

BBSR-
Online-Publikation
50/2024

Green Follows Function Attribute

Verbesserung der Datengrundlage für die Vertikal-
und Extensivdach-Begrünung

von

Wolfgang Karl Hofbauer
Fiona Wolff
Sylvia van Meegen
Gunter Mann
Thomas Nolte



Green Follows Function Attribute

Verbesserung der Datengrundlage für die Vertikal-
und Extensivdach-Begrünung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

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

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.15

Projektlaufzeit: 05.2021 bis 12.2023

IMPRESSUM

Herausgeber

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

Fachbetreuerin

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

Autorinnen und Autoren

Fraunhofer Institut für Bauphysik, Valley
Wolfgang Karl Hofbauer
wolfgang.hofbauer@ibp.fraunhofer.de

Fiona Wolff
Sylvia van Meegen
Gunter Mann
Thomas Nolte

Redaktion

Fraunhofer Institut für Bauphysik, Valley

Stand

Dezember 2023

Gestaltung

Bundesverband GebäudeGrün e. V., Berlin
Rebecca Gohlke (Art-Direction)
Fiona Wolff (Text und Illustration)

Bildnachweis

Titelbild: Bodengebundene Vertikalbegrünung / Thomas Mann
Alle weiteren Foto- und Bildnachweise siehe Abbildungsverzeichnis, S. 3

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

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

Zitierweise

Hofbauer, W. K.; Wolff, F.; van Meegen, S.; Mann, G.; Nolte, T., 2025: Green Follows Function Attribute: Verbesserung der Datengrundlage für die Vertikal- und Extensivdach-Begrünung. BBSR-Online-Publikation 50/2024, Bonn. <https://doi.org/10.58007/z3fy-wa58>

DOI 10.58007/z3fy-wa58

ISSN 1868-0097

Bonn 2024

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Abstract	7
1. Einführung	8
1.1. Themenfeld	8
1.2. Untersuchungsgegenstand	11
2. Problemstellung	12
2.1. Stand der Forschung/Baupraxis	12
2.2. Forschungslücke/Entwicklungsbedarf	13
3. Zielstellung	15
3.1. Konkrete Projektziele	15
3.2. Übergeordnete Ziele	15
4. Forschungsdesign	17
4.1. Arbeitshypothesen	17
4.2. Methodischer Ansatz	17
4.3. Projektteam und Organisation, Kooperationspartner	18
4.4. Arbeitspakete und Meilensteine	19
5. Projektkoordination und Methodik	21
5.1. Koordination	21
5.2. Datensammlung und Erstellung der Datenbank. Erarbeitung der Pflanzenliste, Sammlung von Literaturdaten und Messwerten: Datensammlung	21
5.2.1. Attribute zur Pflanzenidentität	22
5.2.2. Zuordnung der Pflanzen zu Großgruppen	24
Floristischer Status der Pflanze in Deutschland	24
Lebensform	25
5.2.3. Grundlegende Pflanzenattribute, mit Bezug zur Gebäudebegrünung	27
5.2.4. Ökologische Zeigerwerte	31
5.2.5. Kletterpflanzenattribute	35
5.2.6. Weitere Pflanzenattribute	36
5.2.7. Zoologische Attribute	36
5.2.8. Pflanzenattribute mit Bezug zu ökosystemaren Leistungen	37
5.3. Messungen zur Ergänzung der wichtigsten Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen, zunächst beschränkt auf bodengebundene Kletterpflanzen sowie die Koordination der Abschlussarbeiten	39
5.3.1. Messungen zur (Evapo-)Transpiration mittels Lysimeter und Messung der Blatt-Transpiration mittels Porometer	39
5.3.2. Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Feinstaubreduktion und NO _x -Aufnahme durch Pflanzen.	41
5.3.3. Ermittlung der Blattflächen	44
5.3.4. Messungen zum Gaswechsel: CO ₂ /O ₂ /Photosyntheseleistung	45
5.4. Öffentlichkeitsarbeit	45

