der Technik entsprechende Aufklärung über die heutigen Möglichkeiten findet selten statt. Kosten und Gegenwert (monetärer wie nicht monetärer) können von Bauherren und Investoren nicht abgewogen werden. Überlegungen zu Umweltverantwortung, verantwortlichem Handeln und den eigenen Vorteilen können nicht qualifiziert erfolgen. Bei Bauherren und Investoren bleiben Bedenken (vermeintlich überproportional hoher Kosten bzw. hohe Verlustrisiken infolge von Fehlplanung oder falscher Wartung) aufgrund fehlender Aufklärung bestehen. Bei Beratung, Planung und Ausführung sollte daher die Fachkompetenz der Beteiligten gewährleistet sein (z. B. durch den Nachweis von Referenzen bzw. Referenzobjekten). Dem Fachkräftemangel ist durch eine Stärkung der Begrünungsbranche sowie die Eröffnung neuer Berufsfelder entsprechend der aktuell erweiterten Begrünungslösungen entgegenzuwirken (Pfoser 2016: 34 ff.; Dettmar/Pfoser/Sieber 2016: 17).

Fehlende Abstimmung beim Gewerkeübergang

Die Komplexität von Begrünungen gerade bei Neubauten und bei der Gebäudesanierung (Stichworte Dämmfassade/Umkehrdach) bedarf gleichermaßen einer Steuerung wie einer fachlichen Abstimmung der Gewerke. Auf die Kompetenz von Fachplanern und Fachbetrieben kann bei der Begrünung weder im Bereich der Planung noch bei der Ausführung und Pflege verzichtet werden. Gerade imageprägende Möglichkeiten, wie fassadenüberspannende bodengebundene Begrünungen, wandgebundene Begrünungen, intensive Dachbegrünungen sowie Multifunktionslösungen (z. B. Solargründach, Retentionsgründach, Biodiversitätsdach) setzen die Einbeziehung zusätzlicher Fachkenntnisse und ein positives Verhältnis zu einer interdisziplinären Optimierungsleistung voraus (Pfoser 2016: 34 ff.; Dettmar/Pfoser/Sieber 2016: 17).

Rechtliche Hemmnisse und Hürden

Interessenskonflikte/rechtliche Aspekte

Durch Spezialisierung von Teilgewerken sowie die wachsende Komplexität von Anforderungen und Lösungen nimmt die Zahl der in die Planung rechtzeitig einzubindenden Fachrichtungen, Planungspartner und Behörden zu. Die erforderliche Interdisziplinarität erstreckt sich über den gesamten Prozess von Planung, Ausführung und Instandhaltung. Kommunale Forderungen zur Begrünung setzen rechtzeitige verwaltungsübergreifende Abstimmungen hinsichtlich möglicher Interessenskonflikte voraus, wie z. B. Flächennutzung, Abstandsflächen, Nachbarrecht, Flächenkonkurrenz (z. B. Leitungsinfrastruktur, technische Aufbauten), Brandschutz, Zugänglichkeit (Installation, Pflege, Wartung, Erneuerung, ggf. Rückbau, Haftung). Diese Vorklärunen ermöglichen zugleich eine Unterstützung der Begrünungsabsichten einzelner Bauherren bezüglich der Planung, Fördergesuchen sowie einer Vermeidung von Ausnahmeanträgen.

Zielkonflikte mit technischer Gebäudeinfrastruktur

Technikgläubigkeit, die untergeordnete oder fehlende Berücksichtigung von Gebäudebegrünungen in Zertifizierungssystemen und im Gebäudeenergiegesetz (GEG) können die naturbasierte Lösung Gebäudebegrünung in den Hintergrund stellen. Die zunehmende bauliche Dichte erfordert jedoch alternative Lösungswege. Eine konsequente Durchgrünung und Entsiegelung zur Maximierung der Verdunstungsleistung, um städtischer Überhitzung und Starkregenereignissen entgegenzuwirken, sowie eine maximale Nutzung des Hüllflächenpotenzials von Gebäuden sollten das Leitbild zukünftiger Planungen sein. Die „grüne Stadt“ bildet eine anzustrebende Vision nach der Neuen Leipzig Charta 2021. Ziel sollte es sein, zugunsten von Begrünungen, den Platzbedarf für Gebäudetechnik möglichst zu begrenzen. Multifunktionale Flächenlösungen, auch zur Erhöhung der Biodiversität (z. B. sommerliche Verschattung durch sommergrüne Kletterpflanzen, Solar-Gründächer, Retentionsgründächer, Kombination Gebäudebegrünung und Betriebs-/Prozesswasserklärung) sollten Stand der Technik sein.

Fehlende Auflagen und Förderungen

Städtische Auflagen zur Dach- und Fassadenbegrünung sind heute üblich, zur Fassadenbegrünung neuer Bauvorhaben jedoch eher selten. Obwohl konkrete genehmigungsrelevante Eingriffs- und Ausgleichsberechnungen bei Bauanträgen zur täglichen Routine geworden sind, liegen verlässliche Daten für eine Bewertung der unterschiedlichen Gebäudebegrünungstechniken praktisch nur zur Dachbegrünung und zur traditionellen bodengebundenen Wand- und Fassadenbegrünung vor. Der noch recht junge Datenfundus zu den neuen wandgebundenen Begrünungstechniken lässt eine Definition von Anforderungen und Bewertungskriterien erstmals mit den Forschungsprojekten „Green Pass“ (Pitha/Scharf) und „Wandgebundene Begrünungen – Quantifizierungen einer neuen Bauweise in der Klima-Architektur“ (Köhler/Nistor 2015) zu. Hier besteht dennoch weiterer Forschungsbedarf. Einheitliche steuerliche Anreize zur Förderung der Fassadenbegrünung fehlen ebenfalls noch (Pfoser 2016: 35; Dettmar/Pfoser/Sieber 2016: 18). Bei einer Befragung des Bundesverbands GebäudeGrün e.V. (BuGG) im Jahr 2019 und bei Recherchen im Zeitraum 2019/20 gaben rund 140 von 206 Städten (73 %) an, Festsetzungen zur Dachbegrünung in Bebauungsplänen zu berücksichtigen. 78 Städte (41 %) gaben an, Festsetzungen zur Fassadenbegrünung in Bebauungsplänen zu berücksichtigen. 45 Städte (24 %) gaben an, Fassadenbegrünung direkt zu fördern (BuGG 2019). Das Fehlen von Auflagen und Förderungen wird meist mit dem notwendigen Koordinations- und Organisationsaufwand unterschiedlicher Behörden sowie durch Kapazitätsengpässe zur Überwachung der Vitalität von Begrünungen begründet. Andererseits gewährleistet gerade eine enge Zusammenarbeit von Gebäudebesitzer und Kommune das fachlich gute Gelingen der Maßnahme.

Empfehlungen zur Verminderung der Hemmnisse und Hürden

Die mit einer fehlerfreien Anwendung einhergehende Zunahme der Akzeptanz bei gleichzeitiger Wertschöpfung ist Voraussetzung für eine kontinuierliche Einbeziehung der Begrünung in die künftige Stadtentwicklung und für ihre rechtzeitige Berücksichtigung in die Gebäudeplanung. Die umfassende Systematisierung zu Gestaltungsmöglichkeiten und Anwendungsbedingungen heutiger Begrünungstechniken wirkt gegen Vorurteile, Informationsmangel, Anwendungsfehler aus Unkenntnis und Fehlinvestitionen. Aktuelle Informations- und Simulationslösungen tragen dazu bei, Gebäudebegrünungen zukünftig in größerer Breite als verantwortungsvollen Beitrag der Architektur zu Stadtklima und Stadtbild behördlich vorgeben und planerisch leisten zu können.

Die möglichen Lösungsansätze sind vielfältig, Forderungen sowie direkte und indirekte Förderungen denkbar. Die Bandbreite reicht von gesetzlichen Vorgaben zur Begrünung (konsequente Festschreibung im Bebauungsplan, Auslegung von Bebauungsplänen) über finanzielle Zuschüsse für Planung, Konstruktion, Herstellung (Material

und Einbau), Pflege und Wartung bis hin zu Anreizprogrammen hinsichtlich Klimaanpassung, energetischer Gebäudeoptimierung und wasserwirtschaftlicher Aspekte (z. B. gesplittete Abwassersatzung). In Kapitel 4 und 5 dieser Arbeit werden die Instrumente zur Förderung der Dach- und Fassadenbegrünung detailliert beschrieben.

Darüber hinaus ist die Notwendigkeit von Planungs- und Umsetzungshilfen, die Umsetzung von Vorbildprojekten und die Verstärkung der Öffentlichkeitsarbeit zur Erfolgssicherung zu nennen.

2.6 Zwischenfazit

Es bestehen vielfältige Lösungsmöglichkeiten zur Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen. Je nach Nutzungsziel, den örtlichen baulichen und klimatischen Verhältnissen, Gestaltungsabsicht, Pflegeaufwand und finanziellem Rahmen können individuelle Begrünungslösungen gefunden werden. Neben den häufig ausgeführten reinen Dachbegrünungsformen gibt es inzwischen bewährte multifunktionale Lösungen, wie z. B. das Solar-Gründach oder das Retentions-Gründach. Jede Begrünungsform ist mit Vor- und Nachteilen verbunden. Während sich bspw. eine leichte Extensivbegrünung aufgrund der geringeren statischen Anforderungen besonders für nachträgliche Begrünungen im Bestand eignet und relativ kostengünstig in Herstellung und Pflege ist, bleibt sie in ihrer regenwasserwirtschaftlichen und auch stadtklimatischen Wirksamkeit hinter einer intensiven Dachbegrünung zurück. Auch eine Nutzbarkeit des Daches ist bei einer extensiven Begrünungsform nicht gegeben.

Bestehende Kosten-Nutzen-Betrachtungen zeigen, dass ein extensives Gründach im Vergleich zu einem Kiesdach über den Lebenszyklus kostengünstiger ist. Zwar ist eine Dachbegrünung zunächst mit höheren Investitions- und auch Pflegekosten verbunden, aber durch das Wegfallen der Sanierung der Dachabdichtung nach i. d. R. 20 Jahren und der Gebührenreduktion bei der Niederschlagswassergebühr rechnet sich die Dachbegrünung langfristig. Hervorzuheben ist jedoch, dass die Vorgehensweisen und betrachteten Objekte der verschiedenen Kosten-Nutzen-Betrachtungen so unterschiedlich sind, dass sich die Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichen lassen. Einige weiche Faktoren, wie z. B. Feinstaubbindung, Verdunstungskühlung, Wohnumfeldverschönerung, wurden in den bisherigen Untersuchungen nicht berücksichtigt. Es benötigt eine umfassende, aktuelle und transparente Kosten-Nutzen-Betrachtung zur Dachbegrünung, um eine abschließende Aussage treffen zu können. Zur Fassadenbegrünung konnte nur eine Studie zum Kostenvergleich verschiedener Begrünungsformen aufgezeigt werden, sodass auch hier der Bedarf zur Untersuchung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses besteht.

Im Rahmen der Studie wurde eine Ökobilanzierung von Gründächern nach DIN EN ISO 14040/44 durchgeführt. Um die ökologische Wirkung der Dachbegrünung zu quantifizieren und die Ergebnisse einzuordnen, wurden die bilanzierten Gründächer einem Kiesdach mit Bitumendachbahn und Kiesschüttung als Referenzbauweise gegenübergestellt. Als Ergebnis zeigte sich, dass alle bilanzierten Gründächer inklusive Gutschriften für CO₂-Speicherung und Energieeinsparungen in der Umweltwirkungskategorie Treibhausgaspotenzial besser als die Kiesdächer abschneiden. Bezogen auf das Treibhausgaspotenzial ist die CO₂-Speicherung der Vegetation verglichen zu den Energieeinsparungen für Heiz- und Kühlenergie von geringerer Bedeutung und erzielt je nach Vegetationsform und bilanzierter Dachbauweise ca. 10-15 % der Reduktion des GWP. Weiterer Forschungsbedarf besteht bei der Ökobilanzierung von Fassadenbegrünungen.

Zur Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen bestehen verschiedene Hinderungsfaktoren, denen nur durch gute, fachkompetente Beratung und Planung entgegengewirkt werden kann. Auf der Seite der Bauherrschaft spielen Kostenaspekte von Herstellung und Pflege eine entscheidende Rolle. Eigentümer*innen haben Sorge vor Schäden am Gebäude oder Angst vor Kleintieren und Insekten im Gebäude. Planenden fehlt das notwendige Fachwissen zur Gebäudebegrünung. Auch rechtliche Hemmnisse bestehen. Wichtig ist hierbei eine intensive Aufklärungsarbeit zur Gebäudebegrünung durch die grünen Verbände zum Abbau von Vorurteilen und die Installation von Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen zum Abbau von Wissensmangel.

Die Bereitstellung aktueller Kosten-Nutzen-Betrachtungen und Ökobilanzierungen zur Dach- und Fassadenbegrünung sowie objektiver Informationsbroschüren durch den Bund kann eine Entscheidungshilfe bieten und die Hinderungsgründe zur Umsetzung reduzieren.

3 Zusätzliche Flächenpotenziale der Dach- und Fassadenbegrünung

3.1 Mindestgrößen begrünbarer Flächen

Der Wirkungsbereich von Dach- und Fassadenbegrünungen hängt von der Struktur des Stadtraumes ab. Insbesondere in dicht besiedelten Bereichen, wie Innenstädten, Gewerbegebieten oder bei Blockstrukturen mit Innenhöfen können sie ihre Wirkung vollends zeigen. (Dettmar 2020)

Dach- und Fassadenbegrünung sind am wirkungsvollsten, wenn sie großflächig über ein ganzes Stadtgebiet bzw. einzelne, besonders betroffene Stadtteile (Hot Spots) ausgeführt werden. Einzelne Gründächer oder Fassadenbegrünungen sind nicht dazu in der Lage den Wärmeinseleffekt der ganzen Stadt zu reduzieren oder vor Hochwasser zu schützen.

Dachbegrünung

Dachbegrünung kann bis zu 100 m im Umfeld wirken, wenn sie richtig ausgeführt wird. (Dettmar 2020)

Wenn es die notwendigen Ansprüche an Statik und Wurzelschutz erfüllt, lässt sich fast jedes Dach als Gründach ausführen. Eine Mindestgröße für die Dachfläche kann jedoch nicht genannt werden, dafür sind die örtlichen Bedingungen und die Systemauswahl der Dachbegrünung unterschiedlich. Die Privatperson kann schon mit einer Flächengröße von etwa 18-20 m², das entspricht der Größe eines typischen Carports oder einer Garage, dazu beitragen, dass in dessen Umkreis ein geringer positiver Effekt erzielt werden kann. Insbesondere große Gebäude, die für einen erheblichen Flächenverlust sorgen, sollten begrünt werden, um einen Ausgleich für die verlorengegangene Grünfläche vor Ort zu schaffen. Auch verschattete Bereiche eines Daches lassen sich mit der richtigen Pflanzenauswahl begrünen. Bis zu einer Dachneigung von 45 ° sind Dachbegrünungen ohne Schwierigkeiten umzusetzen. Ab einer Neigung von 15 ° sind zusätzliche Sicherungsmaßnahmen gegen Abrutschen des Dachbegrünungssystems mit einzuplanen.

Fassadenbegrünung

Unabhängig davon, ob es sich um einen schattigen oder sonnigen Standort handelt, oder in welche Himmelsrichtung eine Fassadenbegrünung ausgeführt werden soll, für alle möglichen Positionen können passende Pflanzen gewählt werden. Das Gleiche gilt auch für die Größe einer Fassade. Ab wann und wie stark eine Fassadenbegrünung ihre Wirkung bringt, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie beispielsweise Standort, Größe, Art und Pflegezustand der Begrünung. Fassadenbegrünungen lassen sich nicht nur an Gebäuden verwirklichen, auch andere ungenutzte innerstädtische Strukturen (z. B. Mauern) sollten mitbedacht werden. Die Himmelsrichtung einer Fassadenbegrünung ist ausschlaggebend für die zu verwendende Pflanze. Im Prinzip sind jedoch alle Seiten eines Gebäudes begrünbar und erbringen auch in jede Richtung einen Kühleffekt (Pfoser 2016).

3.2 Gebäudebegrünung und Solaranlagen

Multifunktionale Flächennutzungen rücken aufgrund des dauerhaften baulichen Flächenbedarfes, der Notwendigkeit von städtischen Grünflächen zur Verbesserung des Stadtklimas und einer dezentralen Energiebereitstellung immer mehr in den Vordergrund (Pfoser 2013).

Derzeit liefern mehr als 1,7 Mio. Solaranlagen rund 9 % des in Deutschland produzierten Stroms (Strom-Report 2020). Immer mehr Dächer und Fassaden werden mit Solarstrom ausgestattet. Dabei sollte allerdings auch darauf geachtet werden, dass die Flächenkonkurrenz Begrünung nicht verhindert. Gebäudebegrünungen sorgen für viele positive Wirkungen und bei der Kombination mit Solaranlagen können sich beide Systeme gegenseitig ergänzen. Bestimmte Wirkungen fallen dabei besonders ins Gewicht. Werden zudem auflastgehaltene, also vom Substrat ballastierte, Solar-Gründachsysteme verwendet, ergeben sich weitere Vorteile. Diese werden im folgenden Text erläutert.

Kühleffekte und Ertragssteigerung

Die Leistung der Solar-Module hängt unter anderem auch von der Umgebungstemperatur ab. So kann die Leistung gemäß den Standard-Test-Bedingungen (STC) bei 25 ° C Modultemperatur mit jedem Grad an Temperatursteigerung um bis zu 0,5 % abnehmen (Hegger 2009). Einhergehend mit der Temperaturerhöhung nimmt auch die Leistung aufgrund des erhöhten elektrischen Widerstandes ab. Abhängig von der Sonneneinstrahlung können

sich die Module im Sommer sehr stark aufheizen. Dadurch erfolgt eine Leistungsminderung um mehr als 25 % im Vergleich zur Nennleistung (Weller 2009).

Verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen belegen, dass durch die Verdunstungswirkung von Dachbegrünungen Kühleffekte entstehen können (siehe Tabelle 13). Im Gegensatz zu anderen, sich stark aufheizenden unbegrüneten Oberflächenmaterialien bleibt mit einer Begrünung die Oberflächentemperatur nahe an der Außentemperatur. Der Kühleffekt der Dachbegrünung kann somit dazu beitragen, die Aufheizung der Solar-Module zu mindern. Werden die Begrünungen noch zusätzlich bewässert kann die Wirkung noch gesteigert werden (Pfoser 2013). Die Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Photovoltaik-Anlagen in Kombination mit Dachbegrünungen zeigen eine teilweise deutlich positive Auswirkung auf die Ertragssteigerung (siehe Tabelle 13). Ein genauer Wert bzw. eine Verallgemeinerung der Ertragssteigerung lässt sich aus den Untersuchungen allerdings nicht ableiten, da objektbezogen verschiedene Faktoren (wie z. B. Lage, Gebäudehöhe, Modulverlegung, Windeinflüsse) von Bedeutung sind.

Ergänzend dazu deckten Vegetationsuntersuchungen und -versuche in Zusammenhang mit bifazialen Modulen, d.h. von Modulen, die von beiden Seiten zur Stromerzeugung genutzt werden können, auf, dass vor allem die Verwendung von silberlaubigen Pflanzenarten einen zusätzlichen Effekt auf den Mehrertrag von Photovoltaik-Anlagen haben (Baumann 2018).

Tabelle 13: Untersuchungsergebnisse von Solar-Gründächern (Annika Henke 2017, ergänzt durch Felix Mollenhauer 2020)

Autor, Erscheinungsjahr	Ort der Untersuchung	Klima	Untersuchungsgegenstand	Art der Untersuchung	Mehrertrag der PV-Anlage in %
Köhler et al., 2007	Deutschland, Berlin	gemäßigt	Gründach im Vergleich mit Bitumen	Versuch	6,5
Witmer, 2010	Verschiedene Regionen in Amerika	gemäßigt	Gründach im Vergleich mit schwarzen Untergund	Theorie	0,08
Witmer, 2010	Verschiedene Regionen in Amerika	gemäßigt	Gründach im Vergleich mit weißen Untergund	Theorie	0,55
Wölfl (ZinCo GmbH), 2010	Deutschland, Nürtingen	gemäßigt	Gründach im Vergleich mit Bitumen	Versuch	4
Hui & Chan, 2011	China, Hong Kong	feucht, subtropisch	Gründach im Vergleich mit Bitumen	Theorie	8,3
Perez et al., 2012	Amerika, New York	gemäßigt	Gründach im Vergleich mit Kies	Theorie & Versuch	2,42
Nagengast et al., 2013	Amerika, Pittsburgh	gemäßigt	Gründach im Vergleich mit schwarzem Untergund	Versuch	0,5
Hendarti, 2013	Singapur	tropisch	Gründach im Vergleich mit Beton	Versuch	< 1 - 2
Chemisana & Lemnatou, 2014	Spanien, Lleida	gemäßigt	Gründach im Vergleich mit Kies	Versuch	1,29 - 3,33
Osma et al., 2016	Kolumbien, Santander	tropisch	Gründach im Vergleich mit schwarzem Untergrund	Versuch	2,8
Baumann et al., 2016	Schweiz, Winterthur	gemäßigt	Gründach im Vergleich mit Kies	Versuch	0,7
Baumann et al., 2018	Schweiz, Winterthur	gemäßigt	Vergleich bifazialer Module zwischen silberlaubigen und grünen Pflanzen	Versuch	17 % Mehrertrag bei bei silberlaubigen Pflanzen und hellem Substrat entgegen Standardgründach

Schutz der Dachabdichtung

Im Gegensatz zu unbegrüneten Dachflächen schützt die Dachbegrünung die empfindliche Dachabdichtung nicht nur vor Extremtemperaturen und Hagelschlag, sondern auch vor Trittbelastung bei Wartungsgängen. Die Reparatur- und Sanierungsfähigkeit ist deutlich geringer, wenn die Dachabdichtung durch eine Begrünung geschützt ist. Bei auflastgehaltenen Systemen zur Kombination von Dachbegrünung und Solaranlage sind zudem Dachdurchdringungen oder sonstige Eingriffe in die Dachabdichtung und Gebäudesubstanz nicht notwendig. Damit können kostenaufwändige und schadensanfällige Dachabdichtungsarbeiten vermieden werden (Mann 2020).

Erhöhung der Struktur- und Artenvielfalt auf dem Dach

Durch die Kombination von Solaranlagen und Dachbegrünung kann die Struktur- und Artenvielfalt (Biodiversität) gefördert werden. Die Solar-Module bringen durch ihre Verschattungen partiell andere Licht- und Feuchtigkeitsverhältnisse und damit verschiedene Vegetationsbereiche und Mikrohabitate auf das Dach. Vor den Solarmodulen kann es aufgrund des höheren Wasservorkommens zu einem verstärkten Wachstum kommen, unter den Modulen ist der Bewuchs tendenziell durch den hohen Verschattungsgrad spärlicher, in den Bereichen direkt hinter den Modulen entwickeln sich u. a. höherwüchsige Gräser- und Kräuterarten und in den freien Bereichen ohne Solaranlage treten die typischen, trockenheitsresistenten extensiven Dachbegrünungsarten auf (Mann 2020).

3.3 Bautechnische Voraussetzungen bei der Begrünung von Bestandsbauten

Dach- und Fassadenbegrünungen lassen sich im Neubau bereits im Vorhinein mit einplanen, so können potenzielle Schadfaktoren verhindert werden. Dagegen ist die Umsetzung von Gebäudebegrünungen an Bestandsgebäuden meist an eine Reihe von bautechnischen Bedingungen geknüpft.

Innerhalb einer Untersuchung aus Hamburg kam man zu dem Schluss, dass selbst bei verschiedenen Baualterklassen eine nachträgliche Begrünung prinzipiell möglich ist. Lediglich bei Gebäude, welche zwischen 1919 und 1948 gebaut wurden, wird eine nachträgliche Begrünung nicht empfohlen. Ab den 1960er Jahren sind schon leichte Extensivbegrünungen mit etwas höheren Schichtstärken möglich. Einzelne Gebäude könnten sogar schon mit einer Dachbegrünung mit einem dauerhaften Wasseranstau ausgestattet werden (Kruse 2017).

Folgende bautechnische Voraussetzungen müssen bei Bestandsbauten beachtet werden.

Statische Voraussetzung

Dachbegrünung

Bei einer nachträglichen Aufbringung der Dachbegrünung auf einem Bestandsgebäude muss die Statik in Hinsicht auf die zusätzliche Auflast der Dachbegrünung beachtet werden. In die Last einberechnet werden müssen der Dachbegrünungsaufbau inklusive all seiner Schichten im wassergesättigten Zustand, Schneelast, Sonderbauteile, wie beispielsweise Photovoltaikanlagen oder zusätzliches Retentionsvolumen und bei einer intensiven Nutzung der Dachfläche weitere Lasten für Personen und Fahrzeuge und ggf. Einzelstrukturen wie Bäume, Spielplätze (FLL 2018).

Tabelle 14 zeigt auf, welche Lasten für die verschiedenen Dachbegrünungssysteme in etwa zu beachten sind.

Tabelle 14: Gewichte von Dachbegrünung (Richtwerte)

	Sedum-Moos	Sedum-Moos-Kräuter	Sedum-Kräuter-Gräser	Kräuter-Gräser-Sedum	Gräser-Kräuter
Gewicht kg/m ² (im wassergesättigten Zustand)	ca. 30 - 60	ca. 80 - 100	ca. 100 - 120	ca. 120 - 180	ca. 180 - 220
	Hohe Stauden-Gehölze (Dachgarten)	Rasen	Hohe Stauden-Rasen-Bäume (Tiefgarage)		
Gewicht kg/m ² (im wassergesättigten Zustand)	ca. 300 - 350	ca. 350	ca. 300 - 1200		
	Solar-Gründach*	Biodiversitätsgründach	Retentionsgründach	Urban-farming-Dach	Steildach mit 30 °
Gewicht kg/m ² (im wassergesättigten Zustand)	ca. 110 - 170	ca. 80 - 190	ca. 300 - 1200	ab 300	ca. 100 - 150

Fassadenbegrünung

Sollen Fassadenbegrünungen nachträglich an eine Fassade installiert werden, ist vorab mit einem Begrünungshersteller zu klären, ob die Last der geplanten Begrünung (Tabelle 15) mit der vorhandenen Oberfläche in Einklang gebracht werden kann (Pfoser 2016).

Tabelle 15: Gewichte von Fassadenbegrünung (Richtwerte)

	Bodengebunden ohne Kletterhilfe	Bodengebunden mit Kletterhilfe	Wangebundene Begrünung	Regalbauweise
Gewicht	170 – 2230 kg/Pflanze (2,3)	5 – 30 kg/m ² (1,2,3,4)	30 – 220 kg/m ² (2,3)	450 – 550 kg/lfdm (1,2,3,4)

1. + Spannungszustände von Kletterhilfen: Temperaturwechsel /Dickenwuchses der Kletterpflanzen (insbesondere Starkschlinger)
2. + Windlast (abhängig von Polsterdicke und Exposition – erhöhte Windlast in Gebäuderand-/Eckbereichen)
3. + Gewichte aus Schnee, Eis (an Pflanze /Kletterhilfe /Konsolle – abhängig von örtlichen Bedingungen)
4. + Spannungszustände von Kletterhilfen: Temperaturwechsel /Dickenwuchses der Kletterpflanzen (insbesondere Starkschlinger)

Brandschutz

Dachbegrünung

Intensive Dachbegrünung gilt als „Harte Bedachung“, d.h. als widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme. Für extensive Dachbegrünungen sind spezielle Kriterien notwendig, die erfüllt werden müssen, damit das Dach als brandsicher gilt (FLL 2018). Diese sind:

- ein maximal organischer Anteil von 20 % innerhalb der Vegetationstragschicht
- eine Vegetationstragschicht von min. 30 mm
- dass Gebäudeabschlusswände, Brandwände oder Wände, die anstelle von Brandwänden zulässig sind, in Abständen von maximal 40 m mindestens 0,3 m über das Dach geführt werden müssen.
- dass ein Abstandsstreifen aus Kies oder Platten von mindestens 0,5 m Breite gegenüber Öffnungen in der Dachfläche oder aufgehenden Wänden mit Fenstern auszubilden ist, sobald sich deren Brüstung weniger als 0,8 m oberhalb der Vegetationstragschicht befindet.
- dass bei einander giebelständigen Gebäuden im Bereich der Traufe ein in der Horizontalen gemessener 1 m breiter Streifen unbegrünt bleiben muss und mit Oberflächenschutz aus nichtbrennbaren Baustoffen versehen sein muss.

Fassadenbegrünung

Brandschutztechnisch sind Bauprodukte (d.h. Befestigungssysteme und Rankhilfen) der Fassadenbegrünungen bei den Gebäudeklassen 1-3 ohne Bedenken umzusetzen. Für die Gebäudeklassen 4 und 5 müssen diese als „schwerentflammbar“ gelten. Einheitliche bauordnungsrechtliche Regelungen in Deutschland, wie mit Fassadenbegrünungen brandschutztechnisch umgegangen werden soll, existieren zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht (Engel & Noder 2020). Daher ist der Brandschutz meist objektbezogen zu klären.

Absturzsicherung

Dachbegrünung

Ab 2 m Höhe ist im Regelfall eine Absturzsicherung notwendig. Ausnahmen bilden nur Gebäude, die eine Größe von maximal 50 m² aufweisen (BAuA 2018). Für Dachbegrünungen gibt es verschiedene Lösungen, um dies sicherzustellen. Dazu gehören fest montierte oder auflastgehaltene Geländer oder Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA) in Form von Einzelanschlagpunkten oder Schienensystemen.

Fassadenbegrünung

Die Absturzsicherheit ist für den Einbau und die spätere Pflege zu gewährleisten. Während des Einbaus reicht ein Gerüst aus. Für höhere Fassadenbegrünungen ist die Pflege mit einem Hubsteiger oder mit einem Abseilsystem vom Dach aus notwendig (Pfoser 2016).

Wurzelschutz

Die Grundlage für jede Dachbegrünung ist eine wurzelfeste Dachabdichtung. Wird die Dachbegrünung nachgerüstet, ist zunächst zu prüfen, ob sich bereits eine wurzelfeste Abdichtung auf dem Dach befindet.

Falls ja, ist zu kontrollieren, in welchem Zustand sich diese befindet. Um eine mittelfristige Sanierung zu vermeiden, sollte sie mindestens noch 15 Jahre haltbar sein. Die Wurzelfestigkeit muss auf Basis der FLL-Vorgaben bzw. der DIN EN 13948 („Bestimmung des Widerstandes gegen Durchwurzelung von Bitumen-, Kunststoff und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen“) bewiesen werden.

Weist die Dachabdichtung keinen Wurzelschutz auf, so muss diese durch ein passendes, wurzelfestes Produkt ausgetauscht werden, oder eine zusätzliche Wurzelschutzfolie auf die Dachhaut aufgelegt werden. Eine Hilfestellung gibt die jährlich aktualisierte BuGG-Fachinformation „Wurzelfeste Produkte für begrünte Dächer (BuGG-WBB-Liste) 2020“.

Dachneigung

Die Dachneigung sollte bei der Nachrüstung nicht außer Acht gelassen werden. Innerhalb einer Bestandsaufnahme wurden v. a. flache Dächer als sehr geeignet eingestuft. Je steiler die Dächer, desto schwieriger wird das Nachrüsten einer Dachbegrünung. Bei Steil- oder Schrägdächern muss genau geprüft werden, ob sich diese überhaupt begrünen lassen. Meist sind dies Ziegeldächer, bei denen keine Begrünung möglich ist. Jedoch handelt es sich flächentechnisch beim Großteil der Bestandsdächer (58 %) ohnehin um Flachdächer, die sich zu meist begrünen lassen (Mann et al. 2020).

Nichtsdestotrotz funktionieren Dachbegrünungen auch auf Schrägdächern bis zu einer maximalen Steigung von 45°. Ab 10 bis 15° Neigung sind zusätzliche Sicherungsmaßnahmen gegen Abrutschen des Begrünungsaufbaus notwendig, solange das Dach eine Begrünung statisch zulässt.

3.4 Zielkonflikte: Mecoprop und Aluminium

Mecoprop

Gemäß FLL-Dachbegrünungsrichtlinien:

- müssen die Stoffe innerhalb des Dachbegrünungsaufbaus aufeinander abgestimmt und chemisch verträglich sein.
- dürfen die eingesetzten Stoffe weder durch Auswaschung noch durch Entweichen von gasförmigen Stoffen umweltbelastende Wirkungen auslösen.
- müssen die Vorgaben und Grenzwerte der Düngemittelverordnung (DüMV) bei den Substraten der Dachbegrünungen beachtet werden.
- dürfen die Stoffe keine pflanzenschädigenden (phytotoxischen) Bestandteile enthalten.

Auf begrünten Dächern wird im Regelfall eine Dachabdichtung mit Wurzelschutz benötigt. Vor allem wurzelfeste Polymerbitumenbahnen sind bewährt, so dass sie diesen Zweck zuverlässig erfüllen. Zur Gewährleistung des Durchwurzelungsschutzes werden diese jedoch mit einem chemischen Durchwurzelungsschutzmittel (Herbizid) versetzt. Meist wird dafür der Wirkstoff Mecoprop eingesetzt (BMI 2020). Dieser sorgt dafür, dass die Wurzelspitze verhornt und ein Weiterwuchs an dieser Stelle verhindert wird. Untersuchungen konnten jedoch belegen, dass durch die natürliche Witterungsbedingungen Mecoprop zu bestimmten Mengen ausgewaschen wird und dadurch zu Emissionen im Dachabwasser führen kann (Burkhardt et al. 2008). Folgende wichtige Erkenntnisse wurden u. a. innerhalb verschiedener aktuellerer Untersuchungen gewonnen:

- Mecoprop tritt im Dachabfluss von neuen wurzelfesten Bitumenbahnen in sehr hohen Konzentrationen über dem Grenzwert von 0,1 µg/l für Grund- und Oberflächengewässer und Trinkwasser auf (Matzinger et al. 2017; Riechel et al. 2015).
- Der Mecoprop-Austrag eines 18 Jahre alten Gründaches mit Bitumenabdichtung zeigt meist Konzentrationen über dem Grenzwert von 0,1 µg/l (Schubert et al. 2015).

Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt und das Landesamt für Gesundheit und Soziales in Berlin veröffentlichten bereits 2013 auf den damaligen vorliegenden Erkenntnissen und Untersuchungsergebnissen ein Hinweisblatt zur Verwendung von wurzelfesten Bitumenbahnen. Eine Aktualisierung der Handlungsempfehlungen mit den neusten Forschungsergebnissen ist bereits geplant. Hier werden wurzelfeste Bitumenbahnen unter Berücksichtigung der anerkannten Regeln der Technik nur dann empfohlen, wenn sie aus bautechnischen

Gründen zwingend erforderlich sind. Was unter „bautechnischen Gründen“ genau zu verstehen ist, wurde jedoch nicht benannt. Eine bauordnungsrechtliche Relevanz hat dieses Hinweisblatt nicht.

Nach den neuesten Erkenntnissen werden folgende Empfehlungen gegeben (Matzinger et al. 2017):

- Bitumenbahnen mit chemischem Durchwurzelungsschutz sind zu vermeiden.
- Abdichtungen mit einem physikalischen Durchwurzelungsschutz sind vorzuziehen.
- Bei der Verwendung eines chemischen Durchwurzelungsschutzes ist der Dachabfluss ungeeignet für eine Bewässerung von Grün- und Freiflächen.
- Die Verwendung von mit Mecoprop belastetem Dachabfluss kann als Betriebswasser für die Toilettenspülung oder die Gebäudekühlung genutzt werden.
- Die Versickerung in Anlagen ohne Bodenpassage ist zu vermeiden.

Am 18.04.2019 erarbeitete das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) ein Gutachten zum Einbau von Bitumenbahnen „Wurzelschutzbahn“ für die Verwendung als Dachabdichtungsbahn bei Dachbegrünungen mit Wurzelschutzmittel. Ziel war es, beurteilen zu können, ob die Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Gewässer (ABuG) gemäß MVV TB 2017/1 eingehalten werden. Die dabei geprüften Bitumenbahnen enthielten die Wurzelschutzmittel Mecoprop-P-n-octylester oder Mecoprop-P-2-ethylhexylester.

Zunächst wurde bewiesen, dass sich keine gefährlichen Inhaltsstoffe (Stoffe, klassifiziert als Carc. 1A und/oder 1B, Muta. 1A und/oder 1B, s Repr. 1A und/oder 1B) in den Produkten befinden. Außerdem wird bestätigt, dass durch Einbau der Produkte die bauaufsichtlichen Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Grundwasser, im Falle der Versickerung des Dachablaufwassers, erfüllt werden. Keine der untersuchten Abdichtungsbahnen haben beim komultierten Mecoprop-Austrag nach 64 Tagen den vom DIBt vorgegebenen Grenzwert von 47 mg/m² überschritten.

Des Weiteren befinden sich derzeit ein Leitfaden und Steckbriefe mit Handlungsempfehlungen zu diesem Schwerpunkt vom Umweltbundesamt in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum Wasser Berlin, der Ostschweizer Fachhochschule und Berliner Wasserbetriebe in Arbeit. Innerhalb des Forschungsprojektes „Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt“ wurde u. a. der Mecoprop-Austrag in mehreren Labor- und Feldversuchen ermittelt. Die Veröffentlichung der genannten Broschüren ist für Anfang 2021 geplant (KWB 2020).

Das Baustoffinformationssystem WECOBIS, betrieben vom BMI und der Bayerischen Architektenkammer, empfiehlt, dass bei Dachbegrünungen keine Dichtungsbahnen oder Schutzschichten mit chemischem Wurzelschutz verwendet werden sollen. Eine mögliche Alternative sind Polyolefin-Dichtungsbahnen, die ohne chemischen Wurzelschutz auskommen oder eine zusätzliche wurzelfeste Schutzfolie über der Abdichtungsbahn (BMI und BYAK 2021).

Biozidfreie wurzelfeste Bitumenbahnen befinden sich fortwährend in der Weiterentwicklung und eine breite Auswahl an Standardprodukten ist absehbar. Alternativen für ein biozidfreies Gründach können zudem durch den Einsatz von Produkten auf EPDM- oder FPO-Basis oder einer zusätzlichen reinen Wurzelschutzbahn aus biozidfreiem, wurzelfestem PE/PELD auf der biozidfreien Polymerbitumenbahn erreicht werden (BMI 2020).

Aluminium

Aufgrund der Rohstoffproduktion versuchen einige Städte (bekannt sind München und Leipzig) den Einsatz von Aluminium zu vermeiden. Auf Gründächern werden oftmals Aluminium-Kiesleisten eingebaut. Hersteller haben dahingehend schon reagiert und stellen diese Leisten zu großen Teilen bereits aus recyceltem Aluminium her, sodass die Ressourcen geschont werden können. Alternativ werden herstellerbezogen auch Kiesfangleisten aus recyceltem Kunststoff angeboten. Grundsätzlich kann aber auch auf Kiesfangleisten bei Gründächern verzichtet werden. Diese haben vor allem die Funktion einer sauberen Trennung zwischen Kiesstreifen und Begrünung, wodurch die Pflege vereinfachter wird.

3.5 Zwischenfazit

Dach- und Fassadenbegrünung sind am wirkungsvollsten, wenn sie großflächig über ein ganzes Stadtgebiet bzw. einzelne, besonders betroffene Stadtteile (Hot Spots) ausgeführt werden. Dachbegrünungen können bereits auf

Kleinstflächen wie Mülltonnenhäuschen, Bushaltestellen oder Garagen/ Carports hergerichtet werden. Aber insbesondere große Gebäude, die für einen erheblichen Grünverlust sorgen, schaffen bei Begrünung einen Ausgleich vor Ort. Auch bei der Fassadenbegrünung sind großflächige Anlagen wirkungsvoller als Einzelbegrünungen. Neben Gebäuden können auch Mauern, Sichtschutz- und Lärmschutzwände zur Begrünung herangezogen werden.

Dach- und Fassadenbegrünungen lassen sich im Neubau bereits im Vorhinein mit einplanen. Dagegen ist die Umsetzung von Gebäudebegrünungen an Bestandsgebäuden meist an eine Reihe von bautechnischen Bedingungen geknüpft. Hierzu gehören Statik, Brandschutz, Wurzelschutz, Absturzsicherung und Dachneigung. Im Bestand handelt es sich grundsätzlich um Einzelfallprüfungen, als ausschlaggebender Faktor für oder gegen eine Begrünbarkeit ist die Statik zu nennen. In der Regel wird im Bestand nachträglich extensiv begrünt.

Um eine Konkurrenzsituation zwischen Gründach und alternativer Energiegewinnung mit PV-Anlagen oder Solarthermie auf der Dachfläche zu verhindern, bildet das Solar-Gründach eine Kompromisslösung für Klimaschutz- und Klimaanpassungsbestrebungen. Zu den Vorteilen des Systems gehört die leichte Ertragssteigerung der PV-Anlage durch Kühleffekte von 0,5-17 %, der Schutz der Dachabdichtung vor Witterungseinflüssen, der Regenwasserrückhalt und die Förderung der urbanen Flora und Fauna. Nachteilig ist hingegen die geringere Flächenauslegung mit PV und der erhöhte Pflegeaufwand bei der Dachbegrünung. Das Solar-Gründach als Kombinationslösung ist zudem kostenintensiver in der Herstellung und bedarf einer höheren Statik als nur eine der Maßnahmen. Eine allgemeine PV-Pflicht wird aus Sicht der Gebäudebegrünung kritisch gesehen. Eine Begrünung des Daches sollte aufgrund der vielfältigen Vorteile, insbesondere aufgrund des Regenwasserrückhalts, auch bei einer allgemeinen PV-Pflicht möglich sein. Hierauf ist auf Bundesebene zu achten.

Auf begrünten Dächern wird eine Dachabdichtung mit Wurzelschutz benötigt. Zur Gewährleistung des Durchwurzelungsschutzes werden die Dachabdichtungen mit einem chemischen Durchwurzelungsschutzmittel (Herbizid), u. a. Mecoprop, versetzt. Um einen Austrag von Herbiziden zu vermeiden, werden mittlerweile Dichtungsbahnen oder Schutzschichten ohne chemischen Wurzelschutz empfohlen. Verschiedene Alternativen sind auf dem Markt bereits erhältlich und biozidfreie wurzelfeste Bitumenbahnen befinden sich fortwährend in der Weiterentwicklung. Auch im Bereich der Aluminium-Kiesleisten werden von den Herstellern alternative Materialien angeboten, um eine weitere Verwendung von Aluminium zu bremsen.

4 Instrumente zur Förderung der Dach- und Fassadenbegrünung

Die Dach- und Fassadenbegrünung gewinnt im Rahmen einer klimaangepassten und wassersensiblen Stadtentwicklung bundesweit an Bedeutung, denn sie bietet einen Mehrfachnutzen für die Stadt. Auf kommunaler Ebene kann die Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünung durch verschiedene Instrumente gefördert werden, die sich in ihrem Wirkungsbereich, ihrer Verbindlichkeit und ihrem finanziellen Aufwand für die Stadt unterscheiden. Ansel et al. (2012) kategorisieren die unterschiedlichen Förderinstrumente in drei Bausteine:

- Baustein 1: Fordern (Festsetzung in Bebauungsplänen und Vorgaben in Gestaltungssatzungen)
- Baustein 2: Fördern (direkt über Förderprogramme und indirekt über die gesplittete Abwassergebühr)
- Baustein 3: Informieren (Öffentlichkeitsarbeit)

Zudem bestehen verschiedene Bewertungssysteme des Nachhaltigen Bauens, die Anreize zur Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünung bieten. In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Förderinstrumente kurz vorgestellt, ihre aktuelle Berücksichtigung in deutschen Städten skizziert und eine Bewertung vorgenommen. Das Instrument „Förderprogramme“ wird in Kapitel 5 detailliert betrachtet.

4.1 Berücksichtigung in der verbindlichen Bauleitplanung

Ziel der Bauleitplanung ist nach dem Baugesetzbuch (BauGB) eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung, die unter anderem die Sicherung einer menschenwürdigen Umwelt, den Schutz und die Entwicklung der natürlichen Lebensgrundlagen sowie die Förderung des Klimaschutzes und der Klimaanpassung einschließt (vgl. § 1 Abs. 5 BauGB). Es gibt zwei Arten von Bauleitplänen: Den Flächennutzungsplan als vorbereitenden Bauleitplan und den Bebauungsplan (B-Plan) als verbindlichen Bauleitplan. Die Bauleitpläne sind nach § 2 Abs. 1 BauGB von der Gemeinde in eigener Verantwortung aufzustellen. Der B-Plan wird durch Satzung beschlossen und schafft Baurecht bei Neubauvorhaben oder bei baulichen Änderungen in einem bestimmten Geltungsbereich (beplanter Innenbereich) einer Gemeinde.

Sowohl die Dach- als auch die Fassadenbegrünung können innerhalb von B-Plänen aus bestimmten städtebaulichen Gründen festgesetzt werden. Als rechtliche Grundlage zur Festsetzung können je nach Zielsetzung zum einen § 9 Abs. 1 Nr. 20 sowie Nr. 25a, b BauGB dienen und zum anderen länderspezifische Bauordnungen und Landeswassergesetze in Verbindung mit § 9 Abs. 4 BauGB hinzugezogen werden. Für die Kombination von Dachbegrünung mit Anlagen zur solaren Energiegewinnung (als sogenanntes Solar-Gründach) ist eine Festsetzung nach § 9 Abs. 1 Nr. 25a in Verbindung mit Nr. 23b BauGB möglich.

Im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) nach dem UVP-Gesetz kann die Dach- und Fassadenbegrünung zur Verminderung von Umweltauswirkungen eines Vorhabens anerkannt und vorgeschlagen werden (z. B. bei der Aufstellung eines B-Plans). Wird jedoch ein vereinfachtes Verfahren nach § 13 BauGB angewendet, kann die UVP ausgesetzt werden. Bei zu erwartenden erheblichen Beeinträchtigungen der Schutzgüter nach dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) können Dach- und Fassadenbegrünungen auf Basis der Eingriffsregelung als Ausgleichsmaßnahmen im B-Plan festgesetzt werden. Auch in städtebaulichen Verträgen zwischen Kommunen und Privatpersonen oder -unternehmen nach § 11 BauGB können Dach- und Fassadenbegrünungen zum Ausgleich vereinbart werden.

Vorteil des B-Plans ist die hohe Verbindlichkeit der Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünung durch die Bauherrschaft. Nachteil dieses Förderinstrumentes ist der geringe Wirkungsbereich innerhalb des Gemeindegebiets, da der B-Plan durch seinen kleinen Geltungsbereich räumlich begrenzt ist (Ansel et al. 2012).

Ergebnisse der Städteumfragen von FBB-NABU und BUGG zur Verwendung des Förderinstruments „Festsetzung in B-Plänen“

Um einen Eindruck über die Verwendung der Förderinstrumente zur Dach- und Fassadenbegrünung auf kommunaler Ebene zu erhalten, startete der Vorgängerverband des Bundesverbands GebäudeGrün e.V. (BuGG), die Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB), zusammen mit dem Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) 2010 eine Umfragereihe, die seit 2019 vom BuGG weitergeführt wird. Bei den Umfragen von FBB und NABU wurden alle deutschen Städte mit mehr als 10.000 Einwohnenden angeschrieben (1.499 Städte). Die Quote der Rückmeldungen variierte zwischen 27 und 39 %. Im Jahr 2010 konnte als Ergebnis für das Förderinstrument „Festsetzung in B-Plänen“ festgehalten werden, dass 34 % der Städte Dachbegrünung und 32 % der Städte Fassadenbegrünung in B-Plänen festsetzen. Bei der Umfrage im Jahr 2016/2017 gaben bereits 53 % der

Städte an, Dachbegrünungen (zumindest bei einzelnen Projekten) festzusetzen, sodass hier eine deutliche Steigerung zu beobachten ist. Fassadenbegrünungen wurden 2016/2017 hingegen ähnlich wie 2010 von 34 % der Städte festgesetzt (Mann et al. 2020 und siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Ergebnisse der Städteumfragen zur Festsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen in B-Plänen von 2010 bis 2019/2020 (Mann et al. 2020)

	FBB-NABU Umfrage 2010	FBB-NABU Umfrage 2012	FBB-NABU Umfrage 2014	FBB-NABU Umfrage 2016/17	BuGG Umfrage 2019	BuGG Umfrage 2019 + Recherche 2019/20
Anzahl der angeschriebenen Städte	1.499 (>10.000 EW)	1.499 (>10.000 EW)	1.499 (>10.000 EW)	1.499 (>10.000 EW)	700 (>20.000 EW)	191 Anzahl der (>50.000 EW)
Anzahl der Rückläufe (= n)	579 (39 %)	564 (38 %)	510 (34 %)	400 (27 %)	199 (28 %)	
Festsetzung von Dachbegrünung in B-Plänen	198 (34 %)	208 (37 %)	202 (39 %)	213 (53 %)	133 (67 %)	140 (73 %)
Festsetzung von Fassadenbegrünung in B-Plänen	188 (32 %)	187 (33 %)	172 (34 %)	135 (34 %)	89 (45 %)	78 (41 %)

Bei der BuGG-Umfrage 2019 wurden alle Städte mit mehr als 20.000 Einwohnenden angeschrieben (700 Städte), von denen sich ca. 28 % zurückmeldeten. Dabei zeigte sich, dass 67 % der Städte Dachbegrünung und 45 % der Städte Fassadenbegrünung in B-Plänen festsetzen. Für den „BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2020“ wurden die Umfragedaten aller Städte mit mehr als 50.000 Einwohnenden (191 Städte) durch intensive Recherchen erweitert, damit ein umfassendes Bild zur Förderung der Dach- und Fassadenbegrünung in Deutschland entsteht. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass bereits 73 % der Städte Dachbegrünung und 41 % der Städte Fassadenbegrünung in B-Plänen festsetzen (Mann et al. 2020).

Anhand der Umfrageergebnisse lässt sich erkennen, dass die Festsetzung von Dachbegrünung in B-Plänen im Vergleich zur Fassadenbegrünung deutlich häufiger durchgeführt wird. Besonders bei vielen größeren Städten findet das Förderinstrument „Festsetzung in B-Plänen“ bereits eine Anwendung. Entwicklungspotenziale bestehen hingegen bei der Festsetzung von Fassadenbegrünung in B-Plänen allgemein.

Festsetzung von Dachbegrünung in Bebauungsplänen in der aktuellen Planungspraxis

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Rechtsanwendung in der Bauleitplanung, Umgang mit Zielkonflikten im Bereich der Innenentwicklung“ der Hochschule Osnabrück führten Eichholz et al. (2020) eine Dokumentenanalyse von 87 B-Plänen (Innenentwicklungsprojekte) aus 23 Großstädten sowie eine Onlinebefragung durch, um Erkenntnisse zur Festsetzung von Dachbegrünung in der aktuellen Planungspraxis zu erhalten. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass bei 53 B-Plänen und somit 61 % eine Form der Dachbegrünung festgesetzt wurde. Bei 17 % (von 53 B-Plänen) handelt es sich um die Festsetzung einer intensiven Dachbegrünung, bei 77 % (von 53 B-Plänen) um die Festsetzung einer extensiven Dachbegrünung und bei 72 % (von 53 B-Plänen) um die Festsetzung einer Tiefgaragenbegrünung (Eichholz et al. 2020). Mehrfachnennungen sind hierbei möglich. Anhand dieser Analyse zeigt sich, dass in der aktuellen Planungspraxis die intensive Dachbegrünung im Verhältnis zur extensiven Dachbegrünung nur einen untergeordneten Stellenwert einnimmt. Mit Blick auf die Nachverdichtung wachsender Städte und den dort steigenden Verlust an innerstädtischen Frei- und Grünflächen bildet die klimatisch wirksamere Intensivbegrünung, auch als alternative Erholungs- und Freizeitfläche, hier ein großes Potenzial und sollte in der verbindlichen Bauleitplanung zukünftig stärker berücksichtigt werden.

Als Begründung der Festsetzung wurde nach Eichholz et al. (2020) am häufigsten die Stärkung des Stadtklimas (79 %) angeführt, gefolgt von der Regenwasserbewirtschaftung (68 %) und der Durchgrünung (60 %). Seltener wurde die Dachbegrünung als Erholungs- und Freizeitfläche (34 %) oder als Beitrag zum Arten- und Biotopschutz (32 %) festgesetzt. Weitere Begründungen siehe Abbildung 9.

Damit neben der „hochwertigen“ Intensivbegrünung auch eine „einfache“ Extensivbegrünung die gewünschten Wirkungen erzielt, ist auf eine entsprechend qualitative Ausführung in Bezug auf Substrathöhe, Pflanzenauswahl und Mindestgrünanteil zu achten. Eichholz et al. (2020) legen hierzu nahe, Qualitätsanforderungen in der Festsetzung zur Dachbegrünung zu definieren, die den jeweiligen Zielsetzungen entsprechen. Denn die Dokumen-

tenanalyse ergab, dass „[...] teilweise große Differenzen zwischen den formulierten Zielen und den textlich festgesetzten Qualitätsanforderungen [...]“ (Eichholz et al. 2020: 21) bestehen. Wichtig ist daher die Schulung der zuständigen Stellen zu Aufbau und Wirksamkeit einer qualitativ hochwertigen Dachbegrünung.

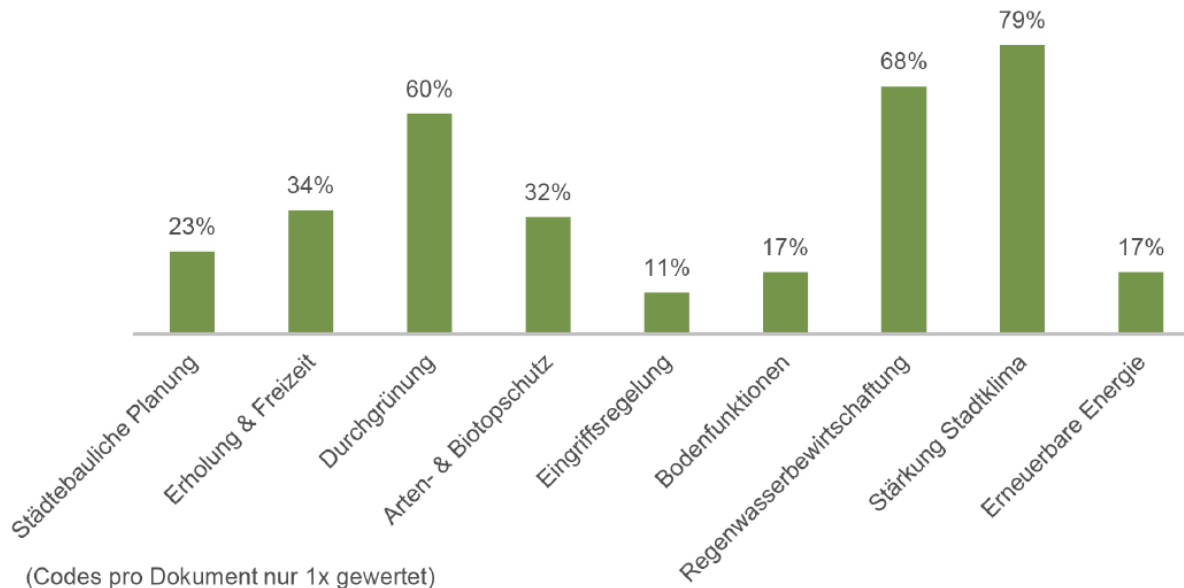


Abbildung 9: Prozentuale Anteile unterschiedlicher Begründungen bei der Festsetzung der Dachbegrünung in B-Plänen (n=53) (Eichholz et al. 2020)

Festsetzung von Fassadenbegrünung in Bebauungsplänen in der aktuellen Planungspraxis

Mann et al. (2020) stellen anhand einer Betrachtung einiger aktueller Festsetzungen in Bebauungsplänen zur Fassadenbegrünung fest, dass in der Regel bodengebundene Fassadenbegrünungen gefordert werden, die Bedingungen zur Begrünung von Stadt zu Stadt aber stark variieren. Als bestimmende Parameter für eine Begrünung erwiesen sich die Ausrichtung der Fassade, die Größe der Fassade sowie vorhandene Fenster oder Öffnungen. Als Richtwerte der Festsetzungen konnten die Anzahl Pflanzen pro Wandlänge, der prozentual zu begrünende Anteil der Fassadenfläche oder eine zu begrünende Mindestfläche genannt werden.

Um die Wirksamkeit der festgesetzten Fassadenbegrünungen durch ausreichende Qualitätsanforderungen zu sichern, ist die Erarbeitung von Musterformulierungen für Städte wichtig. Eine detaillierte Untersuchung zur Festsetzung von Fassadenbegrünung in der aktuellen Planungspraxis ist bislang noch nicht bekannt, sodass an dieser Stelle weiterer Forschungsbedarf besteht.

Verhältnis zwischen Festsetzungen im B-Plan und der Nutzung eines Förderprogramms

In der Regel wird für Maßnahmen, die bau- oder naturschutzrechtlich gefordert werden (z. B. als Festsetzung in einem B-Plan), entsprechend der einschlägigen Förderrichtlinie keine kommunale Förderung gewährt (Ansel et al. 2012). Voraussetzung für eine Förderung ist demnach die freiwillige Umsetzung der Maßnahmen. In manchen Förderprogrammen besteht jedoch die Möglichkeit, Maßnahmen zu fördern, die über die bau- oder naturschutzrechtlichen Verpflichtungen hinausgehen. Als Beispiel ist hier die „Hamburger Gründachförderung“ (Förderrichtlinie von 2020) zu nennen.

4.2 Vorgaben in Gestaltungssatzungen

Als weiteres forderndes Instrument können zur Dach- und Fassadenbegrünung Vorgaben im Rahmen von kommunalen Gestaltungssatzungen gemacht werden. In den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Bremen, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Schleswig-Holstein und Thüringen können Gemeinden entsprechend ihrer Landesbauordnungen in einer Satzung örtliche Bauvorschriften erlassen, die gestalterische Anforderungen an bauliche Anlagen definieren. Ihr Wirkungsbereich kann sich auf den gesamten Innenbereich einer Gemeinde beziehen oder auf Teile des Innenbereichs und sowohl für Neubauvorhaben als auch für Umbaumaßnahmen und Sanierungen im Bestand gelten. Die Dach- und Fassadenbegrünung kann unter dem Punkt „Begrünung baulicher Anlagen“ in einer Gestaltungssatzung verankert werden (vgl. § 86 Abs. 1 Nr. 7 Musterbauordnung). Sie ist in der Regel Teil einer kommunalen Begrünungs- oder Freiflächensatzung, in der auch qualitative Anforderungen an die Begrünung festgesetzt werden können (Qualitätskriterien).

Vorteil der Gestaltungssatzung gegenüber einem B-Plan ist der größere Wirkungsbereich (auch der nicht geplante Innenbereich). Auch eine Gestaltungssatzung ist rechtlich bindend, stellt jedoch geringere Anforderungen an die Begrünung als die Festsetzung im B-Plan oder wird erst ab einer bestimmten Größe der Dachfläche verpflichtend (Ansel et al. 2012). Während eine Festsetzung zur Dach- oder Fassadenbegrünung objektspezifisch auf den Gebäudetyp und die baulichen Gegebenheiten abgestimmt werden kann, gilt eine Gestaltungssatzung i. d. R. flächendeckend über das Gemeindegebiet und muss umsetzbare Bestimmungen für alle Gebäudetypen und auch Sanierungen im Bestand bieten.

Auszug aus dem BuGG-Marktbericht Gebäudegrün 2020 zur Dach- und Fassadenbegrünung in Gestaltungssatzungen

Das Förderinstrument „Gestaltungssatzung“ wird von deutschen Städten mit mehr als 50.000 Einwohnenden bisher nur vereinzelt genutzt (Mann et al. 2020). Als Ergebnis der BuGG-Recherche konnten sieben Städte festgehalten werden, die innerhalb einer Gestaltungssatzung Vorgaben zur Dachbegrünung (Tiefgaragenbegrünungen ausgenommen) machen und nur zwei Städte, bei denen Gestaltungsvorgaben zur Fassadenbegrünung bestehen. In der folgenden Tabelle 17 wird je ein Beispiel zu Dach- und Fassadenbegrünung in Gestaltungssatzungen vorgestellt.