6.	Ergebnisse	46
6.1.	Koordination	46
6.2.	Datensammlung und Erstellung der Datenbank	46
6.2.1.	Attribute zur Pflanzenidentität	46
6.2.2.	Zuordnung der Pflanzen zu Großgruppen	47
6.2.3.	Grundlegende Pflanzenattribute, mit Bezug zur Gebäudebegrünung	48
6.2.4.	Ökologische Zeigerwerte	50
6.2.5.	Kletterpflanzenattribute	51
6.2.6.	Weitere Pflanzenattribute	51
6.2.7.	Zoologische Attribute	52
6.2.8.	Pflanzenattribute mit Bezug zu ökosystemaren Leistungen	53
6.2.9.	Datenbank	55
6.3.	Messungen zur Ergänzung wichtiger Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen, zunächst beschränkt auf bodengebundene Kletterpflanzen sowie die Koordination der Abschlussarbeiten:	63
6.3.1.	Messungen zur (Evapo-)Transpiration mittels Lysimeter und Messung der Blatt-Transpiration mittels Porometer	63
6.3.2.	Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Feinstaubreduktion und NO _x Aufnahme durch Pflanzen.	67
6.3.3.	Ermittlung der Blattflächen	70
6.3.4.	Messungen zum Gaswechsel: CO ₂ /O ₂ /Photosyntheseleistung	72
6.4.	Öffentlichkeitsarbeit	75
6.5.	Bewertung/Diskussion/Zielerreichung – Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext inkl. möglicherweise bekannt gewordenen Ergebnissen von dritter Seite	76
6.6.	Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	76
7.	Fazit und Ausblick	78
8.	Mitwirkende	80
1.	Danksagung	81
2.	Literaturverzeichnis	82
3.	Abbildungsverzeichnis	92
4.	Tabellenverzeichnis	93
	Anlagen	94

Kurzfassung

Der Bundesverband GebäudeGrün BuGG und das Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP bemühen sich seit Jahren, Informationen zu Vertikal- und Extensiv-Dachbegrünungen zusammenzutragen. Dabei stellte sich heraus, dass es a) wünschenswert ist, bestehende Listen auf der Basis von botanisch-wissenschaftlichem Wissen zu überarbeiten und, dass b) zahlreiche wichtige Attribute nur unzureichend erfasst sind. Wichtige Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen sind z. B.: Gaswechsel, Verdunstungsleistung und Minderung von Luftschadstoffen. Aus diesen Gründen wurde gemeinsam von BuGG und IBP das vorliegende Forschungsvorhaben entworfen und dankenswerterweise vom BBSR, Zukunft Bau gefördert.

Green Follows Function ist ein Motto, das am IBP bereits verfolgt wird. Es geht darum, entsprechend der gewünschten Nutzenanwendung die richtigen Pflanzen mit Schwerpunkt standorttypischer heimischer Vegetation zu wählen. Grundlage dafür ist die Kenntnis der nutzbaren Pflanzen und deren Attribute. Folgenden Arbeitspakete wurden durchgeführt:

1) Pflanzen-Ressourcen und ihre Attribute. Dazu wurden zahlreiche Quellen gründlich ausgewertet und zahlreiche unterschiedliche Attribute von Begrünungspflanzen definiert und erhoben. Bestehende Listen wurden zu einer Datenbank zusammengeführt, in die auch die bestehenden Daten zu den Attributen einfließen. Das Team betrachtete dafür mehr als 1500 Pflanzenarten und -sorten – vor allem aus der heimischen Flora und sammelte Daten zu über 50 verschiedenen Attributen. Als Parameter wurden beispielsweise Wuchsgröße, Blütenfarbe oder die ökologischen Eigenschaften einer Pflanze definiert. Ein besonderes Augenmerk legten die Forschenden auf Merkmale, die mit den Ökosystemleistungen der Pflanzen einhergingen: Verdunstung, Photosynthese oder Feinstaubaufnahme.

2) Messungen. Ergänzung der wichtigsten Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen, zunächst beschränkt auf bodengebundene Schlingpflanzen:

2.1) Messungen zur Blatt-Transpiration mittels Porometer sowie Evapotranspiration mittels Lysimeter-Methode von 22 Pflanzen inklusive „Referenzpflanzen“.

2.2) Messungen zum Gaswechsel: CO₂ (Photosyntheseleistung) von 24 Pflanzen, inklusive „Referenzpflanzen“.

2.3) Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Bestimmung der Feinstaubreduktion und der NO_x-Aufnahme durch Pflanzen. An 20 unterschiedlichen Arten bzw. Sorten wurden erste Messungen mit dem angepassten und verbesserten Messkonzept durchgeführt.

Insgesamt wurde ein erster Rahmen gesteckt, basierend auf der Auswertung bestehender Arbeiten, neuen Messungen, Praxiserfahrung und botanischem Sachverstand. Die gewonnenen Daten und Ergebnisse wurden in eine SQL-Datenbank eingepflegt. Der Datenbestand, der anhand der Namen der Pflanzen und der aufgenommenen Attribute durchsuchbar ist, wird Planern ermöglichen, Pflanzenarten besser für die gewollten Nutzeffekte auswählen zu können sowie Modellrechnungen durchzuführen.

Abstract

The Bundesverband GebäudeGrün BuGG and the Fraunhofer Institute for Building Physics IBP have been attempting to gather data on vertical and extensive green roofs for several years. It has become evident that there is a need to update current listings by relying on botanical and scientific knowledge. Additionally, various critical features of the used plants are not being adequately documented, which impact the ecosystem, such as gas exchange, evaporation capacity, and air pollution mitigation. For these reasons, BuGG and IBP collaboratively designed the current research project, which was funded by BBSR, Zukunft Bau. "Green Follows Function" is a motto that IBP is already implementing, with the aim of selecting suitable plants that are focused on native vegetation suiting the location, according to the intended use. The key to this approach is having knowledge of the usable plants and their attributes. The following work packages were executed:

1) Plant resources and their attributes were evaluated through a meticulous review of multiple sources. A comprehensive plant list was created by integrating existing lists into an SQL database, which also included data on the plant attributes. The team analysed more than 1500 plant species and varieties with an emphasis on the native flora and collected data on more than 50 different attributes. The parameters defined included growth size, flower colour and the ecological characteristics of a plant. The researchers paid particular attention to characteristics associated with the plants' ecosystem services: Evaporation, photosynthesis and particulate matter uptake.

2) Measurements were realized regarding the most significant attributes related to ecosystem services, initially focusing on soil-bound climbing plants.

2.1 Porometer measurements of leaf-transpiration and measurements on evapotranspiration utilizing a Lysimeter method were taken on 22 plants, including "reference plants" with available measurements for comparison.

2.2 Gas exchange measurements were conducted on 24 plants to assess CO₂ levels and photosynthetic efficiency, including "reference plants".

2.3 Measurement concepts were adapted and optimised for the reduction of particulate matter and NO_x uptake by plants. 20 different species and variants, respectively, were measured according to the adapted and optimised concepts.

A preliminary framework has been created through an evaluation of past studies, recent measurements, practical applications, and botanical knowledge. The data and outcomes collected were incorporated into an SQL database, searchable by plant names and recorded attributes, which will aid in the selection of suitable plant species for the desired advantages and facilitate model calculations by planners.

1. Einführung

Abbildung 1

Das Stadthaus in Freiburg ist ein gelungenes Beispiel zur Umsetzung von Fassadenbegrünungen im innerstädtischen Bereich.



Foto: G. Mann, BuGG

1.1. Themenfeld

Infolge der weltweiten Klimaänderung, wissenschaftlich bereits seit den 50iger Jahren des letzten Jahrtausends (Revelle/Suess 1957) thematisiert, entstehen neue Herausforderungen für die bebaute Umwelt. Die dabei entstehenden Umwälzungen, Konsequenzen und, nicht zuletzt auch, die Kosten für unsere Gesellschaft sind nur schwer einzuschätzen (COACCH 2018). Dies hängt auch mit der zunehmenden Urbanisierung in weiten Gebieten zahlreicher Länder zusammen.