Tabelle 17: Beispiele zu Gestaltungssatzungen zur Dach- und Fassadenbegrünung (aus Mann et al. 2020)

Stadt	Bezeichnung der Satzung	in Kraft getreten am	Gestaltungsvorgaben
Dachbegrünung			
Aachen	Grün- und Gestaltungssatzung	12.07.2017	§ 6 Gestaltungsvorgaben für Flachdächer (1) Diese Regelung gilt für Flachdächer von sämtlichen Gebäuden außer von Tiefgaragen. (2) Definition: Flachdächer sind Dächer mit einer Neigung von bis zu 10°. Die Dachfläche schließt das Gebäude nach oben (horizontal) ab und trennt somit den Außenraum vom Innenraum. Sie ergibt sich aus der Fläche, die durch die Dachkanten definiert wird. Die Dachkanten ergeben sich durch die Schnittstellen der Gebäudeaußenkante mit der Dachhaut. (3) Eine Dachbegrünung ist die Bepflanzung eines Gebäudedachs. Zur Dachbegrünung gehören der Unterbau, das Substrat und die Pflanzen. (4) Ab einer Dachfläche von 200 m ² müssen Flachdächer flächig und dauerhaft begrünt werden. Die begrünte Fläche muss mindestens 60 % der Gesamtdachfläche betragen. (5) Gebäude mit Dachstellplätzen sind von dieser Regelung ausgenommen.
Fassadenbegrünung			
Speyer	Begrünungssatzung	01.01.2019	§ 4 Begrünung 4. Großflächige, fensterlose Fassaden und Fassadenteile baulicher Anlagen sind ab einer Größe von 25 m ² mit hochwüchsigen, ausdauernden Kletterpflanzen zu begrünen. Vorzugsweise sind selbstklimmende Pflanzen zu verwenden, alternativ sind Kletterhilfen mit Seilen oder Gerüsten sowie bepflanzte Systemlösungen möglich. Als geeignet gelten insbesondere Industrie- und Gewerbegebäude.

Zur Dachbegrünung lässt sich festhalten, dass die Gestaltungsvorgaben v. a. für Flachdächer und flach geneigte Dächer gelten und bei allen Satzungen eine Mindestgröße der Dachfläche zur verbindlichen Begrünung angegeben wird (10 m² bis 200 m²). Nur bei drei Städten fanden sich Vorgaben zur Mindestdicke der Substratschicht

oder der durchwurzelbaren Gesamtschicht (min. 10 cm). Während in Bremen, München und Meerbusch die Begrünungspflicht zu Gunsten von Energiegewinnungsanlagen auf den Dachflächen entfallen kann, weist Speyer als einzige Stadt darauf hin, dass sich Photovoltaik und Dachbegrünung nicht gegenseitig ausschließen, sondern kombinierbar sind. Aus Sicht der Begrünung ist dies eine wichtige Formulierung, um die Verdrängung der Begrünung vom Dach und somit den Verlust der vielfältigen Vorteile für die Stadt zu vermeiden. Die Qualität einer intensiven Dachbegrünung wird in keiner der aufgeführten Gestaltungssatzungen gefordert.

In den zwei Gestaltungssatzungen mit Vorgaben zur Fassadenbegrünung sind zwei Parallelen zu erkennen. So fordern beide die bodengebundene Begrünung großflächiger Außenwände mit Kletterpflanzen und sehen v. a. Industrie- und Gewerbegebäude als geeignet an. Eine wandgebundene Fassadenbegrünung wird nicht gefordert. Aufgrund der geringen Anzahl der betrachteten Gestaltungssatzungen lassen sich keine allgemeinen Aussagen treffen.

Deutschlandweit wird das Förderinstrument „Gestaltungssatzung“ bei weitem noch nicht so häufig verwendet, wie die „Festsetzung in B-Plänen“. Hier besteht noch großes Potenzial, um die Dach- und Fassadenbegrünung zukünftig großflächig sowohl bei Umbaumaßnahmen und Sanierungen im Bestand als auch bei Neubauvorhaben im unbeplanten Innenbereich fördern. Im beplanten Innenbereich ist jedoch festzuhalten, dass eine Festsetzung im B-Plan aufgrund der prioritären Verbindlichkeit eine höhere Wirkung erzielt. Wie bei den Festsetzungen in B-Plänen sollte bei den Gestaltungsvorgaben auf eine hohe qualitative Ausführung der Begrünung geachtet werden, um die Wirksamkeit der Maßnahmen sicherzustellen.

Verhältnis zwischen Vorgaben in einer Gestaltungssatzung und der Nutzung eines Förderprogramms

Da es sich bei den Vorgaben zur Dach- und Fassadenbegrünung in einer Gestaltungssatzung um eine baurechtliche Forderung bzw. Verpflichtung handelt, wird für die Maßnahmen in der Regel keine kommunale Förderung gewährt (Ansel et al. 2012). Voraussetzung für eine Förderung ist in den meisten Förderprogrammen die freiwillige Umsetzung der Maßnahmen. In manchen Förderprogrammen besteht jedoch die Möglichkeit, begleitende Maßnahmen zu fördern, die über die bau- oder naturschutzrechtlichen Verpflichtungen hinausgehen. Als Beispiel ist hier die „Hamburger Gründachförderung“ (Förderrichtlinie von 2020) zu nennen.

4.3 Gebührenreduktion bei der gesplitteten Abwassergebühr

Grundlage der Abwassergebühr

Nach § 54 Abs. 1 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) setzt sich Abwasser zum einen aus Schmutzwasser aus häuslichem, gewerblichem, landwirtschaftlichem oder sonstigem Gebrauch und zum anderen aus Niederschlagswasser, das von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließt, zusammen. Die Pflicht zur Abwasserbeseitigung ist nach § 56 WHG durch Landesrecht zu regeln. In den jeweiligen Landeswassergesetzen übertragen die Bundesländer die Abwasserbeseitigung auf die Gemeinden (z. B. § 46 Abs. 1 Wassergesetz für Baden-Württemberg). Letztere wiederum regeln individuell durch Satzung entsprechend der Gemeindeordnung die Abwasserbeseitigung für das Gemeindegebiet (meistens „Abwassersatzung“ genannt) und stellen die notwendige Infrastruktur sicher.

Zu den öffentlichen Abwasserbeseitigungseinrichtungen zählen die Kanalisation zur Abwasserableitung und die Kläranlagen zur Abwasserbehandlung. Die Kosten für die Abwasserableitung und -behandlung aus privaten Grundstücken sind von der Grundstückseigentümerschaft zu tragen. Zur Kostendeckung von Bau, Betrieb und Instandhaltung der öffentlichen Abwasserbeseitigungseinrichtungen erheben die Gemeinden daher eine Abwassergebühr (als Benutzungsgebühr) und zum Teil einen einmaligen Anschlussbeitrag. Bei der Gebührenbemessung gelten die Regelungen der länderspezifischen Kommunalabgabengesetze. Die Höhe der Abwassergebühr fällt regional sehr unterschiedlich aus, da neben verschiedenen Kalkulationsgrundlagen auch stark unterschiedliche Rahmenbedingungen vorherrschen (Leptien et al. 2014).

Einführung der gesplitteten Abwassergebühr

Zur Berechnung der Abwassergebühr für die Beseitigung von Schmutz- und Niederschlagswasser wurde früher i. d. R. der Frischwassermaßstab als einheitlicher Wahrscheinlichkeitsmaßstab angewandt. Die Anwendbarkeit dieses Maßstabs zur Berechnung der Gebühr für die Niederschlagswasserbeseitigung wird jedoch in Frage gestellt,

da sich kein direkter Zusammenhang zwischen der Menge an verbrauchtem Frischwasser und der Menge an abgeleitetem Niederschlagswasser feststellen lässt. Zudem wird bei der Gebührenberechnung die höhere Belastung der öffentlichen Abwasserbeseitigungseinrichtungen durch Grundstücke mit einem hohen Anteil abflusswirksamer Flächen nicht verursachergerecht berücksichtigt (Hennebrüder 2003).

Innerhalb der gesplitteten Abwassergebühr wird die Beseitigung des Schmutzwassers weiterhin nach dem Frischwassermassstab berechnet. Zur Ermittlung der Niederschlagswassergebühr dient hingegen die befestigte und abflusswirksame Fläche mit Kanalanschluss des jeweiligen Grundstücks. Die Inanspruchnahme der öffentlichen Abwasserbeseitigungseinrichtungen wird dadurch wirklichkeitsgetreuer und verursachergerechter abgebildet.

Durch die verschiedenen Grundsatzurteile der Landesgerichte sind Gemeinden dazu angehalten, die gesplittete Abwassergebühr einzuführen, um eine höhere Gebührengerechtigkeit zu erreichen. Nach Angaben der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. wendeten 2012 ca. 85 % der Städte mit mehr als 100.000 Einwohnenden den gesplitteten Maßstab an. Bei den Städten zwischen 50.000 und 100.000 Einwohnenden lag dieser Anteil bei 76 % (Leptien et al. 2014). Im Januar 2019 führte der BuGG eine Recherche zu den Abwassersatzungen aller deutschen Städte mit mehr als 50.000 Einwohnenden durch. Von den insgesamt 191 betrachteten Städten verfügten bereits 189 Städte und damit 99 % über eine gesplittete Abwassergebühr (Mann et al. 2020).

Möglichkeiten der Gebührenreduktion für die Niederschlagswasserbeseitigung

Die Umstellung auf eine gesplittete Abwassergebühr gibt die Chance, eine nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung im Gemeindegebiet zu fördern. Denn für Maßnahmen, die zum lokalen Regenwasserrückhalt und zur lokalen Regenwasserbewirtschaftung beitragen, kann innerhalb der Abwassersatzung eine Gebührenreduktion für die Niederschlagswasserbeseitigung erlassen werden. Zu diesen Maßnahmen zählt neben versickerungsfähigen Oberflächenbelägen (z. B. Rasengittersteine), Versickerungs- und Regenwassernutzungsanlagen (z. B. Zisternen) auch die Dachbegrünung.

Letztere kann in Abhängigkeit der Aufbaudicke und der Dachneigung in unterschiedlicher Höhe zur Rückhaltung von Regenwasser beitragen und dadurch die Abflussmenge reduzieren. Als grundlegende Bemessungsgrundlage der Dachentwässerung dienen die ermittelten Abflussbeiwerte der Dachbegrünungsrichtlinien der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL). Das zurückgehaltene Regenwasser kann im Anschluss durch die Vegetation der Dachbegrünung verdunsten und so zur Annäherung an die natürliche Wasserbilanz beitragen. Die Kombination eines Gründachs mit einer Versickerungs- oder Regenwassernutzungsanlage ist möglich, um eine weitere Reduktion der Abflussmenge zu erreichen.

Damit die Dachbegrünung bei der Gebührenberechnung als abflussreduzierende Maßnahme anerkannt wird, muss dies in der Abwassersatzung der Gemeinden verankert sein. Innerhalb der BuGG-Städteumfrage 2019 wurden deutschlandweit 700 Städte mit mehr als 20.000 Einwohnenden angeschrieben und u. a. gefragt, ob in ihrer Gemeinde eine Gebührenreduktion für Dachbegrünungen besteht. Dabei stellte sich heraus, dass bei ca. 49 % der Rückläufe (n = 199) die Dachbegrünung als abflussreduzierende Maßnahme innerhalb der Niederschlagswasserbeseitigung anerkannt wird. Als Ergebnis der bereits zuvor genannten BuGG-Recherche 2019 konnte bei 72 % der Städte mit mehr als 50.000 Einwohnenden (n = 191) eine Gebührenreduktion für Dachbegrünungen festgehalten werden (Mann et al. 2020). Während in großen Städten das Potenzial der gesplitteten Abwassergebühr zur Förderung von Dachbegrünung bereits genutzt wird, ist dies bei kleineren Städten noch nicht der Fall.

Höhe der Reduktion für Dachbegrünungen

Je nach Gemeinde wird die Gebührenreduktion für Dachbegrünungen in unterschiedlicher Höhe und nach verschiedenen Differenzierungsgraden festgelegt. Bei den meisten wird für die Gründachfläche pauschal eine Gebührenreduktion von 50 % angesetzt. Im Jahr 2019 lag die durchschnittliche Niederschlagswassergebühr der Städte mit mehr als 50.000 Einwohnenden bei 0,81 €/m² (Mann et al. 2020). Dementsprechend lag das durchschnittliche Einsparpotenzial durch eine Dachbegrünung bei 0,41 €/m². Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Höhe der Niederschlagswassergebühr von Gemeinde zu Gemeinde stark variiert.

Die Stadt Köln und einige weitere Städte orientieren sich bei der Gebührenberechnung an den Abflussbeiwerten der FLL-Dachbegrünungsrichtlinien und reduzieren die Gebühr bspw. für eine intensive Dachbegrünung mit einem nachgewiesenen Abflussbeiwert von 0,1 um 90 %. In Köln lag die Niederschlagswassergebühr 2019 bei

1,27 €/m². Es ergibt sich daher für die zuvor genannte Begrünungsart ein Einsparpotenzial von 1,14 €/m². Eine differenzierte Gebührenreduktion nach Abflussbeiwert entspricht den unterschiedlichen Wirkungsgraden der verschiedenen Dachbegrünungsarten und bildet die Abflussmenge wirklichkeitsgetreuer ab als eine pauschale Gebührenreduktion. Jedoch ist der hohe Differenzierungsgrad auch mit einem erhöhten Aufwand für den Nachweis und die Berechnung des Regenwasserrückhalts verbunden. Als Kompromiss wird im „Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen“ von 2012 die Einführung einer zwei- bis dreistufigen Gebührenreduktion empfohlen. Außerdem wird Gemeinden nahegelegt, Gestaltungskriterien für Dachbegrünungen zu fixieren, um deren Qualität und Pflege sicherzustellen. Auch stadtoökologische Ziele zur Förderung von Flora und Fauna sollten berücksichtigt werden (Ansel et al. 2012).

Potenzial des Förderinstruments

Da sich der Geltungsbereich der Abwassersatzung auf das gesamte Gemeindegebiet erstreckt, können durch eine Gebührenreduktion flächendeckend Anreize für Grundstückseigentümer und -eigentümerinnen gesetzt werden, um Dachbegrünungen und andere Maßnahmen einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung umzusetzen. Ein weiterer Vorteil dieses Förderinstruments für die Gemeinden besteht darin, keine zusätzlichen finanziellen Mittel zur Verfügung stellen zu müssen. Die Gebührenreduktion fördert zudem die Gebührengerechtigkeit, da diejenigen weniger zahlen, die durch versickerungs- und verdunstungsfördernde Maßnahmen auf ihrem Grundstück weniger Abfluss und somit weniger Abwasser verursachen (Verursacherprinzip). Bei der Einführung der gesplitteten Abwassergebühr in Gemeinden sollten daher abflussreduzierende Maßnahmen mit Blick auf die Gebührengestaltung berücksichtigt werden. Da die durchschnittliche Niederschlagswassergebühr in deutschen Städten eher gering ist, reicht die Gebührenreduktion für abflussreduzierende Maßnahmen jedoch nicht aus, um allein stehend einen finanziellen Anreiz zur Umsetzung von Dachbegrünungen zu bieten. Es handelt sich bei der Gebührenreduktion innerhalb der gesplitteten Abwassergebühr daher um einen begleitenden finanziellen Vorteil. Im Neubau bieten Einleitbeschränkungen in die Kanalisation ein wirkungsvolleres Instrument zur verstärkten Umsetzung von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, wie der Dachbegrünung.

4.4 Berücksichtigung in Bewertungssystemen des Nachhaltigen Bauens

In Deutschland, sowie weltweit gibt es verschiedene Bewertungssysteme des nachhaltigen Bauens, die entwickelt wurden und umgesetzt werden. Die renommiertesten und bekanntesten Systeme sind neben CASBEE (Asien), Green Star (Australien), HQE (Frankreich), LENOZ (Luxemburg), Minergie (Schweiz), Estidama (Abu Dhabi) und BEAM (Hongkong) die Systeme BNB, LEED, BREEAM und DGNB. Letztere werden im Folgenden genauer beschrieben und erläutert.

BNB - Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude

Nach einer zweijährigen Projektphase hat im Jahr 2010 das Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zusammen mit dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) und der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB) einen Kriterienkatalog zur ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten für Gebäude veröffentlicht (BMI 22.01.2021). Mit diesem Bewertungssystem wurde erstmalig ein Leitfaden für Nachhaltiges Bauen als ergänzendes ganzheitliches quantitatives Bewertungsverfahren geschaffen. Besonders zeichnet es sich durch die umfassende Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von Gebäuden unter Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen, soziokulturellen Qualität, sowie der technischen und prozessualen Aspekte und durch ein transparentes, objektiv nachvollziehbares Bewertungssystem aus (BMI und DGNB 2018). Ursprünglich war das System BNB darauf ausgelegt, nationale Verwaltungs- und Bürogebäude zu zertifizieren. Durch eine ständige Weiterentwicklung des Systems gibt es nun weitere Varianten für Neubau von Unterrichtsgebäuden und die Außenanlagen von (BMI und DGNB 2018). Die Anwendung des BNB ist für Bundesbaumaßnahmen über eine Kostenhöhe von 6 Mio. € anzuwenden (RBBau).

Das BNB – System unterscheidet 6 Hauptkriteriengruppen, nach denen bewertet wird: Ökologische Qualität (22,5 %), Ökonomische Qualität (22,5 %), Soziokulturelle und funktionale Qualität (22,5 %), Technische Qualität (22,5 %), Prozessqualität (10 %) und Standortmerkmale. Anhand der erreichten Punkte in den verschiedenen Kriteriengruppen werden Zertifikate in Gold (≥ 80 %), Silber (≥ 65 %) und Bronze (≥ 50 %) ausgestellt (BMVBS 2011: 8f.).

Die Einhaltung der BNB-Kriterien muss durch die Bauleute im Vorfeld der Planung berücksichtigt werden. Der Leitfaden Nachhaltiges Bauen ist bei der Durchführung der Hochbauaufgaben des Bundes von den Verwaltungen

im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat verbindlich entsprechend den Regelungen der „Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes“ (RBBau) anzuwenden (BMI 2019).

Gebäudebegrünung im BNB

Im Rahmen des Kriterienpunktes Ökologische Qualität im Unterpunkt Flächeninanspruchnahme wird erwähnt, dass „Mit der Nutzung von Flächen, die durch Flächenrecycling gewonnen wurden, oder durch die Schaffung von Ausgleichsmaßnahmen sowie Gebäudebegrünungen“ positive Ergebnisse erzielt werden können (BBSR 2020: 42). Eine Nennung von Gebäudegrün bei den Punkten Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus, Thermischer Komfort, Aufenthaltsqualitäten, Gestalterische und städtebauliche Qualität, Schallschutz, Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren erfolgt nicht. In der Systematik des BNB wird die Wirkung auf die globale und lokale Umwelt mit der ökologischen Qualität erfasst. Die Verhältnisse am Mikrostandort, also auch an Bauwerksfassade und -dach, wird mit den Standortmerkmalen bewertet.

Empfehlungen für BNB Novellierung

Alle drei Bewertungssysteme „Büro-/Verwaltungs-, Unterrichts- und Laborgebäude“ sollten die Steckbriefe „Widerstand gegen Naturgewalten“ (Technische Qualität) und „Verhältnisse am Mikrostandort“ (Standortmerkmale) bei einer zukünftigen Überarbeitung die Wirkungsweisen des Bauwerkgrüns berücksichtigen. Bei einer künftigen Überarbeitung der Steckbriefe zu BNB-Außenanlagen sollte ein Bezug zum Bauwerkgrün geschaffen werden. Dabei bietet sich der Steckbrief AA-6.1.1 „Verhältnisse und Risiken am Mikrostandort“ an. Gebäudebegrünung sollte bei den Punkten Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus, Thermischer Komfort, Aufenthaltsqualitäten, Gestalterische und städtebauliche Qualität, Schallschutz, Widerstandsfähigkeit gegen Naturgefahren, (zumindest bei Neubauten) hinzugefügt werden.

DGNB - Deutsches Gütesiegel nachhaltiges Bauen

Die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB) wurde 2007 gegründet und hat mittlerweile rund 1.200 Mitgliedsorganisationen sowie über 500 Experten (DGNB 22.01.2021). Die DGNB Zertifizierung hat das Ziel, nachhaltiges Bauen praktisch anwendbar, messbar und damit vergleichbar zu machen. Es dient als Planungs- und Optimierungstool dazu, die Nachhaltigkeit in Bauprojekten zu erhöhen. So wird bei allen am Bau Beteiligten das gemeinsame Verständnis für die relevanten Anforderungen an eine nachhaltige Bauweise gefördert. Innerhalb der Zertifizierung wird der gesamte Lebenszyklus eines Projekts betrachtet (DGNB 2020). Die Grundstruktur der Qualitätsbereiche sind Ökologie (22,5 %), Ökonomie (22,5 %) und Soziokulturelles/Funktionalität (22,5 %), aber auch technische Qualität (15 %), Prozessqualität (12,5 %) und Standortqualität (5 %) (DGNB, 2020). So können Projekte ganzheitlich bewertet werden. Bei der Anwendung im Ausland kann das System an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden (DGNB 2020). Das System ist in Deutschland das verbreitetste zur Gebäudezertifizierung. Bis jetzt gibt es 5.000 zertifizierte Projekte (Stand 1/2020). Auch innerhalb Europas hat die DGNB Gebäude zertifiziert (DGNB 2020). DGNB-Zertifikate gibt es in den Abstufungen Platin (ab 80 %), Gold (ab 65 %), Silber (ab 50 %), Bronze (ab 35 %).

Die Zertifizierungskosten bestehen aus den Zertifizierungsgebühren und den Honorarkosten für die Auditorenleistungen. Die Kosten sind abhängig von der Größe des Projekts (in m²) und davon, was genau zertifiziert werden soll: Neubau und Sanierung, Innenräume, Gebäude im Betrieb und Bestandsgebäude, Quartiere und Standorte, Serien-, Mehrfach- und Ensemblezertifizierung, Rückbau. Weiterhin wird berücksichtigt, ob der Antragssteller oder die Antragsstellerin DGNB-Mitglied ist oder nicht (DGNB 2020).

Das DGNB-Siegel kann sowohl für Großprojekte als auch für Kleinprojekte oder für private Gebäude Anwendung finden. Im Bewertungsverfahren werden mit einem umfangreichen Kriterienkatalog wirtschaftliche, ökologische und städtebauliche Qualitäten erfasst. Diese werden ergänzt durch Aspekte der Behaglichkeit, wie der thermische Komfort und die Qualität der Innenraumluft. Gebäudebegrünung findet keine Anwendung/Berücksichtigung in der Zertifizierung.

Empfehlung für DGNB

Bei dem Zertifizierungssystem DGNB findet mit dem Anwendungskriterium TEC1.3 keine Berücksichtigung von Gebäudebegrünung statt. Eine Aufnahme der Wirkungseinflüsse wäre wünschenswert.

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) ist die weltweit führende Methode zur Nachhaltigkeitsbewertung von Masterplanungsprojekten, Infrastruktur und Gebäuden (BRE 22.01.2021).

Die BREEAM Methode wurde bereits 1990 in Großbritannien entwickelt (Baunetz_Wissen 22.01.2021b). Die Entwicklung lag beim „Building Research Establishment“ (BRE) (The Asbestos in Schools Group 2011: 68). Ursprünglich wurden mit BREEAM die Phasen der Planung über die Ausführung bis hin zur Nutzung bewertet. Nach einer umfassenden Novellierung im Jahr 2008 wird nun der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt. Daraus ergab sich u. a. auch eine veränderte Gewichtung der Umweltauswirkungen (Baunetz_Wissen 22.01.2021b).

Die Beurteilungskriterien, für die jeweils eine bestimmte Punktzahl vergeben werden kann, sind: Management, Energie, Wasser, Landverbrauch und Ökologie, Gesundheit und Wohlbefinden, Transport, Material, Verschmutzung, Abfall und die Zusatzkategorie Innovation (TÜV SÜD 22.01.2021). Die Zusatzkategorie kann dabei helfen, Punkte auszugleichen, die in anderen Kategorien nicht erreicht wurden. Die Kriterien des Bewertungssystems fallen unterschiedlich stark ins Gewicht: Die höchste Gewichtung hat das Kriterium „Gesundheit und Wohlbefinden“ mit 15 %, die Geringste hat das Kriterium „Wasser“ mit 6 %. Die anderen Bewertungskategorien ordnen sich dazwischen ein. Aus den jeweils vergebenen Punkten wird die Bewertung abgeleitet. Es gibt sechs verschiedene Stufen der Bewertung: Unklassifiziert (< 30 %), Bestanden (≥ 30 %), Gut (≥ 45 %), Sehr gut (≥ 55 %), Exzellent (≥ 70 %) und Herausragend (≥ 85 %) (Breitenberger 2013: 46).

Es gibt länderspezifische BREEAM-Bewertungssysteme: BREEAM UK, BREEAM USA, BREEAM NL, BREEAM NOR, BREEAM ES, BREEAM SE, BREEAM DE, BREEAM AT und BREEAM CH. Außerdem gibt es das BREEAM International, welches bei Ländern angewandt wird, die kein eigenes System entwickelt haben (BRE 22.01.2021).

Mit Hilfe von BREEAM ist es erstmals möglich, den internationalen Immobilienmarkt vereinheitlicht und mit national abgestimmten Standards untereinander zu vergleichen (Lakenbrink 15.03.2012).

In Deutschland war bis 2016 das DIFNI (Deutsches Privates Institut für Nachhaltige Immobilienwirtschaft GmbH & Co. KG) der Lizenzpartner von BRE Global. Nachdem der TÜV SÜD das DIFNI übernommen hat, liegen die exklusiven Rechte zur BREEAM-Zertifizierung bei TÜV SÜD. Die Ausführung übernimmt aber weiterhin das DIFNI (PresseBox 25.07.2016). Die Kosten für eine BREEAM Erstzertifizierung liegen zwischen 3.500 € und 5.600 € (DIFNI 2019).

Mit diesem 1990 in England entwickeltem Bewertungssystem können Gebäude mit den nachfolgenden Kriterien bewertet werden: Management am Bau, Gesundheit und Behaglichkeit, Energie, Transport, Wasser, Materialien, Abfall, Landverbrauch, Ökologie und Verschmutzung. Gebäudegrün findet keine Anwendung/Berücksichtigung in der Zertifizierung.

Empfehlung für BREEAM

Für das Zertifizierungssystem BREEAM wird empfohlen, Gebäudegrün in der Zertifizierung aufzunehmen.

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

Das Zertifizierungssystem für nachhaltiges Bauen LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) wurde 1998 vom US Green Building Council (USGBC) auf Grundlage des BREEAM-Systems entwickelt. Seit 2002 ist die Zertifizierung auch in Canada, mit angepassten Bedingungen möglich (Baunetz_Wissen 22.01.2021c).

Im Jahr 2000 wurde das System novelliert (Breitenberger 2013: 23). Das Ziel dieser Bewertungsmethode ist es mit natürlichen Ressourcen beim Neubau und bei der Sanierung von Gebäuden besonders umweltschonend umzugehen, die Rentabilität von Gebäuden zu steigern, Gesundheit und Wohlbefinden der Nutzer zu fördern und negative Auswirkungen auf die Umwelt zu verringern (Breitenberger 2013: 23).

Heute ist es das international am weitesten verbreitete Zertifizierungssystem (Building Material Scout GmbH 22.01.2021). Die Bewertungskriterien für das LEED-System umfassen: Infrastrukturelle Einbindung, nachhaltiges Baugelände, effiziente Wassernutzung, Energie und globale Umweltwirkung, Materialien und Ressourcen, Innenraumluftqualität und Innovationen. Es gibt Extrapunkte für Standortbedingungen mit besonderer Bedeutung.

Für die soeben genannten Kriterien werden Punkte vergeben, um dann in die Zertifizierungsstufen eingeteilt werden zu können. Die LEED-Zertifizierungsstufen unterteilen sich in Zertifiziert (40-49 Punkte), Silber (50-59 Punkte), Gold (60-69 Punkte) und Platin (80+ Punkte). Das Zertifizierungsverfahren wird eigentlich von der Green Business Certification Inc. (GBCI) im Auftrag des USGBC begleitet. Für den europäischen Raum ist die GBCI Europe mit Sitz in München zentraler Ansprechpartner (GGBA 22.01.2021a).

Die Besonderheit von LEED ist die digitale Aufbereitung und Nutzung der gebäudespezifisch generierten Daten. Die Datenverwaltung erfolgt online und alle dort verwalteten Daten können als Basisdatensatz für weiterführende Zertifizierungen genutzt werden (GGBA 22.01.2021a). Das US-amerikanische Zertifizierungssystem LEED stellt Immobilien untereinander mit einem Kriterienkatalog zu Standort, effiziente Wassernutzung, Energie und Atmosphäre, Materialien und Ressourcen, Innenraumqualität sowie Innovation, Design und Regionalität in den Vergleich. Gebäudegrün findet keine Anwendung/Berücksichtigung in der Zertifizierung.

Empfehlung für LEED

Für das Zertifizierungssystem LEED wird empfohlen, in der Kategorie „Indoor-Umweltqualität“ die Wirkung von Bürogrün mit aufzunehmen.

4.5 Bedeutung von Informations- und Beratungsangeboten, Gründachkatastern

Informations- und Beratungsangebote, grundlagenbildende Lehre und öffentlichkeitswirksame Maßnahmen, wie Gründachpotenzialkataster, sind wichtige Bausteine, die in Summe die Voraussetzungen für die Umsetzung von Gebäudebegrünungen schaffen.

Informationsangebote und Lehre

In Deutschland gibt es viele Möglichkeiten, an Informationen zur Gebäudebegrünung zu gelangen, vorrangig über die „grünen“ Verbände (wie Bundesverband GebäudeGrün e. V. (BuGG), Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e. V. (FLL), Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau e. V. (BGL), Bund Deutscher Landschaftsarchitekten (BDLA)) und in dem Bereich tätige und oftmals spezialisierte Unternehmen, im geringen Maße auch über Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Die Unternehmen bieten umfassende Informationen zu ihren Produkt- und Systemlösungen, also nicht-neutrales, jedoch wichtiges, Spezialwissen an. Der BuGG als einziger Verband, der sich ausschließlich mit der Gebäudebegrünung beschäftigt, sammelt umfassende, neutrale Grundlageninformationen, bereitet diese auf und stellt sie zur Verfügung. Es erscheint der Eindruck, es gäbe (zu) viele Informationsmöglichkeiten in Form von Broschüren, Leitfäden, Internetseiten etc. Diese sind jedoch nicht umfassend, nicht einheitlich und mit guter Qualität entwickelt.

An deutschlandweit 14 Hochschulen ist ein Studium der Landschaftsarchitektur o. Ä. in insgesamt 24 Bachelor- und 20 Master-Studiengängen möglich. An 12 Hochschulen werden kleinere und größere Forschungsarbeiten zu Themen der Dach- und Fassadenbegrünung vergeben und bilden Lehrinhalte in unterschiedlichen Formaten. Darüber hinaus sind weitere sieben Forschungseinrichtungen mit Projekten zur Gebäudebegrünung beschäftigt (Gohlke 2019). Da es weder einen Ausbildungsberuf noch ein Hochschulstudium zum „Dach- bzw. Fassadenbegrünenden“ gibt, sind bisher keine einheitlichen und umfassenden Lehrunterlagen dazu vorhanden. Dementsprechend ist die Gebäudebegrünung noch kein festgeschriebenes Fach. Doch nicht nur bei Studiengängen der Landschaftsarchitektur, sondern auch bei Architektur, Bauingenieurwesen, Stadt- und Raumplanung sollte das Thema Gebäudebegrünung in die Lehrinhalte als fester Bestandteil aufgenommen und nicht nur durch vereinzelte Gastvorträge behandelt werden, damit es zum Grundwissen der Lehre wird. Hierzu sollte eine Bestandsaufnahme über alle relevanten Hochschulen stattfinden und Vorschläge zu Musterlehrplänen erarbeitet werden.

Beratungsangebote

Die größeren Unternehmen der Branche bieten kostenlose produktbezogene Beratungen durch eine eigene Anwendungstechnik und Außendienstmitarbeitende an. Dabei werden zwar auch Grundlagen beraten, der Fokus liegt allerdings eindeutig auf der Beratung der eigenen Produkt- und Systemlösungen.

Aus dem Bereich Hochbau- und Landschaftsarchitektur gibt es einige, wenn auch immer noch zu wenige, Büros, die über gute Fachkenntnisse zur Dach- und Fassadenbegrünung verfügen und die projektbezogen vom Bauenden beauftragt werden können. Es gibt derzeit in Deutschland nur wenige ausgewiesene „Gebäudegrün-Beratende“ und „Gebäudegrün-Beratungsbüros“, die kostenlos Beratungen für interessierte Bauwillige durchführen. In

der Regel sind die vorhandenen Beratungsbüros, wie bspw. Green City München, BUND Hannover, Bremer Umweltberatung, Ökolöwen Leipzig, Energielotsen Hamburg, Klimaschutzagentur Mannheim, dlze Dienstleistungszentrum Energieeffizienz und Klimaschutz Dortmund, eng verbunden mit der jeweiligen Dach- und Fassadenbegrünung fördernden Stadt, oftmals von den Städten auch (teil)finanziert (Bremer Umweltberatung e.V. 04.01.2021, BUND Hannover 04.01.2021, Freie und Hansestadt Hamburg 04.01.2021, Green City e.V. 04.01.2021, Klimaschutzagentur Mannheim 04.01.2021, Ökolöwe Umweltbund Leipzig e.V. 04.01.2021, Stadt Dortmund 04.01.2021). Die Beratungsbüros sind keine ausschließlich Beratenden von Gebäudegrün. Ursprünglich sind sie größtenteils als „Energie-Beratende“ entstanden, haben demnach ihre Kernkompetenz in diesem Bereich. Die Gespräche mit einigen der angeführten Beratungsbüros bringen es wie folgt auf den Punkt:

Die kostenlosen „niederschweligen“ Beratungen (Telefon, E-Mail, vor Ort), meist von privaten Bauenden, die oftmals kleine Flächen begrünen wollen, würden gut angenommen. Die Umsetzungsrate sei nach einer Grundlagen-Beratung bei Dachbegrünungen recht hoch. Die Anzahl der ausschließlichen Gebäudegrün-Beratungen hielten sich derzeit in Grenzen, kombiniert mit anderen Maßnahmen der energetischen Sanierung und Photovoltaik wird Gebäudegrün zusätzlich beraten. Oftmals berieten die Büros nicht nur, sondern kümmerten sich auch um die Anträge bis zur Auszahlung der Fördergelder.

Beratungsbüros können die Umsetzung von Begrünungen fördern, wenn sie das Fachwissen haben (hierbei herrscht noch Schulungsbedarf) und wenn die Stadt finanzielle Zuschüsse bereitstellt. Sowohl Energieberatende und Klimaschutzmanager als auch Dachdeckende sind nach gezielter Weiterbildung in Sachen Gebäudebegrünung ideale und effektive Multiplikatoren, um Erstberatungen durchzuführen, Vorurteile abzubauen und über bau- und fördertechnische Möglichkeiten zu informieren.

Gründachpotenzialkataster und „Gründach-Potenzial-Index“

Potenziale zur Begrünung (unbegrünte Dachflächen) gibt es sowohl im Neubau (2019 wurden nur etwa 9 % der neu entstandenen Flachdächer begrünt) als auch im Bestand (Mann et al. 2020). Die Auswertung von Luftbildern, die zur Stadt- und Raumplanung regelmäßig herangezogen werden, können auch für Zwecke der Potenzialanalyse für Solar- und Gründächer eingesetzt werden. Solarpotenzialkataster sind recht häufig zu finden und davon abgeleitet haben bereits viele Städte parallel auch ein Gründachpotenzialkataster erstellt, mit denen noch unbegrünte, jedoch potenziell geeignete Dachflächen sichtbar werden. Diese Kataster verstehen sich als Serviceangebot der Kommunen an interessierte Bürger und Bürgerinnen, Gewerbe und Industrie, die sich mit der nachträglichen Begrünung ihres Daches im Bestand befassen. Ein Gründachpotenzialkataster liefert, vorbehaltlich einer Prüfung auf ausreichende Bauwerksstatik, erste Hinweise zur Eignung je nach Dachneigung.

Mit dem Verfahren „Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünungen“ (BuGG 2020) lassen sich auch potenziell begrünbare Dachflächen (Kiesdächer) identifizieren. Ein Beispiel bietet das Projekt „Fernerkundliche Identifizierung von Vegetationsflächen auf Dächern“ zur Entwicklung des für die Bereiche des Stadtklimas, der Stadtentwässerung und des Artenschutzes aktivierbaren Flächenpotenzials in den Städten - ein Förderprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU).

Derzeit gibt es in Deutschland über 70 Gründachpotenzialkataster, wovon 45 auf Städte mit mehr als 50.000 Einwohnenden entfallen (Mann et al. 2020). Der Regionalverband Ruhr (RVR) hat in Kooperation mit der Emscher-Genossenschaft ein flächendeckendes Gründachpotenzialkataster für seine 53 Mitgliedskommunen erstellt (RVR 04.01.2021). Das Bundesland Nordrhein-Westfalen hat 2021 ein landesweites Gründachpotenzialkatasters veröffentlicht, das sogar noch mit dem bestehenden Solarkataster NRW verknüpft sein soll. Damit soll von Anfang an dafür geworben werden, Solar und Dachbegrünung miteinander zu kombinieren.

Die bisher veröffentlichten Gründachkataster zeigen oftmals durch Einfärbung der Dachflächen nicht nur an, wie gut sich das Gebäude für ein Gründach eignet, sondern über eine Detailanalyse kann auch die eingesparte Abwassermenge, die CO₂-Absorption und der gehaltene Feinstaub pro Jahr geschätzt werden (u. a. Klärle und Langendörfer 2018).

Am 22.10.2020 und 20.11.2020 wurden vom BuGG insgesamt 45 Städte angeschrieben, die ein Gründachpotenzialkataster haben. 11 Personen haben geantwortet, das entspricht einer Rücklaufquote von 24,4 %. Zusammenfassend hat sich aus dieser kleinen Umfrage Folgendes ergeben:

- Es liegen bisher kaum Erfahrungen zur Umsetzung und Nutzung der Gründachpotenzialkataster vor, da diese erst wenige Monate bzw. Jahre verfügbar sind.

- Die Gründachpotenzialkataster eignen sich gut zur Identifizierung von Klimaanpassungsmaßnahmen und Hot Spots, für politische Entscheidungen und nachhaltig orientierte Stadt- und Bauleitplanung.
- Nur aufgrund des Gründachpotenzialkatasters gab es sehr wenige Anfragen von interessierten Bauwilligen, die ggf. eine Dachbegrünung umsetzen wollen.
- Gründachpotenzialkataster sind bisher eher ein Marketingwerkzeug als ein konkretes Werkzeug, um damit im Bestand mehr zu begrünen.
- Wichtig ist die Verknüpfung des Gründachpotenzialkatasters mit finanziellen Zuschüssen, Beratungsangeboten und Wissens- und Aufklärungsarbeit zur Dachbegrünung.
- Schwächen der Gründachpotenzialkataster: Identifizierung erst ab einer Flächengröße von 20 m² und mehr, vorhandene Gründächer werden nicht angezeigt, Datengrundlagen zum Teil fehlerhaft bzw. uneinheitlich.

4.6 Ökokonten

„Eingriffe in Natur und Landschaft sind nach der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung vorrangig zu vermeiden. Sofern das nicht möglich ist, sind landschaftspflegerische Maßnahmen (sogenannte Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) zu ergreifen“ (BfN 2020). Im Rahmen der bauplanungsrechtlichen Eingriffsregelung nach dem Bundesnaturschutzgesetz (§§ 13ff. BNatSchG) werden deutschlandweit Biotopwertverfahren angewendet. Biotopwertverfahren sind standardisierte Bewertungsverfahren von Biotop- oder Nutzungstypen, vor allem zur Verwendung bei der Eingriffsregelung nach Bundesnaturschutzgesetz und bei der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Dieses Verfahren dient dazu, die negativen Auswirkungen eines Eingriffs in Natur und Landschaft innerhalb eines bestimmten Wirkraums zu ermitteln und bei unvermeidbaren Beeinträchtigungen angemessene Kompensationsmaßnahmen anzusetzen. Kritisch ist zu sehen, dass bei der Aufstellung von B-Plänen häufig §13a BauGB hinzugezogen wird, wodurch die B-Pläne von der Eingriffsregelung ausgenommen werden.

Die Grundlage dieser Ermittlung bilden Wertpunkte – auch Ökopunkte genannt, die verschiedenen Biotoptypen zugeordnet sind (BuGG 2020:41). Die Zuordnung und Bilanzierung der Ökopunkte sind in jedem Bundesland verschieden. Genauere Angaben sind in den entsprechenden Landesnaturschutzgesetzen oder Verordnungen zu finden. Seit dem 3. Juni 2020 ist die Bundeskompensationsverordnung (BKompV) in Kraft getreten. Sie umfasst die terrestrischen Biotoptypen, die bundesweit einheitlich auf der aktuellen Roten Liste stehen, die der FFH-Richtlinie und die der gesetzlich geschützten Biotope. Die Biotoptypen werden aufgeführt und auf einer Skala von 1 bis 24 Wertpunkten bewertet. Um die Bewertungssysteme, die auf Landesebene verwendet werden, weiterhin nutzen zu können, wurden entsprechende Übersetzungsschlüssel angefertigt (BMU 2020).

Die Ökopunkte können auf einem Ökokonto hinterlegt werden. Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen werden vorgezogen durchgeführt (§ 135 a Abs. 2 Satz 2 BauGB), dokumentiert, bewertet und durch das Ökokonto verwaltet, bis sie einem späteren Eingriff zugeordnet werden können (Ausgleichsagentur 2021).

In manchen Bundesländern kann, durch die in den Gesetzen und Verordnungen hinterlegten, ökokontofähigen Maßnahmen – abhängig vom jeweiligen Bilanzierungsmodell – einer Dachbegrünung eine gewisse Anzahl an Ökopunkten zugesprochen werden. Die Dachbegrünung wirkt sich somit positiv auf den Kompensationsbedarf aus und kann diesen verringern. Im Rahmen der BuGG-Städteumfrage von 2019 konnte aufgezeigt werden, dass in ca. 24 % der Städte mit mehr als 50.000 Einwohnern Ökopunkte für Dachbegrünungen vergeben werden. Die Anzahl der Ökopunkte, die für Dachbegrünungen in den jeweiligen Bundesländern vergeben werden, ist sehr unterschiedlich und schwankt zwischen 0,5 bis 19 ÖP/m² (BuGG 2020:41).

Einige Städte, wie zum Beispiel Kassel und Neuss, unterscheiden bei Dachbegrünungen in extensive und intensive Begrünung und weisen den beiden Begrünungsformen unterschiedliche Werte zu (BuGG 2020:41). Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Dachbegrünung ist dies eine sinnvolle Erweiterung.

Für die Zukunft ist darauf hinzuwirken, dass bundesweit in allen Bilanzierungsmodellen die Gebäudebegrünung aufgenommen wird und somit in der Kompensationsbilanzierung Berücksichtigung findet. Zudem sollte auf eine differenzierte Punkteverteilung geachtet werden, um den variierenden Eigenschaften unterschiedlicher Dach- und Fassadenbegrünungen zu entsprechen.

4.7 Zwischenfazit

Es bestehen verschiedene Instrumente, die durch Fordern, Fördern und Begünstigen einen Anreiz zur Dach- und Fassadenbegrünung setzen. Das wirkungsvollste Instrument im Neubau ist die Festsetzung in B-Plänen. Vorteil des B-Plans ist die hohe Verbindlichkeit der Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünung durch die Bauherrschaft. Nachteil dieses Förderinstruments ist der geringe Wirkungsbereich innerhalb des Gemeindegebiets, da der B-Plan durch seinen kleinen Geltungsbereich räumlich begrenzt ist. Während zur Dachbegrünung in der aktuellen Planungspraxis bereits eine Studie besteht, ist zur Fassadenbegrünung noch Forschungsbedarf erkennbar. Die intensive Dachbegrünung nimmt in der Planungspraxis im Verhältnis zur extensiven Dachbegrünung nur einen untergeordneten Stellenwert ein. Mit Blick auf die Nachverdichtung wachsender Städte und den dort steigenden Verlust an innerstädtischen Frei- und Grünflächen bildet die klimatisch wirksamere Intensivbegrünung, auch als alternative Erholungs- und Freizeitfläche, hier ein großes Potenzial und sollte in der verbindlichen Bauleitplanung zukünftig stärker berücksichtigt werden. Auf Bundesebene ist zu prüfen, wie eine Erweiterung des Festsetzungskatalogs §9 BauGB zur Festsetzung öffentlich zugänglicher Gründächer aussehen kann.

Das Instrument der Gestaltungssatzung fällt in den Aufgabenbereich der Länder, da die jeweiligen Landesbauordnungen als rechtliche Grundlage herangezogen werden. Auch die Biotopwertverfahren zur Eingriffsregelung und somit die Vergabe von „Ökopunkten“ für die Dach- und Fassadenbegrünung sind landesspezifisch geregelt.

In der Regel wird für Maßnahmen, die bau- oder naturschutzrechtlich gefordert werden (z. B. als Festsetzung in einem B-Plan oder in Gestaltungssatzungen), entsprechend der einschlägigen Förderrichtlinie keine kommunale Förderung gewährt. Nach Rücksprache mit Städten, die ein Förderprogramm zur Dach- und Fassadenbegrünung aufgesetzt haben, ist eine rechtliche Grundlage hierzu nicht bekannt. Es handelt sich wohl um eine individuelle Entscheidung der Stadt, ob sich Förderung und Forderung ausschließen. Als Grund für den Ausschluss einer Förderung für bereits geforderte Maßnahmen kann zum einen die angespannte Haushaltslage vieler Kommunen und zum anderen der Haushaltsgrundsatz, mit Steuermitteln sparsam und wirtschaftlich umzugehen, angeführt werden. Des Weiteren ist es möglich, dass Dach- und Fassadenbegrünungen, die durch Fördermittel bezuschusst werden, nicht als Kompensationsmaßnahme angerechnet werden. So ist es beispielsweise den Grundsätzen der Hessischen Kompensationsverordnung (KV) zu entnehmen:

"Maßnahmen dürfen nicht zur Kompensation eines Eingriffs angerechnet werden, soweit sie aus öffentlichen Mitteln gefördert werden oder soweit eine Person zu ihrer Durchführung entschädigungslos verpflichtet werden könnte." (§1 (2) hessische KV)

Es bedarf einen Diskurs zwischen den Kommunen, inwieweit auch eine Förderung von bereits geforderten Maßnahmen möglich und sinnvoll ist, um ggf. höherwertige und kostenintensivere Begrünungen von Gebäuden zu ermöglichen und Bauende bei den Investitionskosten zu entlasten.

Da sich der Geltungsbereich der Gesplitteten Abwassergebühr auf das gesamte Gemeindegebiet erstreckt, können durch eine Gebührenreduktion flächendeckend Anreize für Grundstückseigentümer und -eigentümerinnen gesetzt werden, um Dachbegrünungen und andere Maßnahmen einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung umzusetzen. Die durchschnittliche Niederschlagswassergebühr in deutschen Städten ist jedoch eher gering, weshalb die Gebührenreduktion für abflussreduzierende Maßnahmen nicht ausreicht, um alleinstandend einen finanziellen Anreiz zur Umsetzung von Dachbegrünungen zu bieten. Es handelt sich eher um einen begleitenden finanziellen Vorteil, der auch im Bestand Wirkung zeigt. Im Neubau bieten Einleitbeschränkungen in die Kanalisation ein wirkungsvolleres Instrument zur verstärkten Umsetzung von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, wie der Dachbegrünung.

Bei der Berücksichtigung von Dach- und Fassadenbegrünung in den Bewertungssystemen des Nachhaltigen Bauens ist festzustellen, dass die genannten Maßnahmen nicht in jedem System und die vielfältigen Wirkungen nicht bei allen Anwendungskriterien einbezogen wurden. Dies gilt es an den passenden Stellen bei Novellierungsprozessen nachzuholen.

5 Analyse und Auswertung bestehender Förderprogramme

Durch Förderprogramme können Maßnahmen wie die Dach- und Fassadenbegrünung zur Erreichung bestimmter Ziele (z. B. Klimaanpassung) in einem selbstdefinierten Wirkungsbereich und unter selbstdefinierten Bedingungen mit finanziellen Mitteln gefördert werden. Durch einen direkten Zuschuss sollen Förderberechtigte (z. B. Privatpersonen, Unternehmen etc.) motiviert werden, freiwillig Dach- und Fassadenbegrünungen auf Neubauten oder im Bestand umzusetzen. Über Förderprogramme können zielgerichtet dort Förderungen angeboten werden, wo ein hoher Handlungsbedarf besteht oder andere Förderinstrumente nicht greifen (Ansel et al. 2012). Während bspw. Festsetzungen in B-Plänen nur für den Neubau gelten, können Förderprogramme auch den Bestand einbeziehen.

Eine Verbindlichkeit bei der Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünung ist im Gegensatz zu einer Festlegung im B-Plan oder der Gestaltungssatzung nicht gegeben, da ein Förderprogramm „nur“ ein Angebot darstellt. An die Förderung selbst können jedoch bestimmte Qualitätsanforderungen geknüpft werden.

Neben den deutschen Kommunen bieten auch regionale Zusammenschlüsse und manche Bundesländer im Rahmen eines Landesförderprogramms finanzielle Zuschüsse für Dach- und Fassadenbegrünung an. Die Programme der Städtebauförderung bieten Gemeinden die Möglichkeit, mithilfe von Bundes- und Landesmitteln für Teilbereiche des Gemeindegebiets die Gebäudebegrünung im Rahmen der Gesamtmaßnahme als eine unter vielen Maßnahmen zu fördern. Zudem bestehen themen- oder branchenspezifische Bundesförderungen, bei denen die Dach- und Fassadenbegrünung als förderfähige Maßnahmen integriert sind.

Als weitere Fördermittelgeber in Deutschland können die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sowie einige Landesförderbanken aufgeführt werden, die innerhalb ihrer Programme Darlehen für die Umsetzung einer Dach- und Fassadenbegrünung gewähren. Auch auf europäischer Ebene besteht ein Förderangebot. International haben bereits einige Städte Förderprogramme für die Gebäudebegrünung erstellt, von denen in diesem Kapitel eine Auswahl als Best-Practice-Beispiele vorgestellt werden.

Die genannten Förderprogramme unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich ihres Fördermittelgebers, sondern auch mit Blick auf die Ziele der Förderung, die Zielgruppen (Förderberechtigte), die Förderbedingungen und die Fördersummen. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Förderprogramme analysiert und hinsichtlich der aufgelisteten Parameter ausgewertet. Zudem werden Hemmnisse und Hürden von Förderprogrammen aufgelistet.

5.1 Staatliche Förderprogramme: Fördermittelgeber, Ziele, Zielgruppen, Budget, Förderquoten

Kommunale Förderprogramme

Bei kommunalen Förderprogrammen sind die Städte selbst die Fördermittelgeber. Es handelt sich dabei um eine freiwillige Leistung der Gemeinden ohne Rechtsanspruch, die stark von der jeweiligen Haushaltslage abhängt. Denn die Fördermittel stammen in der Regel aus dem eigenen kommunalen Haushalt. Meistens obliegt die Betreuung der Förderprogramme städtischen Mitarbeitenden, zum Teil wird die Betreuung oder zumindest die Beratungsleistung an Dritte vergeben. Die Zuständigkeit innerhalb der Gemeinde hängt von der jeweiligen Verwaltungsstruktur ab und kann beim Stadtplanungsamt, Bauamt, Umweltamt, Grünflächenamt, der Wirtschaftsförderung oder der Stadtentwässerung liegen (Ansel et al. 2012).

BuGG-Städteumfrage 2019/2020

Als Ergebnis der BuGG-Städteumfrage 2019 und der anschließenden Recherche 2020 lässt sich für alle deutschen Städte mit mehr als 50.000 Einwohnenden festhalten, dass ca. 26 % finanzielle Zuschüsse für Dachbegrünungen und ca. 24 % für Fassadenbegrünungen bereitstellen. Der Anteil an Städten, die für Gebäudebegrünungsmaßnahmen ein Förderprogramm anbieten, ist im Vergleich zu den Vorjahren gestiegen (Mann et al. 2020).

Die Auswertung der BuGG-Städteumfrage 2019 nach unterschiedlichen Bevölkerungszahlen (siehe Tabelle 18) zeigt auf, dass insbesondere große Großstädte mit mehr als 500.000 Einwohnenden direkte Zuschüsse zur Dach- und Fassadenbegrünung bereitstellen. Auch fast jede zweite kleinere Großstadt mit mehr als 100.000 Einwohnenden bietet ein Förderprogramm an. Die hohe Anzahl an Rückläufen zur Umfrage veranschaulicht zudem das große Interesse von Großstädten an dem Thema Gebäudebegrünung. Bei Betrachtung aller Städte mit mehr

als 20.000 Einwohnenden, d. h. sowohl Groß- als auch Mittelstädte, sinkt sowohl die Anzahl der Rückläufe als auch die Anzahl an Städten mit Förderprogrammen. Kleinstädte wurden innerhalb der Umfrage nicht betrachtet.

Tabelle 18: Auswertung der BuGG-Städteumfrage 2019 nach unterschiedlichen Einwohnerzahlen (BuGG)

BuGG-Städteumfrage 2019				
Anzahl der an-geschriebenen Städte	700 (>20.000 EW)	81 (>100.000 EW)	40 (>200.000 EW)	14 (>500.000 EW)
Anzahl der Rückläufe (= n)	199 (28 %)	59 (73 %)	31 (78 %)	14 (100 %)
Direkte Zuschüsse Dachbegrünung	37 (19 %)	25 (42 %)	15 (48 %)	10 (71 %)
Direkte Zuschüsse Fassadenbegrünung	34 (17 %)	24 (41 %)	17 (55 %)	10 (71 %)

Ziele und Zielgruppen

Mit der Förderung von Dach- und Fassadenbegrünung im Stadtgebiet verbinden Kommunen häufig mehrere Zielsetzungen, da die positiven Wirkungen der Maßnahmen vielfältig sind. Folgende Ziele werden u. a. verfolgt:

- Reduzierung der Hitzebelastung und Erhöhung der Kühlleistung im Sommer
- Entlastung der kommunalen Entwässerungseinrichtungen durch die Regenwasserrückhaltung
- und die Stärkung der Versickerung und Verdunstung von Regenwasser
- Schaffung neuer Lebensräume für Flora und Fauna (urbane Trittsteinbiotope)
- Verbesserung der Luftqualität durch die Bindung von Staub und Schadstoffen
- Ausbau wohnungsnaher Grünflächen und Attraktivitätssteigerung des Wohnumfelds

Je nachdem, welche Ziele die Kommune in welchem Stadtgebiet mit einem Förderprogramm zur Dach- und Fassadenbegrünung verfolgt, variieren die Zielgruppen, die als Förderberechtigte definiert werden. Der Fokus bei der kommunalen Förderung liegt jedoch auf Privatpersonen. In der Regel werden die Eigentumsparteien und Eigentumsgemeinschaften, Mietparteien und Mietgemeinschaften mit Zustimmung der Eigentumsparteien, Erbbauberechtigten und Genossenschaften privater Wohngebäude für eine Förderung zugelassen. Eine Förderung kann für den Gebäudbestand oder auch für Neubauten gewährt werden. Zum Teil können außerdem Eigentumsparteien und Eigentumsgemeinschaften von gewerblichen Gebäuden sowie kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) förderberechtigt sein. Großunternehmen werden aufgrund ihres hohen Eigenkapitals nur selten oder mit einem geringeren Betrag gefördert. In Sonderfällen werden auch Vereine und kirchliche Einrichtungen gefördert.

Budget und Fördersummen

In den kommunalen Förderprogrammen der Städte mit mehr als 50.000 Einwohnenden reicht die Spanne der maximalen Förderung für Dach- und Fassadenbegrünung von 500-100.000 € pro Vorhaben. Prozentual schwankt die Fördergrenze zwischen 20 und sogar 100 % der förderfähigen Kosten bei Einzelfallentscheidungen. Bei einem Großteil der Städte liegt die maximale Förderung jedoch bei 50 % (Mann et al. 2020).

Neben den Fördersummen variiert auch das zur Verfügung stehende jährliche Budget fördernder Städte in Abhängigkeit von Stadtgröße und Finanzstärke. Als Ergebnis der Online-Umfrage der vorliegenden Machbarkeitsstudie kann festgehalten werden, dass 31 % der befragten Städte mit Förderprogramm jährlich unter 30.000 € für die Gebäudebegrünung bereitstellen. Weitere 32 % verfügen über ein Förderbudget pro Jahr zwischen 30.000 € und 100.000 €. Nur 10 % der befragten Städte stellen jährlich Fördergelder in Höhe von 100.000 € bis 500.000 € bereit und bei ca. 6 % beträgt das Förderbudget sogar über 1.000.000 €.

Die Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen nehmen hierbei eine Sonderrolle ein, da ihre Förderprogramme auch aus Landesmitteln finanziert werden.

Das Kölner Förderprogramm „Grün hoch 3 - Dächer | Fassaden | Höfe“ und das Frankfurter Förderprogramm „Frankfurt frischt auf!“ können zusammen mit dem „Münchner Förderprogramm für mehr Grün in der Stadt“ als nationale Best-Practice-Beispiele der kommunalen Förderung hervorgehoben werden.

Regionale Förderprogramme

Zukunftsvereinbarung Regenwasser (ZVR)

Mit der „Zukunftsvereinbarung Regenwasser“ (ZVR) besteht in der Emscherregion in NRW auch ein regionales Förderprogramm. Die ZVR wurde 2005 vom Umweltministerium des Landes NRW, der Emschergenossenschaft sowie den Kommunen der Emscherregion ins Leben gerufen und zielt auf eine nachhaltige und naturnahe Regenwasserbewirtschaftung ab. Die Einleitung von Regenwasser in die Kanalisation soll um 15 % reduziert werden und sauberes Regenwasser dem natürlichen Wasserkreislauf wieder zugeführt werden (Emschergenossenschaft 07.01.2021).

Zu den förderfähigen Maßnahmen zählt u. a. die Dachbegrünung, da Gründächer Regenwasser durch ihren Aufbau zurückhalten und anschließend über ihre Bepflanzung verdunsten. Förderberechtigt sind private Eigentumsparteien. Förderanträge können bis 2025 bei der jeweiligen Kommune der Emscherregion gestellt werden (z. B. Essen). Der genaue Fördertopf der ZVR ist nicht bekannt. Die maximale Förderung beläuft sich auf 80 % der förderfähigen Kosten bei der Herstellung eines Gründachs (Stadt Essen 07.01.2021).

Landesförderprogramme

Einige Bundesländer bieten ihrerseits Förderprogramme an, die die Gebäudebegrünung als förderfähige Maßnahme direkt oder ergänzend einbeziehen. Als grundlegende Datenquelle dient die Förderdatenbank des Bundes (BMWi 08.01.2021) sowie darüberhinausgehend die jeweiligen aktuellen Förderrichtlinien der Förderprogramme.

Zu den fördernden Flächenländern zählen NRW, Hessen, Baden-Württemberg und Thüringen (Stand Januar 2021). Mit Bezug zu Klimaschutz und Klimaanpassung sind folgende Landesförderprogramme zu nennen: Sonderprogramm Klimaresilienz in Kommunen (Corona-Hilfe des Landes NRW), Förderung von kommunalen Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekten sowie von kommunalen Informationsinitiativen (Hessen), KLIMOPASS (Baden-Württemberg), Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in Kommunen (Thüringen). Darüber hinaus werden Dach- und Fassadenbegrünungen in Programmen zur Verbesserung des Wohnumfelds, z. B. Nachhaltiges Wohnumfeld in neuen Wohnquartieren (Hessen), und zur Nachhaltigen Entwicklung, z. B. Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung (BENE), von den Ländern gefördert. Die Zielgruppen der Förderung sind insbesondere Kommunen sowie öffentlichen Einrichtungen. Zusätzlich sind die Förderprogramme zur Gebäudebegrünung der Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen aufzuführen, da diese z. T. oder gänzlich aus Mitteln des Landeshaushalts finanziert werden. Sie zielen auf die Förderung von Privatpersonen und Unternehmen ab. Neben Zuschüssen bieten einige Landesbanken auch Darlehen für Privatpersonen zur Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen an, wie z. B. die NRW.Bank oder die Bremer Aufbau Bank GmbH.

Städtebauförderung (Bund-Länder-Programme)

Ziel der Städtebauförderung ist es, Gemeinden über Finanzmittel bei städtebaulichen Herausforderungen zu unterstützen und Missstände in gesamtstaatlicher Verantwortung abzubauen. Auf Grundlage einer jährlich abgeschlossenen Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern werden Bundesfinanzhilfen nach § 104b GG und § 164a,b BauGB gewährt. Die Länder erarbeiten daraufhin Förderrichtlinien, die die förderfähigen Maßnahmen und Kosten, Förderschwerpunkte, Fördervoraussetzungen und Ausschlusskriterien definieren. Der Bund beteiligt sich an den förderfähigen Kosten grundsätzlich zu einem Drittel. Die Länder und Kommunen steuern zur Finanzierung zwei Drittel bei. Wie hoch der Eigenanteil der Kommunen ist, hängt von verschiedenen Voraussetzungen ab, z. B. von der finanziellen Lage der Gemeinde. Verschiedene Ausnahmeregelungen sind jedoch vorgesehen. Fördermittelgeber bei der Städtebauförderung sind daher sowohl der Bund als auch die Länder, weshalb von einem Bund-Länder-Programm gesprochen wird (BMI 2020).