Die beschleunigt fortschreitende Urbanisierung ist eines der aktuellen Themen unserer Zeit. Immer mehr Menschen zieht es in die wachsenden Städte. Deren Bebauung wird einerseits immer enger und andererseits dehnen sich schnell wachsende Städte immer weiter ins Umland aus. „Mitte des 20. Jahrhunderts lebten 30 Prozent der Menschen in den urbanen Zentren der Welt. Heute sind es über 50 Prozent – Tendenz steigend. So ist z. B. auch für die Schweiz ein weiteres Wachstum der urbanen Bevölkerung prognostiziert (UN 2018). Bis 2050 werden voraussichtlich 80 Prozent der Weltbevölkerung in Städten leben“ (BMZ o. J.). Der Wohnraumbedarf ist hoch - Mieten und Immobilienpreise steigen (Krieger et al. 2021).

Um der Nachfrage gerecht zu werden, wird neuer Wohnraum erschlossen (Krieger et al. 2021). Diese Nachverdichtung hat zur Folge, dass die Natur immer weiter aus der Stadt verdrängt wird. Der Klimawandel, der in den Städten schon jetzt besonders im Sommer durch, unter Anderem, die steigende Hitzebelastung, Überlastung der Kanalisation bei Starkregenereignissen und Wasserknappheit in Trockenzeiten zu spüren ist, trägt dazu bei, dass Städte an Lebensqualität verlieren. Klimaänderung und

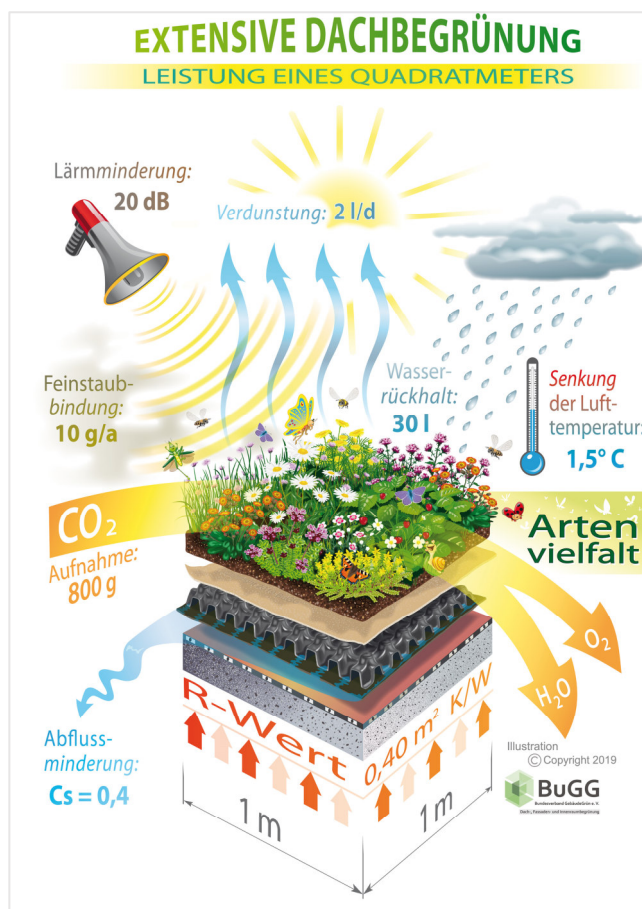
Urbanisierung führen zu gravierenden Änderungen in der lokalen Biodiversität (Salinitro et al. 2019; Wong et al. 2021). Die Abwesenheit von Vegetation in Städten trägt zum urban heat island effect bei, insbesondere durch eine deutliche Verschärfung des Hitzestress' bei Bewohnern, damit verbunden ist die Erhöhung der Morbidität und Mortalität (Wong et al. 2021). Es sind Strategien notwendig, um die innerstädtische Überhitzung und die Häufigkeit und Intensität von Hitzewellen zu reduzieren.

Um Städte zukunftsfähiger, nachhaltiger und weiterhin lebenswert zu gestalten, gibt es verschiedene Konzepte, Aktionspläne und Positionspapiere, die dabei helfen sollen, die verschiedenen Bausteine von Klimawandelanpassungsmaßnahmen zu verstehen, anzuwenden und in der Planung umzusetzen. Die Gebäudebegrünung kann als ein solcher Baustein betrachtet werden (Mann 2021, Abbildung 1).