Seit dem Jahr 2020 hat sich die Förderstruktur der Städtebauförderung gewandelt. Die ursprünglich sechs Förderprogramme verschmelzen nun zu den drei Programmen

- | | |
|---------------------------------------|------------|
| ▪ Lebendige Zentren | 300 Mio. € |
| ▪ Sozialer Zusammenhalt | 200 Mio. € |
| ▪ Wachstum und nachhaltige Erneuerung | 290 Mio. € |

Von großer Bedeutung aus Sicht der Gebäudebegrünung ist die inhaltliche Neuerung, dass Maßnahmen des Klimaschutzes bzw. zur Anpassung an den Klimawandel, insbesondere zur Verbesserung der grünen Infrastruktur (beispielsweise des Stadtgrüns), im Rahmen der Gesamtmaßnahme zu Fördervoraussetzungen werden. Daran

knüpft sich die Erwartung, dass zukünftig mehr Dach- und Fassadenbegrünungen im Rahmen der Städtebauförderung bezuschusst werden. Zusätzliche Bundesfinanzhilfen werden im Fördergebiet der Städtebauförderung innerhalb des „Investitionspakts zur Förderung von Sportstätten“ (150 Mio. €) sowie des „Investitionspakts Soziale Integration im Quartier“ (200 Mio. €) gewährt. Aufgrund der Planungshoheit der Gemeinden bei der Durchführung von städtebaulichen Sanierungsmaßnahmen sind sie alleinige Förderberechtigte und können beim zuständigen Landesministerium oder der zuständigen Behörde einen Förderantrag stellen. Finanzielle Zuschüsse werden ausschließlich für öffentliche Investitionen sowie für den unrentierlichen Teil privater Investitionen gewährt (BMI 2020).

Bundesförderprogramme

In verschiedenen Förderungen des Bundes wird die Gebäudebegrünung als eine von vielen Maßnahmen zur Klimaanpassung, zum Klimaschutz, zur Steigerung der Nachhaltigkeit oder zur energetischen Gebäudesanierung bezuschusst. Folgende Bundesförderprogramme des BMU, BMI und BMWi sind zu nennen: Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel (DAS-Förderprogramm), Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen, Sanierung kommunaler Einrichtungen in den Bereichen Sport, Jugend und Kultur, Modellprojekte zur Klimaanpassung und Modernisierung in urbanen Räumen, Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM), Kommunale Modellvorhaben zur Umsetzung der ökologischen Nachhaltigkeitsziele in Strukturwandelregionen (KoMoNa), Klimaschutzinitiative – Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte. Hinter den weit gefassten Begriffen verbirgt sich die Möglichkeit, Dach- und Fassadenbegrünung zu fördern. Im Folgenden werden beispielhaft drei aktuelle Bundesförderprogramme vorgestellt und die jeweiligen Fördermittelgeber, Ziele und Zielgruppen sowie das Budget der Förderung benannt. Als grundlegende Datenquelle dient die Förderdatenbank des Bundes (BMW i 08.01.2021) sowie darüberhinausgehend die jeweiligen aktuellen Förderrichtlinien der Förderprogramme.

Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen

Im Jahr 2020 hat das BMU ein weiteres Förderprogramm zur „Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen“ aufgebaut. Ziel ist es, die Resilienz von sozialen Einrichtungen gegenüber den Folgen des Klimawandels sowohl kurz- als auch langfristig zu stärken. Förderberechtigt sind soziale Einrichtungen in kommunaler, kirchlicher oder freier Trägerschaft, deren Träger und deren Spitzenverbände sowie Verbände auf Landes-, Bezirks- oder Kreisebene und weitere gemeinnützige juristische Personen mit Schwerpunkt der sozialen Arbeit und der Wohlfahrtspflege mit überwiegender Aktivität in Deutschland (ZUG 2021). Zuschüsse werden gewährt für

- Beratung und Konzepte
- Investive Maßnahmen (u. a. Dach- und Fassadenbegrünungen)
- Kampagnen und Weiterbildung.

Je nach Förderantragsstellenden variiert die Förderquote von 75-90 % der zuwendungsfähigen Kosten. Für Förderanträge, die bis zum 30. Juni 2021 gestellt werden, gelten erhöhte Förderquoten von bis zu 100 %.

Für den Förderzeitraum 2020-2023 werden insgesamt 150 Mio. € bereitgestellt (ZUG 08.01.2021).

Bundesprogramm Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel

Mit dem Bundesprogramm „Anpassung urbaner Räume an den Klimawandel“ leistet der Bund einen Beitrag zur klimagerechten Stadtentwicklung durch eine gezielte Entwicklung und Modernisierung der grün-blauen Infrastruktur. Gefördert werden vegetabile und bauliche Investitionen sowie investitionsvorbereitende, begleitende und konzeptionelle Maßnahmen in urbanen Grün- und Freiräumen, die diese in ihrer Vitalität und Funktionsvielfalt erhalten und weiterentwickeln. Antragsberechtigt sind Städte und Gemeinden. Förderfähig sind grundsätzlich auch Maßnahmen zur nachhaltigen klimaresilienten Dach- und Fassadenbegrünungen. Die Förderquote liegt bei bis zu 90 % der förderfähigen Kosten. In den Jahren 2021 bis 2024 stehen insgesamt 300 Mio. Euro für investive und konzeptionelle Maßnahmen in urbanen Grün- und Freiräumen zur Verfügung. Die Mittel sind durch die vom Haushaltsausschuss des Deutschen Bundestages beschlossenen Förderprojekte allerdings bereits vollständig belegt.

Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)

Zur Verbesserung des energetischen Niveaus von Bestandsgebäuden und mit Blick auf die Energie- und Klimaziele 2030 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMW i) Ende 2020 die „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) aufgestellt. Es besteht aus drei Teilprogrammen, von denen die BEG – Einzelmaß-

nahmen (EM) im Januar 2021 als erstes bei der BAFA gestartet ist. Im Rahmen der Förderung können Maßnahmen in Bestandsgebäuden für Wohn- und Nichtwohngebäude bezuschusst werden. Zu den Förderberechtigten zählen Privatpersonen, Kommunen, öffentliche Einrichtungen, Unternehmen und Verbände/Vereinigungen. Zu den förderfähigen Maßnahmen an der Gebäudehülle gehören u. a. der Erhalt und die Neuanlage von Dach- und Fassadenbegrünungen. Der Fördersatz für Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle liegt bei 20 % und die max. Höhe der förderfähigen Kosten beträgt 60.000 € pro Wohneinheit bei Wohngebäuden bzw 15 Mio. € bei Nichtwohngebäuden.

KfW-Bankengruppe

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) wurde im Jahr 1948 als Förderbank gegründet und dient der nachhaltigen Entwicklung Deutschlands. Im Auftrag des Bundes wickelt die KfW Förderprogramme ab und bietet für Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen Förder- und Finanzierungsleistungen an. In folgenden drei Förderprogrammen können Dach- und Fassadenbegrünungen bezuschusst werden: Erprobung innovativer Modellvorhaben für die künftige Gebäudeförderung, KfW-Umweltprogramm und BMU-Umweltinnovationsprogramm. Als grundlegende Datenquelle dient die Website der KfW-Bankengruppe (KfW 08.01.2021). Seit dem 30.06.2021 können bei der KfW zinsgünstige Darlehen im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) beantragt werden. Im Bereich der erneuerbaren Energien bestehen zwei Förderprogramme zur Förderung von PV-Anlagen. Herauszustellen ist hierbei, dass die Förderung eines Solar-Gründachs nicht explizit benannt ist und bisher keine Grundsatzentscheidung zur Förderung innerhalb der KfW getroffen wurde. Um eine Konkurrenzsituation zwischen Dachbegrünung und PV-Anlagen auf dem Dach zu vermeiden, ist eine Aufnahme des Solar-Gründachs in das KfW-Förderprogramm zu empfehlen.

Fazit zur Förderlandschaft der Dach- und Fassadenbegrünung in Deutschland

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Förderlandschaft der Dach- und Fassadenbegrünung in Deutschland wächst. Neben Darlehen über die KfW-Bankengruppe oder Landesförderbanken werden vor allem Zuschüsse vergeben. Förderprogramme bestehen sowohl auf kommunaler und regionaler Ebene als auch auf Landes- und Bundesebene. Die Förderberechtigten variieren je nach Ziel der Förderung und Fördermittelgeber. Während bei kommunalen und regionalen Förderprogrammen der Fokus auf Privatpersonen und KMU liegt, zielen die Landes- und Bundesförderprogramm v. a. auf eine Unterstützung von Kommunen, öffentlichen Einrichtungen sowie Forschungs- und Lehranstalten ab.

Bei den kommunalen Förderprogrammen zeigt sich, dass insbesondere Großstädte bereits über eigene Förderprogramme für ihre Bürgerinnen und Bürger verfügen. Bei Mittelstädten besteht hingegen noch großes Potenzial, da die Finanz- und Personalstärke zur Aufstellung eines Förderprogramms häufig nicht ausreichend ist. Eine bundesweite Unterstützung von finanzschwächeren Städten bei der Einführung eines Förderprogramms zur Dach- und Fassadenbegrünung ist daher zu empfehlen.

Neben den Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen setzen die ersten Flächenländer NRW, Hessen, Thüringen und Baden-Württemberg Förderprogramme für ihre Kommunen und öffentlichen Einrichtungen zur Förderung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen auf. Die Gebäudebegrünung wird darin aufgrund ihrer positiven stadtklimatischen und regenwasserwirtschaftlichen Wirkung gefördert. Auch auf Bundesebene und im Rahmen der Städtebauförderung werden Dach- und Fassadenbegrünungen v. a. als Maßnahmen zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz bezuschusst. Einzelne Förderprogramme legen den Schwerpunkt auf die Steigerung der Nachhaltigkeit oder die energetische Gebäudesanierung.

Aufgrund der teilweise weit gefassten Begriffe förderfähiger Maßnahmen und der Multifunktionalität der Gebäudebegrünung, besteht von Seiten des Bundes bereits ein breites Förderangebot zur Dach- und Fassadenbegrünung. Dieses ist jedoch nicht immer direkt zu erkennen, da die Gebäudebegrünung i. d. R. als eine von vielen Maßnahmen gefördert wird.

Im Bereich der KfW-Förderprogramme findet zum Jahr 2021 eine große Umstrukturierung der Förderung statt. Die neue Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) startet. Neben der Dachbegrünung wird nun auch die Fassadenbegrünung als Maßnahme zur Wärmedämmung förderfähig. Es können sowohl Darlehen als auch Zuschüsse vergeben werden. Um eine Konkurrenzsituation zwischen Dachbegrünung und PV-Anlagen auf dem Dach zu vermeiden, ist eine Aufnahme des Solar-Gründachs in die KfW-Förderprogramme zu erneuerbaren Energien zu empfehlen.

5.2 Hemmnisse und Hürden von Förderprogrammen

Auch wenn das Instrument „Förderprogramm“ vermehrt von Gemeinden genutzt wird, um die Maßnahmen Dach- und Fassadenbegrünung im Gemeindegebiet zu fördern, bestehen von Seiten der Fördermittelgeber bestimmte Hemmnisse bei der Aufstellung von Förderprogrammen. Gebäudebegrünungen werden bereits seit vielen Jahrzehnten professionell umgesetzt, doch auch aus Sicht der privaten Eigentümer und Eigentümerinnen als potenzielle Förderberechtigte bestehen unterschiedliche Hürden, die den Fortschritt der Gebäudebegrünung und den Erfolg bestehender Förderprogramme bremsen. Die aufgeführten Hemmnisse und Hürden ergeben sich aus Gesprächen mit städtischen Vertretern und Vertreterinnen sowie den Erkenntnissen aus der durchgeführten Online-Umfrage dieser Machbarkeitsstudie. Zudem werden Empfehlungen ausgesprochen, wie die Hemmnisse und Hürden abgebaut werden können.

Begrenzte kommunale Haushaltsmittel

In der Online-Umfrage der vorliegenden Machbarkeitsstudie stellt sich das fehlende Budget als Hauptgrund heraus, warum keine kommunale Förderung angeboten wird. Finanzschwache Gemeinden sind bei der Aufstellung eines Förderprogramms als freiwillige kommunale Leistung auf die finanzielle Unterstützung von Bund und Ländern angewiesen. Die Städtebauförderung bietet oftmals die einzige Möglichkeit, die Gebäudebegrünung als Maßnahme zur Klimaanpassung zu fördern. Auch einige Bundesländer (z. B. NRW) haben für ihre Gemeinden Förderprogramme aufgestellt, um sie bei investiven Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung zu unterstützen. Inwieweit diese Förderungen zur Umsetzung von Gebäudebegrünungen genutzt werden, ist bislang nicht bekannt.

Zusätzlicher Personalbedarf

Für die Aufstellung, Organisation, und Antragsbearbeitung eines Förderprogramms zur Dach- und Fassadenbegrünung wird Personal benötigt. Auch die Beratung von Interessierten wird z. T. durch das zuständige Stadtamt durchgeführt. Finanzstarke Städte, wie Frankfurt a. M. oder Köln, besitzen ausreichende Mittel, um den Bedarf durch die Einstellung neuer Mitarbeitenden zu decken. Bei kleineren und finanzschwachen Städten bedeutet der zusätzliche Personalbedarf hohe Kosten, die den städtischen Haushalt belasten. Die Betreuung des Förderprogramms wird daher i. d. R. über eine Umverteilung der Arbeit innerhalb der Stadtverwaltung in die laufenden Verwaltungsgeschäfte integriert (Stadt Freiburg i. Br. 2020 unveröffentlicht).

Eine ausreichende Bewerbung des Förderprogramms, eine intensive Beratung von Interessierten sowie eine Kontrolle der Umsetzung von geförderten Maßnahmen ist aus zeittechnischen Gründen nicht durchführbar.

Eine finanzielle Unterstützung des Bundes bei den zusätzlichen Personalkosten für Kommunen und zur Sicherstellung einer intensiven Betreuung des Förderprogramms ist daher zu empfehlen.

Konkurrierende Interessen

Die Gebäudebegrünung, als wichtige Maßnahme zur Klimaanpassung und zur nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung sowie zur Durchgrünung der verdichteten Stadt, wird innerhalb der Stadtverwaltungen grundsätzlich als positive Maßnahme angesehen. In Fachbereichen wie dem Denkmalschutz oder der Energieberatung, stößt sie jedoch aufgrund gegensätzlicher Interessen auf Grenzen. So ist eine Flächenkonkurrenz durch Photovoltaik (PV)-Anlagen auf dem Dach zu beobachten, die im Rahmen des Klimaschutzes stark gefördert werden. Inwieweit eine nachträgliche Begrünung denkmalgeschützter Gebäude möglich ist, hängt stark vom jeweiligen Denkmalschutzbeauftragten und dem individuellen Bauwerk ab. Es handelt sich hierbei um Einzelfallentscheidungen.

Für die Zukunft gilt es zum einen, die Vorteile der Gebäudebegrünung herauszustellen und durch einen fachlichen Diskurs Vorurteile innerhalb der Stadtverwaltung abzubauen. Der Aufbau einer deutschlandweiten Informationsveranstaltung für Städte zur Dach- und Fassadenbegrünung ist zu empfehlen und wird im Rahmen des laufenden Förderprojektes „Städtedialog Gebäudegrün“ der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) bereits angestrebt. Zum anderen ist es wichtig, Lösungswege im Rahmen von Best-Practice-Beispielen zu entwickeln, bei denen konkurrierende Interessen ausgewogen berücksichtigt werden können. Beispielsweise ist die Vereinbarkeit von nachträglicher Dach- und Fassadenbegrünung bei denkmalgeschützten Gebäuden sowie die Kombination von PV-Anlagen und Dachbegrünungen als Solar-Gründach zu nennen.

Fehlendes Fachwissen zur Dach- und Fassadenbegrünung

Zur Dach- und Fassadenbegrünung ist ein spezielles Fachwissen notwendig, um eine fachgerechte Planung, Installation und Instandhaltung zu gewährleisten sowie die Wirksamkeit der Maßnahmen sicherzustellen. Innerhalb einer Stadtverwaltung stellt die Gebäudebegrünung eine Querschnittsthematik dar, d. h. sie tangiert sowohl Umweltamt, Stadtplanungsamt, Grünflächenamt und Untere Naturschutzbehörde. Eine Bündelung der Thematik und die Benennung einer kommunalen Ansprechperson zur Gebäudebegrünung findet in vielen Städten nicht statt. Fehlendes Fachwissen zur Dach- und Fassadenbegrünung innerhalb der Stadtverwaltung führt zu Unsicherheiten bei der inhaltlichen Ausgestaltung eines Förderprogramms und bei der Beratung von Interessierten.

Um dieses Hemmnis abzubauen, ist der Aufbau einer bundesweiten Beratungsstelle zur Dach- und Fassadenbegrünung zu empfehlen. Zudem sollte das Weiterbildungsangebot für städtische Vertreter und Vertreterinnen und der fachliche Austausch zwischen den Städten gestärkt werden. Letzteres ist ebenfalls ein Ziel des DBU-Projektes „Städtedialog Gebäudegrün“. Die Online-Umfrage dieser Machbarkeitsstudie zeigt auf, dass es den Städten v. a. an einer Kosten-Nutzen-Betrachtung (19 %) und aufbereiteten Best-Practice-Beispielen (19 %) fehlt. Wichtig sind außerdem offizielle Informationsbroschüren des Bundes oder der Länder, die allen Kommunen auch zur Beratung der Bauherrschaft zur Verfügung gestellt werden.

Geringe Sichtbarkeit der Gebäudebegrünung im öffentlichen Raum

Obwohl jährlich immer mehr Dächer und Fassaden in Deutschland begrünt werden, ist die Sichtbarkeit der Maßnahmen im öffentlichen Raum eingeschränkt. Bei Gründächern liegt dies an der erhöhten Lage des Daches selbst. Denn von der Straßenebene sind begrünte Dächer häufig nicht zu erkennen. Moderne Fassadenbegrünungen werden v. a. an Neubauten errichtet und nicht an städtebaulich signifikanten Stellen oder Gebäuden der Stadt. Die Gebäudebegrünung wird daher von der Bevölkerung weniger wahrgenommen, sodass eine Auseinandersetzung mit der Maßnahme im Alltag kaum stattfindet. Die Begrünung öffentlichkeitswirksamer Gebäude ist dementsprechend wichtig, um die Sichtbarkeit der Dach- und Fassadenbegrünung im öffentlichen Raum zu steigern. Städtische Gebäude sowie Bundes- und Landesgebäude können als Vorbilder einer nachträglichen und hochwertigen Gebäudebegrünung dienen. Auch die stadtweite Begrünung von Bushaltestellen, wie es die niederländische Gemeinde Utrecht durchgeführt hat, erhöht die Sichtbarkeit im öffentlichen Raum.

Niedriger Bekanntheitsgrad des Förderprogramms

Viele Städte erarbeiten im Rahmen der Klimaanpassung Förderprogramme, die unter anderem die Dach- und Fassadenbegrünung an privaten Gebäuden als förderfähige Maßnahmen einschließen. Werden diese Programme nicht in einem ausreichenden Maße und zielgruppengerecht beworben, wird der Erfolg der Förderprogramme gehemmt, da der Bekanntheitsgrad innerhalb der Bevölkerung niedrig ist. Dies kann einer von verschiedenen Gründen sein, weshalb ein Förderprogramm wenig angenommen wird. Eine intensive Bewerbung des Förderprogramms, vor allem in der Startphase und über unterschiedliche Medien, ist daher wichtig. Eine klare und einfach zugängliche Kommunikation des Förderprogramms, bei der alle notwendigen Informationen übersichtlich und kompakt zusammengestellt sind, fördert zudem die Akzeptanz.

Unattraktive Förderhöhen für Maßnahmen

Damit ein Förderprogramm von privaten Eigentümern und Eigentümerinnen angenommen wird, sind attraktive Förderhöhen als Anreiz notwendig. Denn der Kostenaspekt bei der Herstellung und der Kostenaufwand bei der Pflege von Dach- und Fassadenbegrünungen ist ein entscheidender Grund, warum nicht mehr Begrünungen umgesetzt werden. In den kommunalen Förderprogrammen der Städte mit mehr als 50.000 Einwohnenden reicht die Spanne der maximalen Förderung für eine Dachbegrünung von 10-100 €/m² sowie 500-100.000 € pro Vorhaben. Prozentual schwankt die Fördergrenze zwischen 20 und sogar 100 % der förderfähigen Kosten bei Einzelfallentscheidungen. Bei einem Großteil der Städte liegt die maximale Förderung jedoch bei 50 % (Mann et al. 2020).

Grund für die großen Differenzen in den Förderhöhen sind vor allem die unterschiedlich zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel und die Finanzkraft der Städte. Eine finanzielle Unterstützung von Bund und Ländern ist für finanzschwache Kommunen zur Sicherstellung attraktiver Förderhöhen sinnvoll. Zusätzlich fehlt es an bundesweiten Kostenrichtwerten zur Dach- und Fassadenbegrünung, die die Investitionskosten und Folgekosten für Pflege und Wartung umfänglich abschätzen und auf deren Grundlage Städte sinnvolle Förderhöhen definieren können.

Hohe Komplexität der Förderrichtlinie

Beim Aufbau der Förderrichtlinie eines Förderprogramms ist es aus Sicht des Fördermittelgebers wichtig, eine ausreichend detaillierte und umfängliche Grundlage der Förderbedingungen und des Antragsverfahrens zu erarbeiten. Die hierbei verwendete Verwaltungs- und Fachsprache sowie eine hohe Komplexität des Antragsverfahrens können nach Einschätzung der Autoren für die privaten Eigentümerschaft Hemmnisse darstellen

Um die Akzeptanz des Förderprogramms bei privaten Eigentümern und Eigentümerinnen zu sichern, ist die Verwendung einer verständlichen Sprache sowie schlanke bürokratische Strukturen bei der Antragsstellung sinnvoll. Die jeweiligen Förderkriterien sollten direkt zu Beginn abprüfbar sein. Wichtig ist insbesondere eine Ansprechperson für Förderberechtigte, die bei aufkommenden Fragen die Antragsstellung begleiten kann.

Fachkräftemangel bei Ausführungsbetrieben

Für die fachgerechte Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen ist die Aneignung eines speziellen Fachwissens nötig. Ausführende Fachbetriebe zur Dach- und Fassadenbegrünung, zu denen sowohl Dachdeckerbetriebe als auch Garten- und Landschaftsbauende gehören, sind von einem Fachkräftemangel betroffen (Meinen/Marrett-Foßen/Bauersfeld 2021 und SOKA-DACH 2019).

Vor der Aufstellung eines Förderprogramms ist es daher wichtig, festzustellen, ob Anzahl und Kapazität der ausführenden Fachbetriebe zur Dach- und Fassadenbegrünung im Umkreis des Fördergebiets ausreichend sind. Die Erstellung einer bundesweiten Liste zu Ausführungsbetrieben der Gebäudebegrünung ist anzustreben. Auf institutioneller Ebene ist die Schaffung eines Weiterbildungsangebots zur Dach- und Fassadenbegrünung (z. B. zum zertifizierten Gebäudebegrünenden) zu empfehlen, um deutschlandweit weitere Fachbetriebe zu gewinnen, die den steigenden Bedarf decken können. Auch sollten die fachlichen Inhalte der Gebäudebegrünung stärker in der Ausbildung zu Garten- und Landschaftsbauenden sowie Dachdeckern verankert werden.

5.3 Internationale Förderprogramme: EU-Förderung und Best-Practice-Beispiele

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)

Der „Europäische Fonds für regionale Entwicklung“ (EFRE) ist ein Förderinstrument der Europäischen Kommission und dient dazu, regional benachteiligte Regionen in der Europäischen Union zu unterstützen und den wirtschaftlichen und sozialen Zusammenhalt zu stärken. Der EFRE ist Teil des übergeordneten Europäischen Struktur- und Innovationsfonds (ESIF), zu dem auch der Europäische Sozialfonds, der Europäische Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums und der Europäische Meeres- und Fischereifonds gehören. Innerhalb des EFRE bestehen folgende thematische Förderschwerpunkte:

- Forschung und Innovation
- Digitale Agenda
- Unterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU)
- CO₂-arme Wirtschaft

Die verschiedenen europäischen Regionen werden drei Kategorien zugeordnet: Weiter entwickelte Regionen, Übergangsregionen und weniger entwickelte Regionen. Je nachdem, welcher Kategorie eine betreffende Region zugehört, variiert die Prioritätenverteilung der finanziellen Mittel auf die zuvor genannten Förderschwerpunkte.

Mit dem EFRE sollen insbesondere auch wirtschaftliche, ökologische und soziale Probleme in urbanen Räumen behoben werden. Der Fokus der Unterstützung liegt auf einer nachhaltigen Stadtentwicklung (EU-Kommission 11.01.2021).

Insgesamt erhielt Deutschland für die Förderperiode 2014-2020 eine Summe von 27,9 Mrd. € aus dem ESIF. Mit diesen finanziellen Mitteln wurden deutschlandweit u. a. 15 EFRE-Programme angestoßen. Der Einsatz der Fördermittel wird i. d. R. von der Ebene der Bundesländer verwaltet, koordiniert und umgesetzt (EU-Kommission 12.01.2021). Als Beispiel der EFRE-Förderung erhielt der Freistaat Thüringen als sogenannte Übergangsregion in der Förderperiode 2014-2020 ca. 1,17 Mrd. €. Diese finanziellen Mittel müssen nach den EFRE-Bestimmungen zu 60 % in die Förderschwerpunkte Forschung und Innovation, Unterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen sowie Verringerung der CO₂-Emissionen in allen Bereichen der Wirtschaft eingesetzt werden. In fünf Prioritäten realisiert der Freistaat eigene Projekte und setzt über die Thüringer Aufbaubank Förderprogramme für Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Einrichtungen auf (TMWWDG 11.01.2021).

Kopenhagen



Abbildung 10: Dachgarten der Universität von Kopenhagen. SUND Nature Park / Mærsk Tower (BuGG)

Die dänische Hauptstadt Kopenhagen nimmt in Europa eine Vorreiterrolle in den Bereichen kommunales Regenwassermanagement und Überflutungsvorsorge ein. Zudem möchte die Stadt bis zum Jahr 2025 klimaneutral sein. Mit einem Klimaanpassungsplan reagierte die Stadt Kopenhagen im Jahre 2011 auf die zunehmenden urbanen Herausforderungen wie Hitzestress, Zunahme des Meeresspiegels oder Starkregenereignisse durch die Folgen des Klimawandels. Auslöser waren mehrere Starkregenereignisse in den Jahren 2010 und 2011, die in der gesamten Stadt zu überfluteten Straßen, vollgelaufenen Kellern und Millionenschäden führten (The City of Copenhagen 2011).

Aus dem Klimaanpassungsplan entwickelte das Amt für Technik und Umwelt 2012 den „Cloudburst Management Plan“ (CMP), der sich mit der Planung einer nachhaltigen Regenwasserbewirtschaftung und Überflutungsvorsorge für die Stadt auseinandersetzt. Der CMP skizziert Methoden für die Stadt Kopenhagen zum Umgang mit der steigenden Anzahl und Intensität von Starkregenereignissen. Außerdem gibt er Empfehlungen zu unterschiedlichen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, um die Kanalisation bei extremen Niederschlägen zu entlasten. Die Umsetzung des Maßnahmenkatalogs ist auf einen Zeitraum von ca. 20 Jahren angesetzt (The City of Copenhagen 2012).

Primär soll in Hochrisikogebiete investiert werden. Anschließend sollen Maßnahmen umgesetzt werden, die mit wenig Aufwand und einem hohen Wirkungsgrad verbunden sind. Es folgen Gebiete, in denen aktuell Stadtentwicklungsprojekte vorgesehen sind oder ein Synergieeffekt aus Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme und anderen städtischen Vorhaben zu erwarten ist. In Bezug auf die Maßnahmen sollen zunächst die grüne und blaue Infrastruktur der Stadt gestärkt und das Regenwasser auf natürliche Weise abgeleitet werden. Ziel ist es, den CMP sowohl in den kommunalen Masterplan als auch in den sektoriellen Abwasserplan der Stadt zu integrieren. Zudem soll er Bestandteil von lokalen Masterplänen und urbanen Erneuerungsplänen werden (The City of Copenhagen 2012). Damit stellt die Stadt eine nachhaltige Regenwasserbewirtschaftung in den Vordergrund der städtebaulichen Planung und weist ihr eine hohe Priorität zu.

Dach- und Fassadenbegrünungen sind ein wichtiger Bestandteil der grünen Infrastruktur und effektive Klimaanpassungsmaßnahmen. Sie werden daher sowohl im Klimaanpassungsplan als auch im CMP von der Stadt gefördert und gefordert. Zudem sind Gründächer und Grünfassaden als urbane Trittsteinbiotope in der Kopenhagener Strategie für die urbane Natur aufgeführt (The City of Copenhagen 2015). Verschiedene informelle Planungsinstrumente unterstützen in Kopenhagen die Umsetzung von Gebäudebegrünungen. Darüber hinaus hat die Stadt Kopenhagen die Begrünung von Flachdächern mit einer Dachneigung von weniger als 30 ° in den meisten neuen Bebauungsplänen seit 2010 festgeschrieben. Daraus ergibt sich nach Angaben der Stadt ein Begrünungspotenzial von ca. 200.000 m² Dachfläche. Dachbegrünungen wurden außerdem in den Richtlinien für Nachhaltigkeit im

Bauwesen und bei Bauarbeiten integriert, sodass für städtische Gebäude ein Gründach vorgeschrieben ist (The City of Copenhagen o. J.). Die Maßnahme Dachbegrünung wird von der Stadt nicht nur als funktionale Klimaanpassungsmaßnahme gesehen, sondern auch als wichtiges Gestaltungselement und Flächenressource für eine lebenswerte und nachhaltige Stadtentwicklung.

Seit Beginn der intensiven Förderung von Dachbegrünungen in Kopenhagen sind bereits einige signifikante und innovative Gründach-Projekte mit Vorbildfunktion umgesetzt worden. Hierzu gehören u. a. :

- Amager Bakke (CopenHill)
- SUND Nature Park / Mærsk Tower
- Öffentliche Dachlandschaft: The City Dune, The New National Archives, TCC-Hotel
- Park `n` Play

Paris



Abbildung 11: Urban-Farming-Dachgarten der Kochschule „Le Cordon Bleu“ in Paris (ZinCO).

Auch die französische Hauptstadt hat sich ambitionierte Nachhaltigkeits- und Klimaziele gesteckt. Bis zum Jahr 2050 soll Paris, nach Aussage der Bürgermeisterin Anne Hidalgo, CO₂-neutral sein. Darüber hinaus verfolgt Hidalgo ein ehrgeiziges Begrünungsprogramm zur Aufwertung innerstädtischer Grünflächen. Als eine von vielen Begrünungsprojekten wurde 2016 die Charta „Objective 100 hectares“ ins Leben gerufen. Ziel ist es, eine Gebäudefläche von 100 Hektar zu begrünen und ein Drittel der Dach- und Fassadenflächen zur urbanen Landwirtschaft zu nutzen. Verschiedene öffentliche Organisationen, Pariser Betriebe und die Stadtverwaltung haben sich für das Projekt zusammengeschlossen und die Charta unterschrieben (Ballhorn 2019).