Gebäudebegrünungen vereinen eine Vielzahl an positiven Wirkungen, die seit Jahren mit wissenschaftlichen Untersuchungen belegt werden: Starkregen- und Überflutungsvorsorge, Hitzevorsorge, Erhalt des natürlichen Wasserhaushalts, Verbesserung des Stadtbildes und der Aufenthaltsqualität, Gesundheitsvorsorge (physisch und psychisch), Förderung der Biodiversität, Verbesserung der Luftqualität, Lärminderung, Reduktion von CO₂ und außerdem Energieeinsparung durch Dämmung sowie Kühlung und Verschattung (vgl. Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG Projektgruppe 12-2021 2022). Diese positiven Wirkungen sind in der Abbildung 2 für einen Quadratmeter Dachbegrünung und in Abbildung 3 für einen Quadratmeter Fassadenbegrünung zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 2

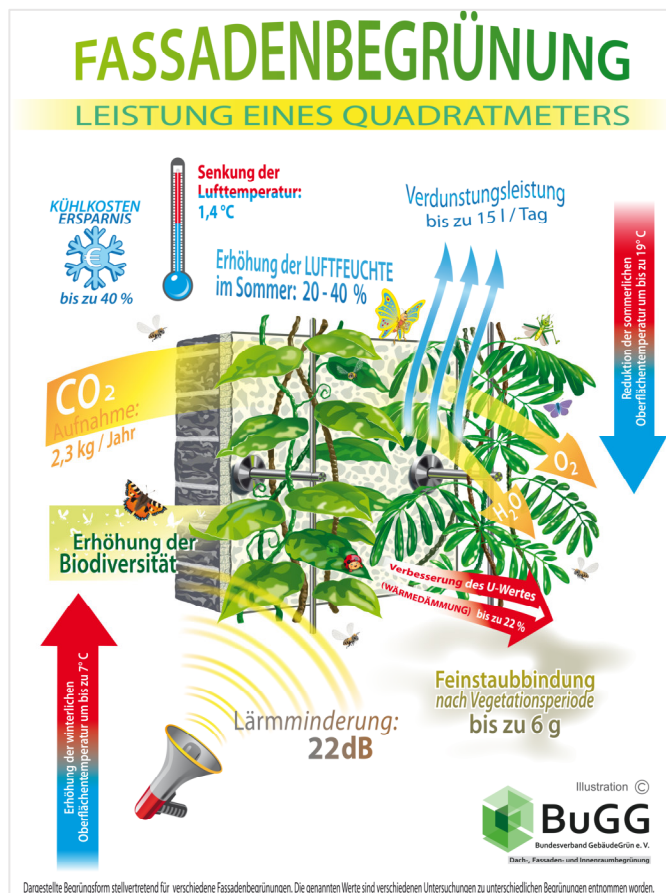
Zusammenfassende Darstellung der Leistung eines Quadratmeters extensiver Dachbegrünung.



Quelle: BuGG

Abbildung 3

Zusammenfassende Darstellung der Leistung eines Quadratmeters bodengebundener Fassadenbegrünung.



Quelle BuGG

In der Planung von urbanen Gebieten nimmt die Gebäudebegrünung einen immer größeren Stellenwert ein. Auf kommunaler Ebene werden Gebäudebegrünungen immer häufiger durch verschiedene Instrumente gefördert, die sich in ihrem Wirkungsbereich, ihrer Verbindlichkeit und ihrem finanziellen Aufwand für die Stadt/Kommune unterscheiden. Diese können in direkte und indirekte Förderung unterschieden werden. Direkte Förderungen sind Förderprogramme mit finanziellen Zuschüssen. Unter indirekten Förderungen können Festsetzungen in Bebauungsplänen (B-Plänen), Festsetzungen in Gestaltungssatzungen oder anderen kommunalen Satzungen, Ökopunkte im Rahmen der Eingriffsregelung sowie die Gebührenreduktion bei der gesplitteten Abwassergebühr (GAbwG) zusammengefasst werden (Mann et al. 2022: 44).

Durch die variantenreichen Einsatzmöglichkeiten von Gebäudebegrünungen sowie die verschiedenen technischen Möglichkeiten, um Begrünungen an Gebäuden umzusetzen, gibt es einen großen Bedarf an Wissen über Pflanzen, die den extremen Bedingungen am Gebäude trotzen können und sich so für die Begrünung an Gebäuden eignen. Dies betrifft nicht nur Forschung und Entwicklung sowie Anwender in der Umsetzung, sondern auch den kommunalen Bereich, wie eine kürzlich durchgeführte Studie zeigt (Herzog et al. 2021). In den aktuellen Projekten BUOLUS und Wilde Klimawand am Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP zeigt sich, dass sowohl von Seiten des wissenschaftlichen Verständnisses über die Zusammenhänge, z.B. der Interaktion von Flora und Fauna, als auch beim Wissensstand von Anwendern, Entwicklern und Entscheidern, z.B. hinsichtlich der Zusammensetzung heimischer Flora, bedeutende Lücken bestehen (Leistner et al. 2018; Krause et al. 2023).

1.2. Untersuchungsgegenstand

Zum Projektbeginn lagen bereits Pflanzenlisten für Pflanzen, die sich zur Gebäudebegrünung eignen, vor. Die bestehenden Listen sind häufig „unvollständig“ hinsichtlich der Pflanzenarten und der erfassten Attribute (Verdunstungsleistung, CO₂-Gaswechsel, Schadstoffbindung, etc.). Zudem finden sich in unterschiedlichen Listen z. T. inkonsistente Angaben für die einzelnen Attribute. Das wiederum bedeutet, dass die bevorzugten Nutzeffekte die Pflanzen am Gebäude mit sich bringen können (Niederschlagsretention, CO₂-Bindung, Schadstoffreduktion, etc.) nicht „auf einen Blick“ einsehbar sind und mehrere unter Umständen widersprüchliche Quellen herangezogen werden müssten, um die Eignung einer einzigen Pflanzenart für eine geplante Anwendung an einem definierten Standort beurteilen zu können.

Diese Pflanzenlisten sind, unter anderem, dafür erstellt worden, um Planenden zu helfen, die richtige Pflanze für das zu gestaltende Objekt zu finden. Angesichts der inhomogenen und z. T. inkonsistenten Datenlage war dies zu Beginn des Forschungsvorhabens nicht ohne weiteres möglich.

Dies wiederum führte dazu, dass viele, insbesondere heimische, Pflanzen bei Begrünungsprojekten nicht ausreichend berücksichtigt werden und deshalb das gesamte Potenzial der Gebäudebegrünung nicht ausgeschöpft wird.

2. Problemstellung

Die Gebäudebegrünung kann eine Teilantwort auf die aktuelle Situation im urbanen Umfeld sein. Insbesondere in aufstrebenden Volkswirtschaften und in prosperierenden Regionen ist der Trend zur Urbanisierung ungebrochen. Dies führt zu einer zunehmenden Verdichtung in den Städten, die nicht nur in der horizontalen stattfinden muss, sondern sich auch in einer immer höheren Geschossflächenzahl manifestieren kann. Damit werden immer mehr Baumaterialien in Städte eingebracht, die Wärme speichern und damit zum urban heat island effect beitragen. Gleichzeitig verringern sich durch die Nachverdichtung und den Flächenverbrauch für Infrastrukturmaßnahmen die innerstädtischen Grünflächen und Brachen. Grün- und Brachflächen sind für den Temperatenausgleich, die Versickerung und damit die Grundwasserneubildung sowie die Biodiversität von großer Bedeutung.

Die klimatischen Veränderungen führen zu immer mehr Hitzetagen und sog. tropical nights, also Nächten, in denen die Temperatur in der Nacht nicht mehr unter 20 °C sinkt und gleichzeitig zu lokalen Unwetter- und Starkregenereignissen. Die bereits erwähnte Abnahme unversiegelter innerstädtischer Flächen wiederum hat zwei wesentliche Auswirkungen: a) Retentions- und Versickerungsflächen für Regenwasser stehen nicht mehr in ausreichendem Maß zur Verfügung. Dadurch und mit dem hohen Anteil an versiegelter Fläche kommt es bei Extremwetterereignissen zu einer Überlastung der kommunalen Kanalisation, die zur Ableitung ungeklärten Schwarzwassers in Gewässer führt. Gleichzeitig wird dieses Niederschlagswasservolumen der Grundwasserneubildung weitgehend entzogen. b) Mit dem Rückgang der bewachsenen Fläche nimmt auch die Kühlwirkung, die die Vegetationsflächen mit ihrer Evapotranspiration bereitstellen können, im städtischen Raum ab.