Noch im selben Jahr richtete die Stadt Paris das Programm „Parisculteurs“ ein, mit dem die Installation landwirtschaftlicher Projekte im Stadtraum unterstützt wird. Über die Förderung verschiedener „Urban Farming“-Projekte werden zum einen unterschiedliche Zielstellungen verfolgt (z. B. hohe Produktivität, partizipativer Ansatz) und zum anderen unterschiedliche Methoden (z. B. oberirdischer Anbau, Gewächshäuser, Vertical Farming) getestet. Bis heute konnten über das Programm 50 Projekte mit ca. 30 ha urbanem Ackerland realisiert werden. Damit nimmt Paris eine Pionierrolle in der städtischen Landwirtschaft ein. Über 80 Partner haben mittlerweile die Charta „Objective 100 hectares“ unterschrieben (Ville de Paris 12.01.2021). 2019 lobte Paris bereits zum dritten Mal das Projekt „Parisculteurs“ aus. Neben der landwirtschaftlichen Produktion geht es der Stadt bei den Förderprojekten um eine soziale bzw. solidarische Komponente sowie um die Bildung der Bürgerinnen und Bürger im Bereich der gesunden Ernährung. Zusätzlich stellt die Stadt heraus, wie viele Arbeitsplätze durch die neue Form der Landwirtschaft geschaffen wurden, um „Urban Farming“ auch als Zukunftsmarkt und Berufsfeld zu etablieren (Ville de Paris 07.09.2019).

Folgende Projekte wurden u. a. im Rahmen des Programms „Parisculteurs“ verwirklicht:

- Gymnasium Lions Court (Vertical-Farming-Elemente)
- Les Permaculteurs de la Chapelle
- Hauptsitz des Régie Immobilière de la Ville de Paris
- Georges Rigal Turnhalle und Schwimmbad

Singapur



Abbildung 12: Gebäudebegrünung des Hotels „Parkroyal on Pickering“ in Singapur (BuGG)

Der Stadtstaat Singapur, südlich von Malaysia gelegen, verfolgt bereits seit den 1960er Jahren die Vision der „Gartenstadt“ mit dem Ziel, eine saubere und lebenswerte Stadt zu errichten. Mit einem groß angelegten Baumpflanzprogramm begrünete die Stadt zunächst ihre Straßen und Boulevards. 1971 wurde der nationale Baumpflanztag eingeführt, um Bürgerinnen und Bürger zur Begrünung ihrer privaten Wohnanlagen zu ermutigen. Es folgte 1975 der „Parks and Trees Act“, durch den Regierungsbehörden und private Bauträger und Bauträgerinnen bei der Realisierung von Bauprojekten zur Begrünung verpflichtet wurden. In den 1970er Jahren konzentrierte sich die Stadt mit dem Parkentwicklungprogramm darauf, öffentliche Grünflächen zur Naherholung und als „grüne Lungen“ zu schaffen. Von 1975 bis 2014 stieg die Fläche der Grünanlagen von 879 ha auf 9.707 ha. Seit den 1990er Jahren zielt Singapur darauf ab, zwischen den punktuellen Grünflächen ein Netz an grünen Verbindungskorridoren aufzubauen. Zudem arbeitet die Stadt mit verschiedenen Kampagnen und Partnerschaftsprogrammen daran, das grüne Bewusstsein seiner Bürgerinnen und Bürger zu stärken. Aktuell wird Singapur von der Vision „Stadt in einem Garten“ geleitet (Government of Singapore 01.08.2019).

Singapur ist heute eine der am dichtesten bevölkerten Staaten weltweit. Auf einer Fläche von ca. 700 km² leben fast 6 Mio. Menschen. Um ausreichend Wohnraum zu schaffen, werden vielerorts Hochhäuser errichtet. Ein großer Vorteil Singapurs besteht in seinem tropischen Klima, das die Stadt ganzjährig in üppigem Grün erscheinen lässt.

Damit das grüne Erscheinungsbild Singapurs nicht verloren geht und der negative Einfluss der Bebauung auf die Umwelt reduziert wird, hat sich der Stadtstaat das Ziel gesetzt, bis 2030 insgesamt 50 ha Grünfläche an Hochhäusern zu schaffen. Mit ihrem „Landscaping for Urban Spaces and High-Rises Programm“ und dem „Skyrise Greenery Incentive Scheme“ (SGIS) unterstützt Singapur seit 2009 Bauträger und Bauträgerinnen bei der Gebäudebegrünung. Dabei wird im Wohnungsbau vor allem auf intensiv nutzbare Dachterrassen, Dachgärten und grüne Balkone gesetzt. Auch auf Parkhäusern sollen öffentliche Dachlandschaften entstehen (National Parks Board 29.04.2009).

Über das SGIS werden bis zu 50 % der Installationskosten für Dach- und Fassadenbegrünungen bei bestehenden Gebäuden gefördert. Bei Gründächern liegt die max. Förderung bei \$200 pro Quadratmeter. Für eine vertikale Begrünung wird ein Zuschuss von max. \$500 pro Quadratmeter Grünfläche gewährt. Mit dem Förderprogramm konnten bereits 110 Gebäude begrünt werden. Dabei entstanden sowohl extensive Gründächer als auch essbare Dachgärten, Erholungsdächer und großflächige Fassadenbegrünungen. Mit der Neuauflage des SGIS für die Förderperiode 2015 bis 2023 soll v. a. die Umsetzung intensiver Gebäudebegrünungsformen unterstützt werden (National Parks Board 12.01.2021).

5.4 Zwischenfazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Förderlandschaft der Dach- und Fassadenbegrünung in Deutschland wächst.

Bei den kommunalen Förderprogrammen zeigt sich, dass insbesondere Großstädte bereits über eigene Förderprogramme für ihre Bürgerinnen und Bürger verfügen. Ziel ist die finanzielle Unterstützung bei der Umsetzung von freiwilligen Begrünungen im Bestand oder bei Neubauten. Auch wenn das Instrument „Förderprogramm“ vermehrt von Gemeinden genutzt wird, bestehen von Seiten der Fördermittelgeber bestimmte Hemmnisse bei der Aufstellung von Förderprogrammen. Bei Mittelstädten sind bisher wenige Förderprogramme zu finden, da die Finanz- und Personalstärke zur Aufstellung eines Förderprogramms häufig nicht ausreichend ist. Nur wenige Flächenländer, z. B. NRW, Hessen und Thüringen, unterstützen ihre Städte bei Investivmaßnahmen zur Klimaanpassung. Eine bundesweite Unterstützung von finanzschwächeren Städten mit Handlungsbedarf zur Klimaanpassung bei der Einführung eines Förderprogramms zur Dach- und Fassadenbegrünung ist daher zu empfehlen.

Gebäudebegrünungen werden bereits seit vielen Jahrzehnten professionell umgesetzt, doch auch aus Sicht der privaten Eigentümer und Eigentümerinnen als potenzielle Förderberechtigte bestehen unterschiedliche Hürden, die den Fortschritt der Gebäudebegrünung und den Erfolg bestehender Förderprogramme bremsen. Wichtig sind offizielle Informationsbroschüren des Bundes, die allen Kommunen auch zur Beratung der Bauherrschaft zur Verfügung gestellt werden. Es fehlt bislang an einer umfänglichen Kosten-Nutzen-Betrachtung und an aufbereiteten Best-Practice-Beispielen. Die Bereitstellung von produktneutralem Wissen und positiv bewerteten Projektbeispielen zur Orientierung auf Bundesebene ist zu empfehlen.

Auch auf Bundesebene und im Rahmen der Städtebauförderung werden Dach- und Fassadenbegrünungen v. a. als Maßnahmen zur Klimaanpassung und zum Klimaschutz bezuschusst. Einzelne Förderprogramme legen den Schwerpunkt auf die Steigerung der Nachhaltigkeit oder die energetische Gebäudesanierung. Bei Letzterem ist zu empfehlen, das Solar-Gründach als kombinierte Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahme in den Katalog förderfähiger Maßnahmen aufzunehmen, um eine Konkurrenzsituation zwischen PV-Anlagen und Gründach zu vermeiden.

Mit Blick auf die Entwicklungen zur Dachbegrünung in den Städten Kopenhagen, Paris und Singapur zeigt sich, dass das Dach zunehmend als wichtiges Gestaltungselement und Flächenressource für eine lebenswerte und nachhaltige Stadtentwicklung in den Fokus rückt. Auch in Deutschland sollte das Potenzial privat, öffentlich und halböffentlich genutzter Dachräume stärker beleuchtet werden, um auch in stark verdichteten Stadtgebieten eine ausreichende Grünraumversorgung sicherzustellen und auf gleichwertige Lebensverhältnisse hinzuarbeiten.

6 Fazit

Die Anzahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Gebäudebegrünung ist in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen. Sowohl die Dach- als auch die Fassadenbegrünung sind multifunktionale Maßnahmen, die verschiedene Wirkungen hervorrufen. Es konnten folgende Hauptwirkungen größtenteils quantitativ beschrieben und somit ein Nachweis des Beitrags von Gebäudegrün zu Klimaschutz und Klimaanpassung im Sinne einer nachhaltigen Stadtentwicklung erbracht werden:

- Reduzierung der Hitzebelastung im Sommer durch Verdunstungskühlung und Beschattung
- Energieeinsparung durch wärmedämmende Wirkung im Winter und als Hitzeschild im Sommer
- Entlastung der kommunalen Entwässerungseinrichtungen und Überflutungsschutz
- Längere Lebensdauer der Bausubstanz durch Schutz vor Witterungseinflüssen und Temperaturdifferenzen
- Ausbau wohnungsnaher Grünflächen zur Förderung der Gesundheit und Attraktivitätssteigerung des Wohnumfelds; erweiterter Wohnraum, Sportflächen, Urban Gardening
- Verbesserung der Luftqualität durch die Bindung von Staub und Luftschadstoffen
- Schaffung neuer Lebensräume für Flora und Fauna. Sicherung der Artenvielfalt
- Beitrag als CO₂-Senke

Bei der Dachbegrünung steht insbesondere der Beitrag zum Regenwasserrückhalt und zur Retention im Fokus, gefolgt von der Minderung des urbanen Wärmeinseleffekts und der Förderung von Flora und Fauna im urbanen Raum. Bereits extensive Gründächer mit einer Aufbauhöhe von 10 cm können 50 % des anfallenden Regenwassers zurückhalten. Ein Retentions-Gründach schafft durch rigolenartige Elemente im Systemaufbau ein zusätzliches Retentionsvolumen auf dem Dach. Über die Bepflanzung kann das angestaute Wasser im Anschluss verdunstet werden und so zur Kühlung der Umgebungstemperatur beitragen. Biodiversitätsgründächer mit hoher Strukturvielfalt schaffen naturschutzfachlich hochwertige Lebensräume für Flora und Fauna in der Stadt.

Bei der Fassadenbegrünung steht der Kühlungseffekt durch Verschattung und Verdunstung im Vordergrund sowie die Bindung von Luftschadstoffen. Der Vorteil der Fassadenbegrünung zur Dachbegrünung liegt im direkten Wirkungsumfeld des Menschen auf Straßenniveau. Auch der Beitrag zur Lärminderung und zur Verschönerung des Wohnumfelds sind zu nennen.

Dach- und Fassadenbegrünungen können als alternative Anbauflächen auch einen Teil zur urbanen Landwirtschaft beitragen oder zum urbanen Gärtnern genutzt werden. Die Überprüfung hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks im Vergleich zu herkömmlich angebauten Lebensmitteln weit außerhalb der Stadt sollte noch erfolgen, um die Nachhaltigkeit zu belegen. Während bei extensiven Begrünungen mit trockenheitstoleranten Pflanzen eine Bewässerung nicht notwendig ist, sieht das bei der intensiven Dachbegrünung und bei Fassadenbegrünungen anders aus. Es bestehen Forschungsprojekte zur Einbindung von Grauwasser und der systematischen Anstaubewässerung, die bislang noch nicht in der breiten Masse angewendet werden.

Dach- und Fassadenbegrünungen tragen durch ihr Biomassenwachstum zur C-Speicherung bei. Düngung, Bewässerung sowie die Artenauswahl mit dem Ziel „Erhöhung des Blattflächenindex“ sind Möglichkeiten zur Steigerung der C-Speicherung, die allerdings auch erhöhte Pflege, etwa den Schnitt an den Fassaden zur Folge haben. Bei extensiven Dachbegrünungen ist der Beitrag als Kohlenstoffsенke im Gegensatz zur intensiven Dachbegrünung aufgrund des geringen Pflanzenwachstums eher als gering einzustufen.

Bereits seit mehreren Jahrzehnten wird die Gebäudebegrünung fachgerecht und professionell umgesetzt. Sowohl zur Dach- als auch zur Fassadenbegrünung bestehen etablierte Regelwerke, die die aktuellen Regeln der Bau- und Vegetationstechnik umfassend darstellen und als fachliche Grundlage der Branche gelten. In Deutschland bieten die systemherstellenden Firmen bewährte Produkt- und Systemlösungen zur Dach- und Fassadenbegrünung an. Je nach Nutzungsziel, den örtlichen baulichen und klimatischen Verhältnissen, Gestaltungsabsicht, Pflegeaufwand und finanziellem Rahmen können individuelle Begrünungslösungen gefunden werden. Innerhalb der Studie konnten die grundlegenden bautechnischen Lösungen kategorisiert und beschrieben werden. Auch für die Kombination von Gebäudebegrünung, z. B. mit solarer Energiegewinnung, Grauwassernutzung oder urban farming, sind bautechnische Lösungen vorhanden.

Bestehende Kosten-Nutzen-Betrachtungen zeigen, dass ein extensives Gründach im Vergleich zu einem Kiesdach über den Lebenszyklus kostengünstiger ist. Hervorzuheben ist jedoch, dass die Vorgehensweisen und betrachteten Objekte der verschiedenen Kosten-Nutzen-Betrachtungen so unterschiedlich sind, dass sich die Ergebnisse nur bedingt miteinander vergleichen lassen. Es benötigt eine umfassende, aktuelle und transparente

Kosten-Nutzen-Betrachtung zur Dachbegrünung, um eine abschließende Aussage treffen zu können. Auch zur Fassadenbegrünung bedarf es einer Untersuchung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses. Im Rahmen der Studie wurde eine Ökobilanzierung von Gründächern nach DIN EN ISO 14040/44 durchgeführt. Als Ergebnis zeigte sich, dass alle bilanzierten Gründächer inklusive Gutschriften für CO₂-Speicherung und Energieeinsparungen in der Umweltwirkungskategorie Treibhausgaspotenzial besser als die Kiesdächer abschneiden. Bezogen auf das Treibhausgaspotenzial ist die CO₂-Speicherung der Vegetation verglichen zu den Energieeinsparungen für Heiz- und Kühlenergie von geringerer Bedeutung. Weiterer Forschungsbedarf besteht bei der Ökobilanzierung von Fassadenbegrünungen.

Zur Umsetzung von Dach- und Fassadenbegrünungen bestehen verschiedene Hinderungsfaktoren, denen nur durch gute, fachkompetente Beratung und Planung entgegengewirkt werden kann. Auf der Seite der Bauherrschaft spielen Kostenaspekte von Herstellung und Pflege eine entscheidende Rolle. Eigentümer*innen haben Sorge vor Schäden am Gebäude oder Angst vor Kleintieren und Insekten im Gebäude. Planenden fehlt das notwendige Fachwissen zur Gebäudebegrünung. Auch rechtliche Hemmnisse bestehen. Wichtig ist hierbei eine intensive Aufklärungsarbeit zur Gebäudebegrünung durch die grünen Verbände zum Abbau von Vorurteilen und die Installation von Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen zum Abbau von Wissensmangel. Die Bereitstellung aktueller Kosten-Nutzen-Betrachtungen und Ökobilanzierungen zur Dach- und Fassadenbegrünung sowie objektiver Informationsbroschüren durch den Bund kann eine Entscheidungshilfe bieten und die Hinderungsgründe zur Umsetzung reduzieren.

Dach- und Fassadenbegrünung sind am wirkungsvollsten, wenn sie großflächig über ein ganzes Stadtgebiet bzw. einzelne, besonders betroffene Stadtteile (Hot Spots) ausgeführt werden. Im Neubau lassen sich die Maßnahmen bereits im Vorhinein mit einplanen. Dagegen ist die Umsetzung von Gebäudebegrünungen an Bestandsgebäuden an die gegebenen Voraussetzungen zu Statik, Brandschutz, Wurzelschutz, Absturzsicherung und Dachneigung geknüpft. Ob eine Begrünung möglich ist, muss im Einzelfall entschieden werden. Um eine Konkurrenzsituation zwischen Gründach und alternativer Energiegewinnung mit PV-Anlagen oder Solarthermie auf der Dachfläche zu verhindern, bildet das Solar-Gründach eine Kompromisslösung für Klimaschutz- und Klimaanpassungsbestrebungen. Eine Begrünung des Daches sollte aufgrund der vielfältigen Vorteile, insbesondere aufgrund des Regenwasserrückhalts, auch bei einer allgemeinen PV-Pflicht möglich sein. Hierauf ist auf Bundesebene zu achten. Der Markt reagiert zudem auf Empfehlungen, Dichtungsbahnen oder Schutzschichten ohne chemischen Wurzelschutz zu verwenden, sodass sich biozidfreie wurzelfeste Bitumenbahnen fortwährend in der Weiterentwicklung befinden. Auch im Bereich der Aluminium-Kiesleisten werden von den Herstellern alternative Materialien angeboten.

Die Dach- und Fassadenbegrünung kann über verschiedene direkt und indirekt fördernde Instrumente begünstigt werden. Zu den fordernden Instrumenten zählen die Festsetzung der Maßnahmen in Bebauungsplänen und die Einbindung in Gestaltungssatzungen. Darüber hinaus sind die indirekt fördernden Instrumente Gebührenreduktion bei der gesplitteten Abwassergebühr, Anrechnung innerhalb von Ökokonten im Rahmen der Eingriffsregelung sowie Informations- und Beratungsangebote zu nennen. Die Instrumente unterscheiden sich hinsichtlich ihres Wirkungsbereichs, ihrer Verbindlichkeit und ihrem finanziellen Aufwand für die Stadt. Insbesondere die Förderlandschaft zur Gebäudebegrünung wächst. Neben kommunalen und Landesförderprogrammen bieten auch die Städtebauförderung sowie einige Bundesförderprogramme Zuschüsse für Gebäudegrün an.

Innerhalb der Studie konnten verschiedene Hemmnisse und Förderlücken erkannt werden, zu denen es ein weiteres Engagement auf Bundesebene bedarf:

- Unterstützung finanzschwächerer Städte bundesweit mit Handlungsbedarf zur Klimaanpassung bei der Einführung eines Förderprogramms zur Dach- und Fassadenbegrünung
- Bereitstellung von produktneutralem Wissen und positiv bewerteten Projektbeispielen zur Gebäudebegrünung
- Integration der Maßnahme „Solar-Gründach“ in bestehende Bundesförderprogramme zu Klimaschutz und energetische Gebäudesanierung
- Stärkung der intensiven Dachbegrünung als nutzbaren Freiraum durch Förderung und Anpassungen im BauGB
- Einbezug von Gebäudegrün in allen Bewertungssystemen des Nachhaltigen Bauens
- Forschung zur aktuellen Planungspraxis von Fassadenbegrünungen

7 Literaturverzeichnis

- Aber, John; Melillo, Jerry, 2001: Terrestrial Ecosystems. San Diego, CA: Harcourt Academic Press.
- Akbari, H.; Konopacki, S., 2005: Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies". Energy Policy, 33(6): 721-756.
- Al-Chalabi, Malek, 2015: Vertical farming: Skyscraper sustainability? Sustainable Cities and Society 18: 74–77.
- Ansel, Wolfgang; Baumgarten, Heiner; Dickhaut, Wolfgang; Kruse, Elke; Meier, Reimer (Hrsg.), 2012: Leitfaden Dachbegrünung für Kommunen. Nutzen, Fördermöglichkeiten, Praxisbeispiele. Deutscher Dachgärtner-Verband. 2. Aufl. Nürtingen.
- Ansel, Wolfgang; Esch, Thomas; Schmid, Alexander; Wahle, Helmut; Reichmann, Brigitte; Müller, Hans; Eisenberg, Bernd; Ludwig, Ferdinand; Schönle, Daniel, 2016: Kommunale Gründachstrategie. DDV, Nürtingen, 48S.
- Artmann, M.; Sartison, K., Vavra, J., 2020: The role of edible cities supporting sustainability transformation - A conceptual multi-dimensional framework tested on a case study in Germany. Journal of Cleaner Production 255.
- Ausgleichsagentur Schleswig-Holstein GmbH, 2021: Ökokonto. Zugriff: <https://www.ausgleichsagentur.de/was-wir-tun/oekokonto/> [abgerufen am 28.01.2021].
- Baek, S.S.; Ligaray, M., Pachepsky, Y., Chun, J.A., Yoon, K.S., Park, Y., Cho, K.H., 2020: Assessment of a green roof practice using the coupled SWMM and HYDRUS models. Journal of Environmental Management 261 (2020) 109920.
- Ballhorn, Danilo, 2019: Paris investiert 72 Millionen Euro in seine Grünräume. In: Stadt+Grün (12). Patzer Verlag. Berlin-Hannover. S. 8.
- Bambach, G., 2012: Feuchtigkeit in Grünen Wänden messen und steuern, In: Tagungsband 5. FBB-Symposium Fassadenbegrünung am 24.10.2012. Frankfurt.
- Bartfelder, Friedrich; Köhler, Manfred, 1987: Experimentelle Untersuchungen zur Funktion von Fassadenbegrünungen. FU-Berlinfoorschung. 3. Ausschreibung 612 S. Berlin.
- Bau- und Umweltchemie AG, 2021: GI – Gutes Innenraumklima. Zugriff: <https://gutes-innenraumklima.ch/> [abgerufen am 22.01.2021].
- BAuA - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2010: Wohlbefinden im Büro. Arbeits- und Gesundheitsschutz bei der Büroarbeit. 7. Aufl. Dortmund.
- BAuA - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2018: ASR A2.1. - Technische Regeln für Arbeitsstätten - Schutz vor Absturz und herabfallenden Gegenständen, Betreten von Gefahrenbereichen.
- BAuA - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2020: Leitlinie für die Asbesterkundung zur Vorbereitung von Arbeiten in und an älteren Gebäuden, Dortmund.
- Baumann, Thomas; Schär, Daniel; Carigiet, Fabian; Dreisiebner, Andreas; Baumgartner, Franz, 2016: Performance analysis of PV green roof systems. München.
- Baumann, Thomas; Carigiet, Fabian; Knecht, Raphael; Klenk, Markus; Dreisiebner, Andreas; Nussbaumer Hartmut; Baumgartner, Franz, 2018: Performance analysis of vertically mounted bifacial PV moduls on green roof system. ZHAW, Zurich University of Applied Sciences, Zürich.
- Baunetz_Wissen, 2021a: BNB: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude. Zugriff: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/nachweise-zertifikate/bnb-bewertungssystem-nachhaltiges-bauen-fuer-bundesgebaeude-2402695> [abgerufen am 22.01.2021].
- Baunetz_Wissen, 2021b: BREEAM: Britisches Nachhaltigkeitszertifikat. Zugriff: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/nachweise-zertifikate/breeam-britisches-nachhaltigkeitszertifikat-668527> [abgerufen am 22.01.2021].
- Baunetz_Wissen, 2021c: LEED. Amerikanisches und kanadisches Nachhaltigkeitszertifikat. Zugriff: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/nachweise-zertifikate/leed-amerikanisches-und-kanadisches-nachhaltigkeitszertifikat-668722> [abgerufen am 22.01.2021].

-
- BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2017: CO₂-neutral in Stadt und Quartier – die europäische und internationale Perspektive. BBSR-Online-Publikation 03/2017. Bonn.
- BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2020: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Flächeninanspruchnahme. BNB_LN Laborgebäude. Berlin.
- BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2021: Bundesprogramm Nationale Projekte des Städtebaus. Zugriff: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zip/nps/nps-node.html> [abgerufen am 08.01.2021].
- Belcher, Richard N.; Sadanandan, Keren R.; Goh, Emmanuel R.; Chan, Jie Yie; Menz, Sacha; Schroepfer, Thomas, 2019: Vegetation on and around large-scale buildings positively influences native tropical bird abundance and bird species richness. *Urban Ecosystems* 22: 213–225.
- Berlin – Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.), 2010: Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung, Berlin. Zugriff: www.gebaeudekuehlung.de/SenStadt_Regenwasser_dt_gross.pdf [abgerufen am 10.11.2020].
- Bevilacqua, P.; Bruno, R.; Arcuri, N. 2020: Green roofs in a Mediterranean climate: Energy performances based on in-situ experimental data. *Renewable Energy* (2020).
- BfN – Bundesamt für Naturschutz, 2020: Eingriffsregelung. Zugriff: <https://www.bfn.de/themen/planung/eingriffe/eingriffsregelung.html> [abgerufen am 28.01.2021, letzte Änderung 07.10.2020].
- BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2019: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden. Berlin.
- BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2020: Polymerbitumen-Dichtungsbahnen. Zugriff: <https://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/dichtungen-abdichtungen/abdichtungsbahnen/polymerbitumen-dichtungsbahnen.html> [abgerufen am 15.12.2020].
- BMI – Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2020: Städtebauförderung 2020. Informationen zu den Förderprogrammen. Berlin.
- BMI - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2020: Projektauftrag 2020 zum Programm "Sanierung kommunaler Einrichtungen in den Bereichen Sport, Jugend und Kultur". Veröffentlicht am 11.08.2020. Zugriff: <https://www.sportjugend-kultur.de/news/projektauftrag-2020-zum-programm-sanierung-kommunaler-einrichtungen-in-den-bereichen-sportjugend-u/> [abgerufen am 08.01.2021].
- BMI – Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2021: Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen. Zugriff: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/> [abgerufen am 22.01.2021].
- BMI und BYAK - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Bayerische Architektenkammer (Hrsg): Ökologisches Baustoffinformationssystem. Zugriff: <https://www.wecobis.de/service/sonderthemen-info/biozide-info/biozide-alternativen-info.html> [abgerufen am 25.09.2021].
- BMI und DGNB - Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V., 2018: Gemeinsame Erklärung zur Qualität von Bewertungssystemen des Nachhaltigen Bauens. Zugriff: <https://www.baulinks.de/webplugin/2018/1614.php4> [abgerufen am 22.01.2021].
- BMU und BBSR - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2007: Gebäude, Begrünung, Energie. Potenziale und Wechselwirkungen. Bonn.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2020: „Verordnung über die Kompensation von Eingriffen in Natur und Landschaft im Zuständigkeitsbereich der Bundesverwaltung“, Zugriff: <https://www.bmu.de/gesetz/verordnung-ueber-die-kompensation-von-eingriffen-in-natur-und-landschaft-im-zustaendigkeitsbereich-der/> [abgerufen am 28.01.2021, letzte Änderung 19.08.2020].
- BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011: Handbuch Prüfunterlage für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden. Bonn. S. 8f.
- BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2019: Berichte aus Energie- und Umweltforschung 27/2019. Hocheffiziente Fassaden- und Dachbegrünung mit Photovoltaik-Kombination. Wien.

-
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021: Förderdatenbank Bund, Länder und EU. Zugriff: <https://www.foerderdatenbank.de> [abgerufen am 08.01.2021].
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021: Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren. Infografik Klimaschutz. Zugriff: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Industrie/treibhausgasemissionen-deutschland-nach-sektoren.html> [abgerufen am 05.07.2021].
- BNatSchG - Bundesnaturschutzgesetz, 2009: Zugriff: https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/BNatSchG.pdf [abgerufen am 28.01.2021].
- Bornholdt, Hanna, 2017: Hamburgs Gründächer eine Ökonomische Bewertung. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (BUE).
- Bousselot, Jennifer; Russell, Virginia; Tolderlund, Leila; Celik, Sedar; Retzlaff, Bill; Morgan, Susan; Buffam, Ishi; Coffman, Reid; Williams, Jason; Mitchell, Mark. E.; Backer, Jen, DeSpain, Jesica, 2020: Green Roof Research in North America: A Recent History and Future Strategies, J. of Living Arch 7(1) 27-64.
- BRE - Building Research Establishment, 2021: What is BREEAM? Zugriff: <https://www.breeam.com/> [abgerufen am 22.01.2021].
- Breitenberger, 2013: Kritische Analyse der in Deutschland angewandten Zertifizierungssysteme für nachhaltige Immobilien. Bachelorarbeit. Hochschule Mittweida. Mittweida.
- Bremer Umweltberatung e. V., 2021: Dachbegrünung. Naturoasen auf dem Dach. Zugriff: <https://www.bremer-umweltberatung.de/Foerderprogramme-Dachbegruenung.html> [abgerufen am 04.01.2021].
- Brenneisen, S., 2003: Ökologisches Ausgleichspotenzial von extensiven Dachbegrünungen. Bedeutung des Ersatz-Ökotopt für den Arten- und Naturschutz und die Stadtentwicklungsplanung. Basel.
- Brenneisen, S., 2014: Naturschutz auf Dachbegrünungen in Verbindung mit Solaranlagen. Basel.
- Briz, J.; De Felipe, I.; Köhler, M., 2015: Green cities in the world. Editorial Agricola Espanola. Madrid, S. 478 2.Aufl.
- Briz, J.; De Felipe, I.; Köhler, M., (Hrsg.) 2019: Multifunctional Urban Green Infrastructure. Editorial Agricola Espana, Madrid, S. 350.
- Browne, Henrique, 2009: Consortium building conception. Zugriff: <https://5osa.com/851> [abgerufen am 04.01.2021].
- Buffam, Ishi, Mitchell, Mark, E., 2015: Nutrient cycling in green roof ecosystems. In R. Sutton (Ed.), Green Roof Ecosystems (pp. 107-137). New York: Springer.
- BSU – Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.), 2013: Mehr Stadt in der Stadt: Gemeinsam zu mehr Freiraumqualität in Hamburg. Hamburg.
- BUE – Behörde für Umwelt und Energie. Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.), 2017: Hamburgs Gründächer. Eine Ökonomische Bewertung. Hamburg.
- BUE – Behörde für Umwelt und Energie. Freie und Hansestadt Hamburg (Hrsg.), 2018: Dachbegrünung – Leitfaden zur Planung. Begründungsunterlagen für Dachbegrünungen in der verbindlichen Bauleitplanung sowie in der Baugenehmigungspraxis. Hamburg.
- BUE - Behörde für Umwelt und Energie, Freie und Hansestadt Hamburg, 2021: Auf die Dächer -Fertig – Grün! – Hamburger Gründachstrategie. Zugriff: <https://www.hamburg.de/gruendach/> [abgerufen am 22.01.2021].
- BuGG – Bundesverband GebäudeGrün e.V., 2019: Förderung von Dach- und Fassadenbegrünungen. Zugriff: www.gebaeudegruen.info/gruen/dachbegruenung/wirkungen-vorteile-fakten/foerderung-2019 [abgerufen am 18.10.2020].
- BuGG – Bundesverband GebäudeGrün e.V., 2020: Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünungen. Eigenverlag. Berlin.
- Building Material Scout GmbH, 2021: LEED. Leadership in Energy & Environmental Design. Zugriff: <https://building-material-scout.com/nachhaltiges-bauen/leed/> [abgerufen am 22.01.2021].
- BUKEA – Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Freie und Hansestadt Hamburg, 2021: Handbuch Grüne Wände. Auf die Wände – Fertig – Grün! Hamburger Fassadenbegrünung. Hamburg.

-
- BUND Hannover, 2021: Herzlich Willkommen beim BUND Region Hannover! Zugriff: <https://www.bund-hannover.de> [abgerufen am 04.01.2021].
- Burkhardt, Michael; Zuleeg, Steffen; Eugster, Jakob; Hean, Sivutha; Haag, Regula; Schmid, Peter; Kohler, Martin; Boller, Markus, 2008: Mecoprop in Bitumenbahnen – Auswaschung von Mecoprop aus Bitumenbahnen und Vorkommen im Regenabwasser. Dübendorf.
- Bustami, Rosmina A.; Belusko, Martin; Ward, James; Beecham, Simon, 2018: Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. *Building and Environment* 146: 226–237.
- Cao, J.J.; Hu, S.; Dong, Q.; Liu, L.; Wang, Z.L, 2019: Green roof cooling contributed by plant species with different photosynthetic strategies. *Energy & Buildings* 195, 45–50.
- Cascone, S.; Coma, J.; Gagliano, A.; Pérez, G., 2019: The evapotranspiration process in green roofs: A review *Building and Environment* (2018).
- Catalano, C.; Laudicina, V.A.; Badalucco, L.; Guarino, R.; 2018: Some European green roof norms and guidelines through the lens of biodiversity: Do ecoregions and plant traits also matter? *Ecological Engineering* 115 (2018) 15–26.
- Catalano, C.; Marcenò, C.; Laudicina, V.A.; Guarino, R., 2016: Thirty years unmanaged green roofs: Ecological research and design implications. *Landscape and Urban Planning* 149: 11–19.
- Celik, S.; Ogus-Binatli, A., 2018. Energy savings and economic impact of green roofs: A pilot study. *Emerging Markets Finance and Trade*, 54(8): 1778-1792.
- Celik, S., D.; Murphy, D.; Morgan, S.; Retzlaff, W., 2019: Thermal heat flux evaluation of sloped green roofs and shingle roofs. *Journal of Living Architecture*, 6(1): 15-30.
- Chemisana, Daniel; Lamnatou, Chr., 2014: Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. Lleida.
- Cochet, Hervé, 1983: Grün hilft sparen – Wohlfahrtswirkungen und Kostensenkungen – Gemeinsame Dokumentation des BDLA, BdB, BGL, BGL Bonn, verv. Mskr. 64S.
- Coffman, R.; Waite, T., 2011: Vegetated roofs as reconciled habitats: rapid assays beyond mere species counts. *Urban Habitats*, 6(1): 1-10.
- Committee on Industry, Research and Energy, 2020: Draft Report. Zugriff: https://www.euractiv.com/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Cuffe_report.pdf [abgerufen am 25.10.2020].
- Connelly, M.; Hodgson, M. 2008: Thermal and Acoustical Performance of Green Roofs. Sound Transmission Loss of Green Roofs. Baltimore, S. 8. Zugriff: https://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/2008_grhc_connelly_hodgson.pdf [abgerufen am 18.12.2017].
- Connelly, M.; Hodgson, M., 2013: Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs *Applied Acoustics* Volume 74, Issue 10, 1136-1143.
- Dapper, Heinrich, 1966: Zur Stoffproduktivität der Großen Brennessel an einem Ruderalstandort. *Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg, Berlin* 103: 54-64.
- Davis, M.J.M.; Ramírez, F.; Vallejo, A.L., 2015: Vertical gardens as swamp coolers. *Procedia Engineering* 118: 145 – 159.
- DeNardo, J. C. et al., 2005: Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs, In: *Transactions of the ASAE*, 48(4), pp. 1491–1496. Zugriff: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=19181> [abgerufen am 17.11.2020].
- Dettmar, Jörg; Pfoser, Nicole; Sieber, Sandra, 2016: Gutachten Fassadenbegrünung - Gutachten über quartiersorientierte Unterstützungsansätze von Fassadenbegrünungen für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKUNLV) NRW. Darmstadt.
- Dettmar, Jörg; Drebes, Christoph, Sieber, Sandra, 2020: Energetische Stadtraumtypen – Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen. Stuttgart.
- DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V, 2020: DGNB-System. Kriterienkatalog. Stuttgart.

-
- DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V., 2021: Europas größtes Netzwerk für nachhaltiges Bauen. Zugriff: <https://www.dgnb.de/de/index.php> [abgerufen am 22.01.2021].
- DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik, 2019: Gutachten Nr. G-101-18-0008, GZ: 5505.072#2018-8/5.
- DIFNI - Deutsches Privates Institut für Nachhaltige Immobilienwirtschaft, 2019: GÜ001-DE Gebührenordnung. Prozessgebühren BREEAM Bestand. Erstellt/Geändert am 02.01.2019. Zugriff: https://difni.de/media/que001-de_breeam_de_bestand_gebuehrenordnung_1.pdf [abgerufen am 22.01.2021].
- Dominguez, María, Virginia Sánchez; González, Ezequiel; Fabián, Diego; Salvo, Adriana; Fenoglio, María, Silvina, 2020: Arthropod diversity and ecological processes on green roofs in a semi-rural area of Argentina: Similarity to neighbor ground habitats and landscape effects. *Landscape and Urban Planning*, Volume 199: 7.
- Dong, J.; Lin, M.; Zuo, J.; Lin, T.; Liu, J.; Sun, C.; Luo, J., 2020: Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a highdensity urban AreadA case study of Xiamen, China. *Journal of Cleaner Production* 255 (2020) 120152.
- Dörries, J.; Zens, U., 2003: Multifunktionale Dachvegetation, In: *Garten und Landschaft Jg. 113, Nr.10, S. 22 ff.*
- Dover, John, W., 2015: *GREEN INFRASTRUCTURE. Incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments.* Routledge, New York.
- Drake, P.; Grimshaw-Surette, H.; Heim, A.; Lundholm, J., 2019: Mosses inhibit germination of vascular plants on an extensive green roof. *Ecological Engineering* 117, 111-114.
- Droste zu Hülshoff, Bettina v. 1970: Struktur, Biomasse und Zuwachs eines älteren Fichtenbestandes. *Forstw. Cbl.* 89: 162-171.
- Eger, C.; Chandler, D.; Driscoll, C., 2017: Hydrologic processes that govern stormwater infrastructure behavior." *Hydrologic Processes*, 31(25): 4492-4506.
- Ehret, Ananda, 2020: Keine heiße Luft. *Stadt Bauwelt* 227: 19, S.15-19.
- Eichholz, Ann-Kathrin; Kiehl, Kathrin; Schoppengerd, Johanna; Schröder, Roland, 2020: Dachbegrünungen für den Natur- und Klimaschutz. Aktuelle Relevanz und planerische Steuerungsmöglichkeiten. In: *RaumPlanung* 208 (5), S.16-23. Dortmund.
- EmscherGenossenschaft, 2021: Zukunftsvereinbarung Regenwasser. Zugriff: <https://emscher-regen.de/index.php?id=6> [abgerufen am 07.01.2021].
- Engel, Thomas; Noder, Julia, 2020: *Begrünte Fassaden aus brandschutztechnischer Sicht.* Bautechnik. München.
- ENVI-MET, 2020: Modell für das Stadtklima. Berechnen Sie das Mikroklima einer Stadt aus fen Quadratmeter genau. Zugriff: <https://www.envi-met.com/de/> [abgerufen am 25.10.2020].
- EU-Kommission, 2020a: Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. Brussels, 14.10.2020. Zugriff: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu_renovation_wave_strategy.pdf [abgerufen am 25.10.2020].
- EU-Kommission, 2020b: Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. EU Biodiversity Strategy for 2030 Bringing nature back into our lives. Brussels, 20.05.2020. Zugriff: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a3c806a6-9ab3-11ea-9d2d-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF [abgerufen am 30.06.2021]
- EU-Kommission, 2021a: Europäischer Fonds für regionale Entwicklung. Zugriff: https://ec.europa.eu/regional_policy/de/funding/erdf/ [abgerufen am 11.01.2021].
- EU-Kommission, 2021b: EU-Förderung in Deutschland. Zugriff: https://ec.europa.eu/germany/eu-funding/grants_de [abgerufen am 12.01.2021].
- Fabbrizzi, Fabio, 2003: *Architettura verso natura. natura verso architettura.* Florenz.
- FBB - Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V., 2013: 11. Internationales FBB Gründachsymposium 2013 Dachbegrünung im Bebauungsplan. Überzeugungsarbeit bei Gemeinderat und Industrie Armin Schott, Stellv. Leiter im Amt für Stadtentwicklung Stadt Villingen-Schwenningen. Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB). Saarbrücken.

-
- FBB - Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V., 2017: Bundesweite Strategie Gebäudegrün. Saarbrücken, Eigenverlag.
- Feller, Stefan, 2017: Kosten-Nutzen-Betrachtung von Dachbegrünungen. GebäudeGrün 4/2017. Berlin, S. 4-8.
- Filazzola, Alessandro, Shrestha, Namrata; MacIvor, Scott, 2019: The contribution of constructed green infrastructure to urban biodiversity: A synthesis and meta-analysis. J Appl Ecol. 2019: 1–13.
- Fischer, U., 2002: Optimierung von TWD-Speichersystemen unter Beachtung der Bauschadensfreiheit. Natürliche Begrünung als sommerlicher Überhitzungsschutz, Schlussbericht zum BMWi-Projekt 0335004 V/2. Cottbus, S. 27 ff.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.), 2000: Fassadenbegrünungsrichtlinien. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Bonn.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (Hrsg.), 2008: Dachbegrünungsrichtlinien. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Bonn.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e. V. (Hrsg.), 2018: Dachbegrünungsrichtlinien. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Bonn.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e. V. (Hrsg.), 2018: Fassadenbegrünungsrichtlinien. Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- und Fassadenbegrünungen. Bonn.
- FNB – Forum Nachhaltiges Bauen, 2021: Bims – Ökobilanz. Zugriff: <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Bims> [abgerufen am 09.02.2021].
- Frahm, J.P., 2008: Feinstaubreduktion an Straßenrändern durch Moosmatten, In: Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.): Fachtagung Luftqualität an Straßen 5.–6. März 2008. Bergisch Gladbach, S. 47.
- Frahm, J.-P., 2009: Schadstofffilterung auf dem Dach mit Moosen. Tagungsband 7. Internationales FBB-Gründachs-symposium in Ditzingen 2009, S. 28-31. Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB). Saarbrücken.
- Freie und Hansestadt Hamburg, 2017: Ökonomische Lebenszyklusbetrachtung. Hamburgs Gründächer - Eine ökonomische Bewertung. Hamburg, S. 16-17.
- Freie und Hansestadt Hamburg, 2018: Dachbegrünung – Leitfaden zur Planung. Hamburg.
- Freie und Hansestadt Hamburg, 2021: Hamburger Energielotsen. Das Team. Wir stellen uns vor. Zugriff: <https://www.hamburg.de/energielotsen/12789702/team/> [abgerufen am 04.01.2021].
- Gajkowski, Michal 2020: Parametric plant models for sustainable development of BIM landscape projects. Masterarbeit HS Neubrandenburg.
- Getter, K.; Rowe, D.; Robertson, G.; Cregg, B.; Andresen, J., 2009: Carbon sequestration potential of extensive green roofs. Environmental science & technology, 43(19), 7564-7570. Department of Horticulture, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, USA. Michigan.
- Getter, K.; Rowe, B.; Andresen, J.; Wichman, I., 2011: Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Mid-western US climate. Energy and Buildings, 43(12).
- GGBA – German Green Building Association e. V., 2021a: Leadership in Energy and Environmental Design LEED | GGBA. Zugriff: <https://www.german-gba.org/leed/> [abgerufen am 22.01.2021].
- GGBA – German Green Building Association e. V., 2021b: Systeme. Zugriff: <https://www.german-gba.org/systeme-ggba/> [abgerufen am 22.01.2021].
- Gohlke, R., 2019: Forschungslandschaft zur Gebäudebegrünung. Gebäude-Grün (1), S. 22-25, Patzer Verlag Berlin-Hannover.
- Goodman, Wylie; Minner, Jennifer, 2019: Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agriculture in New York City. Land Use Policy 83 (2019) 160–173.
- Government of Singapore, 2019: "Garden City" Vision is introduced 11th May 1967. Zuletzt überarbeitet am 01.08.2019. Zugriff: <https://eresources.nlb.gov.sg/history/events/a7fac49f-9c96-4030-8709-ce160c58d15c#1> [abgerufen am 12.01.2021].
- Graf, Christian, 2008: Programmatische Gestaltungsstile in der Landschaftsarchitektur, Masterthesis, IMLA.

Grant, Gerry; Gedge, Dusty, 2019: Living Roofs and Walls from policy to practice - 10 years of urban greening in London and beyond. This report is published by the European Federation of Green Roof and Green Wall Associations (EFB) and Livingroofs.org on behalf of the Greater London Authority.

Green City e. V., 2021: Begrünungsbüro. Zugriff: <https://www.greencity.de/projekt/begrueunungsbuero/> [abgerufen am 04.01.2021].

GRHC - Green Roofs for Healthy Cities, 2020: Welcome. Zugriff: <https://greenroofs.org/> [abgerufen am 25.10.2020].

Grün Statt Grau (Hrsg.) 2019: Richtpreise für die ÖNorm gerechte Herstellung von Bauwerk Begrünung durch Fachbetriebe. GrünStattGrau-Fachinformation.

Grüne Bremen, 2019: Privatleute können von Förderung für Dachbegrünung profitieren. Veröffentlicht am 4. Dezember 2019. Zugriff: <https://gruene-bremen.de/privatleute-koennen-von-foerderung-fuer-dachbegrueunung-profitieren/> [abgerufen am 08.01.2021].

Halle, C.; Tzani-Pepelasi, C.; Pylarinou, N.R.; Fumagalli, A., 2020: The link between mental health, crime and violence. *New Ideas in Psychology* 58 (2020).

Hämmerle, Fritz, 1995: Kosten-Nutzen-Analyse einer extensiven Dachbegrünung. *Dach+Grün*, S. 2-5.

Hämmerle, Fritz, 2002: Kosten und Nutzen von Dachbegrünungen.

Hämmerle, F., 2010: Die Wirtschaftlichkeit von Gründächern aus Sicht des Bauherrn. Eine Kosten-Nutzen-Analyse. Zugriff: www.haemmerle-gruendach.de/artigr/wirtvongd.html [abgerufen am 22.08.2013].

Harlaß, R., 2008: Verdunstung in bebauten Gebieten. Universität Dresden.

Hegger, Manfred; Wollenweber, Jörg; Schäfer, Isabell; Heinrich, Johanna; Hartwig, Joost; Klippert, Tanja; Heidecke, Therese; Schetter, Simon, 2009: Forschungsprojekt energy:shell - Leitfaden zur Integration energie-gewinnender Systeme in die Gebäudehülle. *Solar Decathlon 2007*. Stuttgart.

Hendarti, Religiana, 2013: The influence of the evapotranspiration process of green roof tops on PV modules in the tropics. Dissertation. National University of Singapore. Singapore.

Henke, Annika, 2017: Leistungsfähigkeit von Photovoltaik in Kombination mit Dach- und Fassadenbegrünung. – Bachelorarbeit Landschaftsarchitektur. Fachhochschule Erfurt, Erfurt.

Hennebrüder, Willi, 2003: Ist die gesplittete Abwassergebühr notwendig? Eine ökonomische, ökologische und rechtliche Bewertung. In: *Kommunale Steuer-Zeitschrift* 52 (1), S. 5–12.

Herfort, S.; Tschukowa, S.; Ibanez, A., 2012: CO₂-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte (IASP) an der Humboldt-Universität zu Berlin. Berlin.

Heusinger, J.; Weber, S., 2017: Extensive green roof CO₂ exchange and its seasonal variation quantified by eddy covariance measurements. *Science of the Total Environment*.

Heusinger und Weber, 2017: Mikrometeorologische Quantifizierung der Energiebilanz, der Verdunstung und des CO₂-Austausches eines extensiven Gründaches. TU Braunschweig. Braunschweig.

Heybrock, G., 1984: Der Tayrona-Trockenwald Nord Kolumbien. Eine Ökosystemstudie unter besonderer Berücksichtigung der Biomasse, Blattflächenindex (LAI). *Giessener Geogr. Schriften*. 55: 1-104.

Hoffmann, Leslie; Cheeney, Colin, 2005: *Green roofs – Ecological design and Construction*. Schiffer Publisher, Atglen, USA.

HMUKLV - Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2018: Land fördert nachhaltiges Wohnumfeld in neuen Wohnquartieren. Veröffentlicht am 07.06.2018. Zugriff: <https://umwelt.hessen.de/pressearchiv/pressemitteilung/land-foerdert-nachhaltiges-wohnumfeld-neuen-wohnquartieren> [abgerufen am 08.01.2021].

HMUKLV - Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2021: Klimamaßnahmen in Klima-Kommunen werden in 2021 und 2022 mit bis zu 100 Prozent vom Land gefördert. Zugriff: <https://umwelt.hessen.de/klima/foerderung> [abgerufen am 08.01.2021].

-
- Hoffmann, Thomas; Fabry, Wolfgang, 1998: Regenwassermanagement - natürlich mit Dachbegrünung. Bad Honnef, S. 24-27.
- Hui, Sam C.; Chan, S. C., S., 2011: Integration of green roof and solar photovoltaic systems. Hong Kong.
- IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, 2021: Ökologisch Bauen Gesund Wohnen. Zugriff: <https://www.ibo.at/> [abgerufen am 22.01.2021].
- Institut Bauen und Umwelt e.V., 2021: EPD Programm. Zugriff: <https://ibu-epd.com/epd-programm/> [abgerufen am 22.01.2021].
- Jim, Chi Yung, 2017: An archaeological and historical exploration of the origins of green roofs. *Urban Forestry & Urban Greening* 27: 32–42.
- Jim, Chi Yung; Lee, L.S.H., 2017: Subtropical summer thermal effects of wire-rope climber green walls with different air-gap depths. *Building and Environment* 126: 1-12.
- Kaiser, M., 2008: Kühlen mit Regenwasser. In: AEE - Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENER- GIE – Dachverband (Hrsg.): Erneuerbare Energie, Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft 2008-2, Sommerkomfort im Büro- und Verwaltungsbau.
- Kaiser, D.; Köhler, M.; Schmidt, M.; Wolf, F., 2019: Increasing Evapotranspiration on Extensive Green Roofs by Changing Substrate Depths, Construction, and Additional Irrigation. *Buildings* 2019, 9, 173.
- KfW – Kreditanstalt für Wiederaufbau, 2021: Startseite. Welche Förderung suchen Sie? Zugriff: <https://www.kfw.de/kfw.de.html> [abgerufen am 08.01.2021].
- Kim, Euna; Jung, Jihyeun; Hapsari, Gita; Kang, Seju; Kim, Kibeum; Yoon, Saerom; Lee, Miran; Han, Mooyoung; Choi, Yongju; Choe; Jong Kwon, 2018: Economic and environmental sustainability and public perception of rooftop farm versus extensive garden. *Building and Environment* 146. 206-215.
- Klärle, M.; Langendörfer, U., 2018: Green-Area. Intelligentes Gründachkataster auf der Basis von GIS-Daten. – S. 74-77, *Transforming Cities 3*, Dialog Publishers Verlagsgesellschaft, Baiersbrunn.
- Klimaschutzagentur Mannheim, 2021: Herzlich Willkommen bei der Klimaschutzagentur Mannheim. Zugriff: <https://www.klima-ma.de/> [abgerufen am 04.01.2021].
- Köhler, M., 1993: Fassaden- und Dachbegrünung. Stuttgart, S. 38, 49, 53.
- Köhler, M.; Barth, G.; Brandwein, T.; Gast, D.; Joger, H.; Vowinkel K.; Seitz, U., 1993: Fassaden- und Dachbegrünung, Ulmer (Stuttgart) 329 S.
- Köhler, M.; Schmidt, M., 1997: Hof-, Fassaden- und Dachbegrünung. Ergebnisse einer zwölfjährigen Begrünungsutopie. *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung* 105: 1 – 158.
- Köhler M., 2006: Long Term Vegetation Research on two Extensive Green Roofs in Berlin. *Urban habitats, Brooklyn Bot. Garden (USA): Vol 4 (1), Dec: 3 – 26.*
- Köhler, Manfred; Feige, R.; Wiartalla, W., 2007: Session 3.3: Energy and Thermal Performance Interaction between PV-Systems and extensive green roofs. Minneapolis.
- Köhler und Malorny W., 2009: Wärmeschutz durch extensive Gründächer. In: Venzmer, H.: Europäischer Sanierungskalender 2009, S.195–212. 4. Jg. Berlin.
- Köhler, M.; Poll, P., 2010: Long-term performance of selected old Berlin greenroofs in comparison to younger extensive greenroofs in Berlin. *Ecological Engineering* 36: 722-729.
- Köhler, M.; Ansel, W.; Appl, R.; Betzler, F.; Mann, G.; Ottelé, M.; Wünschmann, S., 2012: Handbuch Bauwerksbegrünung. R. Müller Verlag, Köln, 250 S.
- Köhler, M.; Nistor, C., 2015: Wandgebundene Begrünungen – Quantifizierung einer neuen Bauweise in der Klima-Architektur, Neubrandenburg, S. 183.
- Köhler, M.; Ksiazek-Mikenas, K., 2018a: Green Roofs as Habitats for Biodiversity. In: Perez, G., u. K. Perini (Hrsg.). *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*. 239-249. Elsevier Butterwoth-Heinemann.

-
- Köhler, M.; Kaiser, D.; Marrett-Foßen, M., 2018b: Pflanzenentwicklung auf einer einfachen Intensiv-Dachbegrünung. *Stadt u. Grün* 67: 3: 13-18.
- Köhler, M.; Nistor, C.R., 2018c: Wandgebundene Begrünungen – Quantifizierung einer neuen Bauweise der Klima-Architektur. FLL-Forschungsreihe 1-2015. 230 S. FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau. Fraunhofer IRB Verlag, 2018, Stuttgart.
- Köhler, M.; Debrand-Passard, Pascal, 2019: Fassadenbegrünungen in Berlin. *Neue Landschaft*. 9: 23-30.
- Köhler, M.; Kaiser, D., 2019. Evidence of the Climate Mitigation Effect of Green Roofs – A 20- Year Weather Study on an Extensive Green Roof (EGR) in Northeast Germany-buildings. Zugriff: <https://www.mdpi.com/2075-5309/9/7/157> [abgerufen am 24.10.2020].
- Köhler, M., Kaiser, D., 2021: Green Roof Enhancement on Buildings of the University of Applied Sciences in Neubrandenburg (Germany) in *Times of Climate Change. Atmosphere* 2021, 12(3), 382.
- Kolb, Wolfgang, 1997: Dachbegrünung rechnet sich. *DEGA Garten- und Landschaftsbau*, S. 1029-1031.
- Kozmińska, A.; Hassan, M.A.; Wiszniewska, A.; Hanus-Fajerska, E.; Boscaiu, M.; Vicente, O., 2019: Responses of succulents to drought: Comparative analysis of four *Sedum* (Crassulaceae) species: *Scientia Horticulturae* 243 (2019) 235–242.
- Krupka, Bernd W., 2001: Zur Wirtschaftlichkeit von Dachbegrünungen. In: Krupka, Bernd W.: *Extensive Dachbegrünungen – Praxisempfehlungen und Kostenbetrachtungen*. Aachen, S. 76-80.
- Kruse, Elke; Castillejos, Zamna Rodríguez; Dickhaut, Wolfgang; Dietrich, Udo; Steinke, Werner Steinke, 2017: Überflutungs- und Hitzevorsorge in Hamburger Stadtquartieren. Hamburg.
- Ksiazek Mikenas, Kelly, 2017: *The Potential of Green Roofs to Provide Habitat for Native Plant Conservation Dissertation*. Bot. Garten Chicago, Chicago.
- Ksiazek-Mikenas, K.; Herrmann, John; Menke, S.B.; Köhler, M., 2018: If You Build It, Will They Come? Plant and Arthropod. Diversity on Urban Green Roofs over Time. *Urban Naturalist. Special Issue No 1*: 52-72.
- Küenzlen, Martin; Draeger, Wolfgang; Eberle, Peter; Reinhard, Henning; Hess, Manfred; Lempelius, Christian; Leontopoulos, Konstantin; Schaffernicht, Rolf; Thomas, Peter; Werner, Uli, 1981: Systemstudie zur ökologischen Stadterneuerung für einen innerstädtischen Gebäudekomplex. *Umweltforschungsplan IBA, Bericht 103 01 109*. 394 S.
- KWB - Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Web-Seminar, 2020: Bauen und Sanieren als Schadstoffquelle in der urbanen Umwelt. Zugriff: <https://www.kompetenz-wasser.de/de/event/webinar-bauen-und-sanieren-als-schadstoffquelle-in-der-urbanen-umwelt/> [abgerufen am 16.12.2020].
- Lagström, J., 2004: Do Extensive Green Roofs Reduce Noise? *Malmö*, S. 30.
- Land NRW, 2020: Sonderprogramm „Klimaresilienz in Kommunen“. Nordrhein-Westfälisches Konjunkturprogramm greift Kommunen bei der Klimaanpassung unter die Arme. Veröffentlicht am 20. Oktober 2020. Zugriff: <https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/nordrhein-westfaelisches-konjunkturprogramm-greift-kommunen-bei-der-klima-anpassung> [abgerufen am 08.01.2021].
- Landscape + Urbanism, 2009: *Chilean Facades: Consorcio + Concepción*. Veröffentlicht am 29.01.2009. Zugriff: <http://landscapeandurbanism.blogspot.com/2009/01/chilean-facades-consorcio-concepcion.html> [abgerufen am 25.10.2020].
- Lakenbrink, Simone, 2012: BREEAM DE: Die deutsche Version für den Bestand. Zugriff: <https://www.immobilienzentrum.de/114602/breeam-de-deutsche-version-fuer-bestand> [abgerufen am 22.01.2021].
- Leptien, Christoph; Bellefontaine, Klemens; Breitenbach, Harald; Graf, Peter; Roosen, Christian, 2014: Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung. Ergebnisse einer in 2013 durchgeführten gemeinsamen Umfrage der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (Hrsg.) und des Deutschen Städtetages sowie des Deutschen Städte- und Gemeindebundes. Hennef.
- LfU - Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2018: *Asbest*. Augsburg.
- Li, XiaoXiao; Cao, JunJun; Xu, PeiXian; Fei, Ling; Dong, Qin; Wang, ZhaoLong, 2018: Green roofs: Effects of plant species used on runoff. *Land Degrad Dev*. 2018; 1–11., Wiley.

-
- Lietke, Dirck, 1998: Wirtschaftlichkeit von Dachbegrünung bei Gewerbebauten. Herne.
- Lim, H.S., Lu, X.X., 2016: Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program. *Journal of Hydrology* 538: 842–862.
- Liu, W.; Feng, Q.; Chen, W.; Wei, W.; Deo, R., 2019: The influence of structural factors on stormwater runoff retention of extensive green roofs: new evidence from scalebased models and real experiments." *Journal of Hydrology*, 569: 230-238.
- Lötsch, Bernd 1981: Ökologische Überlegungen für Gebiete hoher baulicher Dichte. *Informationen zur Raumentwicklung* 7/8: 415-433.
- Lützkendorf, Thomas et al., 2013: *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung*. München.
- LWF – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2011: Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. Merkblatt 27. Freising.
- MacIvor, Scott; Lundholm, Jeremy, 2011: Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate." *Ecological Engineering*, 37(3): 407-417.
- MacIvor, Scott; Starry, Olyssa; Brenneisen, Stephan; Baumann, Nathalie; Grant, Garry; Kadas, Gwendolyn; Köhler, Manfred; Lundholm, Jeremy., 2018: Introduction: "Looking up" to Green Roofs to Understand Urban Biodiversity—A Decade On. *Urban Naturalist*. Special Issue No 1: ii-viii. *Urban Naturalist*.
- Mählmann, J. 2019: Sumpfpflanzendach auf einem Carport. In: Hrsg: Zehnsdorf, A., Trabitzsch, R., 2019: *Projekt Forschungsgründach*, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig. 49-60.
- Mann, Gunter, 1995: Die Rolle begrünter Dächer aus zoologischer Sicht, Diss. TU Tübingen.
- Mann, Gunter, 1996: Die Rolle begrünter Dächer aus zoologischer Sicht. *Stadt + Grün* 2/96: 97-100.
- Mann, G., 1996: Faunistische Untersuchungen von drei Dachbegrünungen in Linz. Dachbegrünungen als ökologische Ausgleichsflächen, In: *Öko-L Zeitschrift für Ökologie, Natur- und Umweltschutz* 18/3. Linz, S. 5.
- Mann, G., 2000: Nutzen begrünter Dächer – eine Frage des Blickwinkels, Ditzingen.
- Mann, Gunter, 2003: Grüne Dächer rechnen sich. DDH Edition Gründach. S. 14-19.
- Mann, Gunter; Mollenhauer, Felix, 2019: BuGG-Fachinformation „Positive Wirkungen von Gebäudebegrünungen“, Berlin.
- Mann, G., 2020: BuGG-Fachinformation „Biodiversitätsgründach“. Grundlagen, Planungshilfen, Praxisbeispiele. Zugriff: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Biodiversitaetsgruendach/BuGG-Fachinformation_Biodiversitaetsgruendach_03-2020_1.pdf [abgerufen am 10.05.2020].
- Mann, Gunter; Gohlke, Rebecca; Wolff, Fiona; Mollenhauer, Felix; Luck, Simone; Herfort, Susanne; van Meegen, Sylvia, 2020: BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2020. Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung. Deutschland. Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG) (Hrsg.). Berlin.
- Mann, Gunter; Mollenhauer Felix, 2020: BuGG-Fachinformation „Solar-Gründach“ – Basisinformationen, Planungshinweise, Praxisbeispiele. Berlin.
- Mann, Gunter; Schenk, Dieter, 2020: BuGG-Fachinformation Wurzelfeste Produkte für begrünte Dächer (BuGG-WBB-Liste) 2020. Berlin.
- Manschek, Eckehard, 1997: Erfahrungen mit extensiven Dachbegrünungen bei der staatlichen Hochbauverwaltung. *Bau intern*, S.111-112.
- Manso, Maria; Teotonio, Ines; Silva, Cristina Matos; Cruz, Carlos Oliviera, 2021: Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135, 110111.
- Matzinger, A.; Riechel, M.; Schmidt, M.; Corral, C.; Hein, A.; Offermann, M.; Strehl, C.; Nickel, D.; Sieker, H.; Pallasch, M.; Köhler, M.; Kaiser, D.; Möller, C.; Büter, B.; Lessmann, D.; Günther, R.; Säumel, I.; Pille, L.; Winkler, A.; Heinzmann, B.; Joswig, K.; Reichmann, B.; Sonnenberg, H.; Remy, C.; Schwarzmüller, H.; Rouault, P., 2016: Quantification of multiple benefits and cost of stormwater management. Novatech.

-
- Matzinger, A.; Riechel, M.; Remy, C.; Schwarzmüller, H.; Rouault, P.; Schmidt, M.; Offermann, M.; Strehl, C.; Nickel, D.; Sieker, H.; Pallasch, M.; Köhler, M.; Kaiser, D.; Möller, C.; Büter, B.; Leßmann, D.; von Tils, R.; Säumel, I.; Pille, L.; Winkler, A.; Bartel, H.; Heise, S.; Heinzmann, B.; Joswig, K.; Rehfeld-Klein, M.; Reichmann, B., 2017: Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin.
- McCartney, A.; Langmaack, H.; Nøtsund, M.T.; Bult, P., 2018: Green Roofs – The Green Truth? A Multi-Level Perspective Analysis of Green Roofs in Hamburg Aalborg University, S.1-68. Li20186.
- Meinen, H.; Marrett-Foßen, M.; Bauersfeld, N., 2021: Fachkräftemangel im GalaBau. Teil1: Bauleiterbedarf und -verfügbarkeit. Neue Landschaft, 66. Jg. (3), S.49-53.
- Mentens, J.; Raes, D.; Hermy, M., 2006: Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? Landscape and urban planning 77.
- Morgan, S.; Celik, S.; Retzlaff, Bill 2013: Green roof storm-water runoff quantity and quality. Journal of Environmental Engineering, 139: 471-478.
- Moya, Tatiana A.; van den Dobbelsteen, Andy; Ottele, Mark; Bluysen, Philomena M., 2019: A review of green systems within the indoor environment. Indoor and Built Environment 2019, Vol. 28(3) 298–309.
- MULNV - Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW, 2020: „Förderauftrag Grüne Infrastruktur“ im Rahmen des Konjunkturpaket I des Landes NRW (Stand 17.09.2020). Düsseldorf.
- Münter, Christian, 2020: Bund investiert 300 Millionen Euro für das Stadtgrün. Neue Landschaft, 65. Jg. (12), S. 5-7. Patzer Verlag GmbH & Co. KG. Berlin-Hannover.
- Murphy, D., Morgan, S.; Celik, S.; Retzlaff, B., 2018: Evaluation of a residential green roof system for stormwater retention. Journal of Living Architecture, 5(1): 16-30.
- Nagengast, Amy; Hendrickson, Chris; Matthews, H. Scott, 2013: Variations in photovoltaic performance due to climate and lowslope roof choice. Pittsburgh.
- Nan, Xinge; Yan, Hai; Wu, Renwu; Shi, Yan; Bao, Zhiyi, 2020: Assessing the thermal performance of living wall systems in wet and cold climates during the winter. Energy & Buildings 208: 109680.
- National Parks Board, 2009: A Lusher and Greener Singapore (URA and NParks Introduce Schemes to Promote Skyrise Greenery). Veröffentlicht am 29.04.2009. Zugriff: <https://www.nparks.gov.sg/news/2009/4/a-lusher-and-greener-singapore-ura-and-nparks-introduce-schemes-to-promote-skyrise-greenery> [abgerufen am 12.01.2021].
- National Parks Board, 2021: Skyrise Greenery Incentive Scheme 2.0. Zugriff: <https://www.nparks.gov.sg/skyrise-greenery/incentive-scheme> [abgerufen am 12.01.2021].
- Natureoffice, 2020: WIR REALISIEREN KLIMASCHUTZLÖSUNGEN. Für Unternehmen, Menschen und die Umwelt. Zugriff: www.natureoffice.com [abgerufen am 25.10.2020].
- natureplus, 2021: Nachhaltige Bauprodukte. Zugriff: <https://www.natureplus.org/index.php?id=1> [abgerufen am 22.01.2021].
- Nihlgard, B., 1972: Plant biomass, primary production and distribution of chemical elements in a beech and a planted spruce forest in South Sweden. Oikos, 23: 69-81.
- Nugroho, A.M., 2014: Vertical landscape for passive cooling in tropical house. Procedia Environmental Sciences: 141 – 145.
- N.N., 2002: Fassadenbegrünung. Pflanzen an Fassaden sind Wetterschutz und Klimaanlage für das Gebäude selbst, In: Modernisierungsmarkt, 6. Jg.(25), S. 26.
- Oberndorfer, E.; Lundholm, J.; Brass, B.; Coffmann, R.; Doshi, H.; Dunnett, N.; Gaffin, S.; Köhler, M.; Liu, K.; Rowe, B., 2007: Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. Bioscience. 57: (10): 823 - 833.
- Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., Kira, T., 1965: Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. Nature and Live in S.E. Asia, 4: 49-80.

-
- Ökologisch Bauen, 2021: Gebäudezertifizierungen. Wie nachhaltig ist mein Haus? Zugriff: <https://www.oekologisch-bauen.info/hausbau/wohngesundheit/zertifizierungen.html> [abgerufen am 22.01.2021].
- Ökolöwe Umweltbund Leipzig e. V., 2021: Themen & Projekte. Zugriff: <https://www.oekoloewe.de/> [abgerufen am 04.01.2021].
- Optigrün, 2021 a: BAUTENSCHUTZ-, SPEICHER-, FILTER- UND SCHALLMINDERUNGSVLIESE. Zugriff: <https://www.optigruen.de/produkte/schutzvliese-und-lagen/> [abgerufen am 22.01.2021].
- Optigrün, 2021 b: DRÄNAGE FESTKÖRPERDRÄNAGE. Zugriff: <https://www.optigruen.de/produkte/draenageplatten/> [abgerufen am 22.01.2021].
- Optigrün, 2021 c: SUBSTRATE FÜR DACHBEGRÜNUNGEN. Zugriff: <https://www.optigruen.de/produkte/substrate/> [abgerufen am 22.01.2021].
- Oquendo-Di Cosola, V.; Olivieri, F.; Ruiz-García, L.; Bacenetti, J., 2020: An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems. *Journal of Environmental Management* 254 (2020) 109743.
- Ottelé, Mark, 2011: The Green Building Envelope. Dissertation Universität Delft 2011, S. 53.
- Ottelé, M., et al., 2011: Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* 46, S. 2287–2294.
- Osmá, German; Ordoñez, G.; Hernández, Emmanuel, Quintero, L.; Torres, M., 2016: The impact of height installation on the performance of PV panels integrated into a green roof in tropical conditions. Santander.
- Oswalt, Philipp, 1998: Implantationen. *Natur in der zeitgenössischen Architektur*, In: Arch+ 142, S. 74–78.
- Passivhaus Institut, 2021: Zertifizierung. Zugriff: https://passiv.de/de/03_zertifizierung/03_zertifizierung.htm [abgerufen am 22.01.2021].
- Peng, Lilliana L.H.; Jiang, Zhidian; Yang, Xiaoshan; He, Yunfei; Xu, Tianjiang; Chen, Sophia Shuang, 2020: Cooling effects of block-scale facade greening and their relationship with urban form. *Building and Environment* 169: 106552.
- Perez, Marc J. R.; Wight, Nathaniel T.; Fthenakis, Vasilis M.; Ho, Christina, 2012: Green roof integrated PV canopies – an empirical study and teaching tool für low income students in the south bronx. New York.
- Perini, K.; Castellari, P.; Giachetta, A.; Turcato, C.; Roccotiello, E., 2020: Experiencing innovative biomaterials for buildings: potentialities of mosses. *Building and Environment*.
- Pfoser, Nicole; Jenner, Nathalie; Henrich, Johanna; Heusinger, Jannik; Weber Stephan, 2013: Gebäude Begrünung Energie – Potenziale und Wechselwirkungen. Darmstadt.
- Pfoser, Nicole.; Jenner, Nathalie; Henrich, Johanna; Heusinger, Jannik; Weber Stephan, (2014): Gebäude Begrünung Energie – Potenziale und Wechselwirkungen. Bonn.
- Pfoser, Nicole, 2016: Fassade und Pflanze – Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Darmstadt.
- Pfoser, N., 2018: Vertikale Begrünung. Stuttgart.
- Pfoser, N., 2019: Photovoltaik und Gebäudebegrünung, Lösungen und Vorteile, in: *Transforming Cities* 04/2019, S. 16–17.
- Pfoser, N., 2020: Gebäudeintegrierte Farmwirtschaft, in: *Neue Landschaft* 10/2020, S. 32 ff.
- Pille, Lauranne; Säumel, Ina, 2017: Effekte auf die Biodiversität. Kuras-Poster.
- Pitha, Ulrike; Scharf, Bernhard, o. J.: Green4cities Development of an evaluation tool for green infrastructure and their positive effects derived for cities worldwide, Wien.
- POH, Choon Hock, 2017: Design Guides to promote Biodiversity on Roof Gardens. CUGE Standards, CS E 12, Singapur, 108 S.
- Pons, Oriol; Nadal, Ana; Sanyé-Mengual, Esther; Llorach-Massana, Pere; Cuerva, Eva; Sanjuan-Delmàs, David; Muñoz, Pere; Oliver-Solàb, Jordi; Planas, Carla; Rovira, Maria Rosa, 2015: Roofs of the future: rooftop greenhouses to improve buildings metabolism. *Procedia Engineering* 123: 441 – 448.

-
- Pradhan, S.; Helal, M.I.; Al-Ghamdi, S.G.; Mackey, H.R., 2020: Performance evaluation of various individual and mixed media for greywater treatment in vertical nature-based systems. *Chemosphere* 245 (2020) 125564.
- Pradhan, Snigdhendubala; Al-Ghamdi, Sami G.; Mackey, Hamish R., 2019: Greywater recycling in buildings using living walls and green roofs. A review of the applicability and challenges. *Science of the Total Environment* 652: 330–344.
- Pradhan, Snigdhendubala; Helal, Mohamed I.; Al-Ghamdi, Sami G.; Mackey, Hamish R., 2020: Performance evaluation of various individual and mixed media for greywater treatment in vertical nature-based systems. *Chemosphere* 245 (2020) 125564.
- PresseBox, 2016: Globale Lösungen für den gesamten Lebenszyklus. Veröffentlicht am 25.07.2016. Zugriff: <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/tuev-sued-ag/Globale-Loesungen-fuer-den-gesamtenLebenszyklus/boxid/807329> [abgerufen am 22.01.2021].
- Pugh, T. A. M., et al., 2012: Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons, unter: *Environmental science & technology*, 46 (14), S. 7692–7699. Zugriff: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22663154 [abgerufen am 02.12.2020].
- Ran, Jiandong; Tang, Mingfang, 2018: Passive cooling of the green roofs combined with night-time ventilation and walls insulation in hot and humid regions. *Sustainable Cities and Society* 38: 466–475.
- Ratih, Widiastutia, Juliana, Zaini, Wahyu, Caesarendra, 2020: Field measurement on the model of green facade systems and its effect to building indoor thermal comfort. *Measurement*. Volume 166, 15 December 2020, 108212.
- Raymond, C.M.; Berry, P.; Breil, M.; Nita, M.R.; Kabisch, N.; de Bel, M.; Enzi, V.; Frantzeskaki, N.; Geneletti, D.; Cardinaletti, M.; Lovinger, L.; Basnou, C.; Monteiro, A.; Robrecht, H.; Sgrigna, G.; Munari, L.; Calfapietra, C., 2017: An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-based Solutions Projects. Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Centre for Ecology & Hydrology, Wallingford, United Kingdom.
- Rentgerhem, T.; van Botteldoren, D., 2008: Numerical evaluation of sound propagating over green roofs, *Journal of Sound and Vibration*. Volume 317, Issues 3–5, 11 November 2008, Pages 781-799.
- Ricciardi, P.; Belloni, E.; Cotana, F., 2014: Innovative panels with recycled materials: Thermal and acoustic performance and Life Cycle Assessment. *Applied Energy* 134: 150–162.
- Riechel, M.; Schubert, R.-L.; Caradot, N.; Sperling, K.; Kahlert, P.-C.; Heise, S.; Köhler, M.; Kaiser, D.; Schmidt, M.; Heinzmann, B.; Joswig, K.; Matzinger, A., 2015: Austrag und Rückhalt von Mecoprop durch Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. *Aqua Urbanica*. Stuttgart.
- Riley, Benjamin; de Larrard, Francois; Malécot, Valery; Dubois-Brugger, Isabelle; Lequay, Herve; Lecomte, Gilles, 2019: Living concrete: Democratizing living walls. *Science of the Total Environment* 673: 281–295.
- Romanova, Anna; Horoshenkov, Kirill V.; Hurrell, Alistair, 2019: An application of a parametric transducer to measure acoustic absorption of a living green wall. *Applied Acoustics* 145 (2019) 89–97.
- Rosasco, Paolo; Perini, Katia, 2018: Evaluating the economic sustainability of a vertical greening system. A Cost- Benefit Analysis of a pilot project in mediterranean area. *Building and Environment* 142: 524–533.
- Roskosch, Stephanie, 2021: Entscheidungshilfe Gründach – Kosten und Nutzen in der Lebenszyklusanalyse. Masterthesis. Hochschule Wismar.
- RVR – Regionalverband Ruhr, 2021: Regionales Gründachkataster. Kooperationsprojekt mit der Emschergenossenschaft. Zugriff: <https://www.rvr.ruhr/themen/oekologie-umwelt/startseite-klima/gruendachkataster/> [abgerufen am 04.01.2021].
- Santamouris, M., 2012: Cooling the Cities, A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heath islands and improve comfort in urban environment. Group building Environmental Research. Physics Dep. Univ. of Athens, Greece.
- Scharf, B.; Pitha, U.; Trimmel, H., 2012: Thermal performance of green roofs. World Green Roof Congress, Copenhagen, Sept. 2012.

-
- Schlößer, S., 2003: Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung. Meinungsbild Kölner Bürger – eine Bevölkerungsbefragung, PhD Universität Köln.
- Schmauck, S., 2019: Dach- und Fassadenbegrünung – neue Lebensräume im Siedlungsbereich Fakten, Argumente und Empfehlungen. BfN-Skripten 538, Bonn - Bad Godesberg 2019.
- Schmidt, Adolf, 1981: Zum Geleit, Veranstaltung Wohnumfeldverbesserung durch Gründ- und Freiflächen. Heft 7/8. Informationen zur Raumentwicklung.
- Schmidt, M., 2003: Energy saving strategies through the greening of buildings. The example of the Institute of Physics of the Humboldt-University in Berlin-Adlershof, Germany. Proceedings World Energy and Climate Event, Rio de Janeiro, Brasilien, pp. 481–487. Zugriff: www.gebaeudekuehlung.de/Rio2003.pdf [abgerufen am 30.10.2020].
- Schmidt, Marco, 2013: The contribution of rainwater harvesting against global warming. IWA-Proceedings.
- Schmidt, Marco, 2020: Fassadenbegrünung: „Low Tech“, die Zukunft von „High Tech“. Ernst & Sohn Special.
- Schubert, R.-L., Sperling, K.; Cardot, N.; Kaiser, D.; Köhler, M.; Schmidt, M.; Riechel, M.; Matzinger, A., 2015: Monitoring of runoff water quality from green and gravel roofs with bitumen membranes. 17th IWA International Conference on Diffuse Pollution and Eutrophication (DIPCON). Berlin.
- ScienceDirect, 2020a: Find articles with these terms: green roof research. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/search?qs=green%20roof%20research> [abgerufen am 19.10.2020].
- ScienceDirect, 2020b: Find articles with these terms: green facades. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/search?qs=green%20facades> [abgerufen am 19.10.2020].
- ScienceDirect, 2020c: Find articles with these terms: living walls. Zugriff: <https://www.sciencedirect.com/search?qs=living%20walls&publicationTitles=271089%2C271800%2C271910%2C271434&lastSelectedFacet=publicationTitles> [abgerufen am 19.10.2020].
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, o. J.: Klimaanpassung für Berlin. Maßnahmen und Beispiele. Zugriff: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/klimaanpassung_broschuere.pdf [abgerufen am 25.10.2020].
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2013: Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen. Berlin.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2016: Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET. Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt. Zugriff: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtentwicklungsplanung/download/klima/step_klima_konkret.pdf [abgerufen am 25.10.2020].
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, 2020a: Ökologischer Stadtplan: 19 ausgewählte stadökologische Projekte in Berlin. Zugriff: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/modellvorhaben/kuras/oekologischer_stadtplan.shtml [abgerufen am 25.10.2020].
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, 2020b: Ökologisches Bauen / Ökologische Gebäudekonzepte. Zugriff: https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/index.shtml [abgerufen am 25.10.2020].
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (Hrsg.), 2021: BORIS Berlin. Bodenrichtwerte 01.01.2020. Zugriff: <https://fbinter.stadt-berlin.de/boris/> [abgerufen am 09.02.2021].
- Sentinel Haus Institut, 2021: Lösungen für gesunde Lebensräume. Gesund leben, bewusst entscheiden. Zugriff: <https://sentinel-haus.de/de> [abgerufen am 22.01.2021].
- SenUVK – Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Land Berlin, 2019: Förderprogramm GründachPLUS macht Berlins Dächer zu Oasen. Pressemitteilung vom 21.08.2019. Zugriff: <https://www.berlin.de/sen/uvk/presse/pressemitteilungen/2019/pressemitteilung.839399.php> [abgerufen am 08.01.2021].
- SenUVK – Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Land Berlin, 2021: Berliner Programm für Nachhaltige Entwicklung. Akutelles. Zugriff: <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/foerderprogramme/berliner-programm-fuer-nachhaltige-entwicklung/aktuelles/> [abgerufen am 08.01.2021].

-
- SOKA-DACH, 2019: Fachkräfte halten – Arbeit gestalten. Was kann das Dachdeckerhandwerk tun, um Fachkräfte zu halten? Wie kann die Branche eine gute Perspektive für die Rente schaffen? Zugriff: https://soka-dach.de/fileadmin/user_upload/downloads/Service/SOKA-DACH_Broschuere-Studie-2019_A4_WEB.pdf [abgerufen am 01.06.2021].
- Stadt Dortmund, 2021: Dachbegrünungen in Dortmund. Zugriff: https://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/planen_bauen_wohnen/dlze/wissenswertes_rund_ums_haus/dachbegruenung_dlze/index.html [abgerufen am 04.01.2021].
- Stadt Essen, 2021: Gründach Initiative Stadt Essen. Gründach-Förderung. Zugriff: https://www.gruendachinitiative-essen.de/foerderungen_gruendach_essen/ [abgerufen am 07.01.2021].
- Stadt Freiburg i. Br., 2020 (unveröffentlicht): Gutachten zur fachlichen und wirtschaftlich sinnvollen Ausgestaltung eines städtischen Förderprogramms zur Umsetzung von Maßnahmen der Dach- und Fassadenbegrünung sowie der Entsiegelung für die Stadt Freiburg i. Br. Endbericht vom 08.12.2020. Freiburg i. Br.
- Stadt Köln, 2021: Grün hoch 3. Fördermöglichkeiten bei Entsiegelung und Begrünung. Zugriff: <https://www.stadt-koeln.de/artikel/67044/index.html#> [abgerufen am 07.01.2021].
- Stangl, R.; Pitha, U.; Scharf, B.; Formanek, S.; Enzi, V., 2019a: Ergebnisse aus dem Diskussionsforum "Wirkungen und Kennwerte von Grünen Infrastrukturen Fokus Mikroklima, Energie- und Wasserhaushalt. Projektbericht Bundesministerium für Verkehr, Innovations und Technologie, Wien, Nr. 41.
- Stangl, R.; Medl, A.; Scharf, B.; Pitha, U.; 2019b: Wirkungen der grünen Stadt. Studie zur Abbildung des aktuellen Wissensstands im Bereich städtischer Begrünungsmaßnahmen. In: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.), Berichte aus Energie- und Umweltforschung 12/2019, 65; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- Steck, T., Morgan, S.; Retzlaff, W.; Williams, J., 2015: Insect communities on green roofs that are close in proximity but vary in age and plant coverage." Journal of Living. Architecture, 2: 1-11.
- Steed, H. 2015: Greening the Vertical Garden City. Strait times, National Parc boards (Hrsg.). Singapur, 196 S.
- Stern, M.; Peck, S.; Joslin J., 2019: Green Roof and Wall Policy in North America. Regulations, Incentives, and Best Practices (2019). Green Roofs for Healthy Cities.
- Stewart, I., 2011: A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature." International Journal of Climatology, 31(2): 200-217.
- Strom-Report.de, 2020: Daten, Fakten & Meinungen zum Solarstrom bis 2020 - Photovoltaik in Deutschland. Zugriff: <https://strom-report.de/photovoltaik/> [abgerufen am 11.11.2020].
- Suda, J.; Rudolf-Miklau, F., 2012: Bauen und Naturgefahren: Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz, S. 133.
- Sukopp, H.; Anders, K.; Bierbach, H.; Brande, A.; Blume, H.-P.; Evers, H.; Horbert, M.; Horn, R.; Kirchgeorg, A.; Lürte, A. v.; Riecke, F.; Stratil, H.; Trepl, L.; Weigmann, G., 1979: Ökologisches Gutachten über die Auswirkungen von Bau und Betrieb der BAB Berlin (West) auf den Großen Tiergarten. Inst. f. Ökologie d. TU Berlin (i. A. SenBauWo), Berlin.
- TAB – Thüringer Aufbaubank, 2021: Klimaschutz in Kommunen: Förderung durch „Klima Invest“ verdreifacht. Veröffentlicht am 08.01.2021. Zugriff: <https://www.aufbaubank.de/Infothek/Aktuelles/Klimaschutz-in-Kommunen-Foerderung-durch-Klima-Invest-verdreifacht> [abgerufen am 08.01.2021].
- Talaei, M.; Mahdavinjad, M.; Azari, R., 2020: Thermal and energy performance of algae bioreactive façades: A review. Journal of Building Engineering 28 (2020) 101011.
- Tan, H.; Hao, X.; Long, P.; Xing, Q.; Lin, Y.; Hu, J., 2019: Building envelope integrated green plants for energy saving. Energy Exploration & Exploitation 0(0) 1–13.
- Tan, Phua Yok, 2014: Vertical Garden City. Singapore, Strait Times Press.
- The Asbestos in Schools Group, 2011: Asbestos in Schools. The Scale of the Problem and the Implications.S. 68.
- The City of Copenhagen, o. J.: Green Roofs Copenhagen. Copenhagen.
- The City of Copenhagen, 2011: Copenhagen Climate Adaption Plan. Copenhagen.
- The City of Copenhagen, 2012: Cloudburst Management Plan 2012. Copenhagen.
- The City of Copenhagen, 2015: Urban Nature in Copenhagen – strategy for 2015-2025. Copenhagen.

-
- Thönnessen, M., 2002: Elementdynamik in fassadenbegrünenden wilden Wein. Kölner Geographische Arbeiten, Heft 78. Köln.
- TMWWDG - Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, 2021: EFRE bewegt Thüringen. Förderperiode 2014-2020. Zugriff: <https://www.efre-thueringen.de/> [abgerufen am 11.01.2021].
- TU Darmstadt, 2014: FLL Leitfaden - Gebäude Begrünung Energie: Potenziale und Wechselwirkungen, Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld. Abschlussbericht August 2013. Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur. Darmstadt.
- TÜV SÜD - TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2021: Zertifizierung. BREEAM. Zugriff: <https://difni.de/zertifizierung/breeam/> [abgerufen am 22.01.2021].
- UBA - Umweltbundesamt, 2020: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid- Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019. Dessau-Roßlau.
- UMSICHT – Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, 2011: inFarming. Landwirtschaft auf dem Dach der Forschung. Zugriff: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2011/infarming.html> [abgerufen am 27.10.2020].
- Van Renterghem, T.; Botteldooren, D., 2008: Numerical evaluation of sound propagating over green roofs, In: Journal of Sound and Vibration 317 (3-5), S. 781-799.
- Vanstockem, J.; Bastiaens, A.; Helsen, K.; Somers, B.; Hermy, M., 2019: Community assembly on extensive green roofs: Effects of dispersal-, abiotic- and biotic filtering on the spontaneous species- and functional diversity. Journal of Vegetation Science 30: 1078-1088.
- Vanuytrecht, E.; van Mechelen, C.; van Meerbeek, K.; Willems, P.; Hermy, M.; Raes, D., 2014: Runoff and vegetation stress of green roofs under different climate change scenarios. Landscape and Urban Planning 122: 68– 77.
- Vignes, A.; Calmes, J.; Carles, J., 1971: Eclaircissement et production vegetales chez la vigne vierge. Comptes rendus hebdomadaire des seances de l'Academie des sciences. Ser. D: Sciences naturelles 273: 872-875.
- Ville de Paris, 2019: Parisculteurs saison 3 : découvrez les lauréats. Veröffentlicht am 09.07.2019. Zugriff: <https://www.paris.fr/pages/parisculteurs-saison-3-decouvrez-les-32-nouveaux-sites-a-cultiver-6430> [abgerufen am 12.01.2021].
- Ville de Paris, 2021: Les Parisculteurs en quelques mots. Zugriff: <https://www.parisculteurs.paris/fr/a-propos/les-parisculteurs-en-quelques-mots/> [abgerufen am 12.01.2021].
- Volm, C., 2002: Innenraumbegrünung in Theorie und Praxis. Stuttgart, S. 28–30.
- Walter, R.; Schank, S., 2016: Optimierung der Evapotranspirations- und Kühlleistung extensiver Dachbegrünungen durch gezielte Nutzung von Grauwasser, Freising.
- Weber, M., 2011: Positive Wirkungen begrünter Dächer – Zusammenstellung positiver Fakten aus aller Welt. Diplomarbeit im Studiengang Landschaftsarchitektur. FH Erfurt, 2011.
- Weerakkody, U.; Dover, J. W.; Mitchell, P.; Reiling, K., 2017: Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. Urban Forestry & Urban Greening 27: 173–186.
- Weerakkody, U.; Dover, J. W.; Mitchell, P.; Reiling, K., 2018: Quantification of the traffic-generated particulate matter capture by plant species in a living wall and evaluation of the important leaf characteristics. Science of the Total Environment 635: 1012–1024.
- Weerakkody, U.; Dover, J. W.; Mitchell, P.; Reiling, K., 2019: Topographical structures in planting design of living walls affect their ability to immobilise traffic-based particulate matter. Science of the Total Environment 660: 644–649.
- Well, F.; Morandi, C.; Richtern, P., 2020: Regen- und Grauwasser als alternative Wasserquelle für Vertikalbegrünung. Gebäudegrün 3/2020. 20-23.
- Weller, Bernhard; Hemmerle, Claudia; Jakubetz, Sven; Unnewehr, Stefan. et al., 2009: Photovoltaik. Der Leitfaden zur Planung gebäudeintegrierter Photovoltaik. Detail Praxis. München.

-
- Witmer, Lucas Turner., 2010: Quantification of the passive cooling of photovoltaics using a green roof. The Pennsylvania State University - The Graduate School, Pennsylvania.
- Wolf, D.; Lundholm J., 2007: Water uptake in green roof microcosms: effects of plant species and water availability, *Ecological Engineering* 33, S. 179-186.
- Wölfel, Klaus, 2010: ZinCo Pressebericht – ZinCo Versuchsanlage liefert den Beweis: Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik. Zinco GmbH, Nürtingen.
- Wölfel, K., 2011: Dachbegrünung erhöht Erträge der Photovoltaik. Zugriff: www.zinco.de [abgerufen am 13.10.2020].
- Wong, N.H.; Tan, K. A.Y.; Tan, P.Y.; Chiang, K.; Wong, N.C., 2010: Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment* 45:411-420.
- Xing, Q.; Hao, X.; Lin, Y.; Tan, H.; Yang, K., 2019: Experimental investigation on the thermal performance of a vertical greening system with green roof in wet and cold climates during winter. *Energy & Buildings* 183 (2019) 105–117.
- Yin, H.; Kong, F.; Dronova, I., 2019. Hydrological performance of extensive green roofs in response to different rain events in a subtropical monsoon climate. *Landscape and Ecological Engineering* (2019) 15:297–313.
- Yuan, Chao; Shan, Ruiqin; Adelia, Ayu Sukma; Tablada, Abel; Lau, Stephen Siu-Yu, 2019: Effects of vertical farming on natural ventilation of residential buildings. *Energy & Buildings* 185 (2019) 316–325.
- Zaid, S.M.; Perisamy, E., Hussein, H., Myeda, N.E., Zainon, N., 2018: Vertical Greenery System in Urban Tropical Climate and its Carbon Sequestration Potential: A Review. *Ecological Indicators*, Volume 91, August 2018, Pages 57-70.
- ZALF – Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung/inter 3 GmbH Institut für Ressourcenmanagement/Institut für Stadt- und Regionalplanung der Technischen Universität Berlin (ISR), Fachgebiet Stadt- und Regionalökonomie, 2012: Es wächst etwas auf dem Dach. Dachgewächshäuser, Idee, Planung, Umsetzung. ZFarm, städtische Landwirtschaft der Zukunft. Zugriff: https://www.econ-isr.tu-berlin.de/fileadmin/fq283/Infos/Logos/ZFarm_dachgewaechshaeuser_leitfaden-1.pdf [abgerufen am 12.10.2020].
- Zhang, Z.; Szota, C.; Fletcher, T.D.; Williams, N.S.G.; Farrell, C.; 2019. Green roof storage capacity can be more important than evapotranspiration for retention performance. *Journal of Environmental Management* 232: 404–412.
- Zielke, B.; Schmidt, M., 2014: „HighTech-LowEx: Energieeffizienz Berlin Adlershof 2020“ (Förderkennzeichen 03ET1038A und B) Abschlussbericht Teil 8 Energieeffiziente Gebäude Abschlussbericht.
- Zimmermann, P., 1987: Dachbegrünung. Eine ökologische Untersuchung auf Kiesdach, extensiv und intensiv begrünten Dächern, in: Veröffentlichung für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg (62). Karlsruhe, S. 545–547.
- ZUG – Zukunft - Umwelt - Gesellschaft gGmbH, 2021: Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen. Zugriff: <https://www.z-u-g.org/aufgaben/klimaanpassung-in-sozialen-einrichtungen/> [abgerufen am 08.01.2021].