Die Luftqualität im innerstädtischen Bereich unterliegt mehr negativen Einflüssen als im suburbanen oder dörflichen Umfeld. Wesentliche innerstädtische Emissionsquellen sind der Straßenverkehr, die industrielle Produktion sowie Energie- und Wärmeerzeugung durch Verbrennungsprozesse. Die WHO (WHO 2021) führt in den 2021 veröffentlichten Air Quality Guidelines Partikel (PM₁₀ und PM_{2.5}), Ozon, Stickstoffdioxid (NO₂), Schwefeldioxid (SO₂) und Kohlenmonoxid (CO) als klassische Luftverunreinigungen an und schlägt dafür neue Empfehlungen vor. Pflanzen zeigen einen positiven Einfluss auf die Partikel und NO₂-Konzentrationen in der Luft. Ozon hingegen gehört zu den Stoffen, die Pflanzen schädigen können.

Der Fokus bei der Begrünung von Gebäuden verschiebt sich immer mehr in Richtung der Ökosystemleistungen (positiven Wirkungen), die die Pflanzen mit sich bringen wie z. B. Wasserretention, Klimawirkung und Schadstoffbindung. Was fehlt sind systematisch erhobene Daten zu den einzelnen Ökosystemleistungen sowie vielfach noch die experimentelle Bestimmung der einzelnen Parameter.

2.1. Stand der Forschung/Baupraxis

Derzeit werden viele Gebäudebegrünungen umgesetzt, da kommunale Richtlinien und Vorgaben diese fordern. Aber mit dem immer weiter voranschreitenden Klimawandel, der in Städten und dicht besiedelten Gebieten besonders intensiv zu spüren ist, sollten die vielen positiven Eigenschaften und Ökosystemleistungen von Pflanzen an Gebäuden effektiver in die Planung mit einbezogen werden und der gesamte Nutzen dieser mitgedacht werden (vgl. Oberndorfer et al. 2007).

Fassadenbegrünung reduziert nachweislich den Hitzestress im urbanen Bereich (Wilhelm 2017; Betzler 2017). Sie wirkt im Sommer kühlend, im Winter wärmedämmend, die Luftfeuchte unmittelbar vor der Wand wird ausgeglichen (vgl. Scharf 2012; Haimann 2017; Köhler/Kaiser 2019; Kraus et al. 2019; Buchheister 2020). Messungen der Verdunstungsleistung von Begrünungspflanzen für eine differenziertere Abschätzung fehlen meist.

Der Zusammenhang zwischen Herz-Kreislauf-erkrankungen und einer verringerten Lebenserwartung bei stark erhöhten Feinstaubkonzentrationen gilt als gesichert (Heinrich et al. 2005); Grenzwerte wurden festgelegt. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit beträgt der über den Tag gemittelte Immissionsgrenzwert für Partikel PM₁₀ 50 Mikrogramm pro Kubikmeter bzw. für PM_{2,5} 25 Mikrogramm pro Kubikmeter im Kalenderjahr. (BMJ 2010) bei. Die neuen Leitlinien der WHO empfehlen bei PM₁₀ einen Grenzwert von 15 Mikrogramm und bei PM_{2,5} einen Grenzwert von 5 Mikrogramm im Kalenderjahr (WHO 2021). In der wissenschaftlichen Literatur sind klare Hinweise auf eine Verbesserung der Luftqualität durch Begrünung beschrieben (vgl. Pugh et al. 2012). Die stärkste Deposition von Staubpartikeln findet an fein gegliederten Pflanzenstrukturen statt (Flohr 2010; Mitchell/Maher/Kinnersley 2010). Daten über quantifizierbare Filtrationsleistungen von Begrünungspflanzen liegen nur vereinzelt vor (vgl. Bartfelder/Köhler 1987; Gorbachevskaya/Herfort 2012: 12 ff.; Thönnessen 2007); die bisherigen Untersuchungen zeigen derzeit kein einheitliches Bild (z. B. Gorbachevskaya/Schreiter/Kappis 2007; Thönnessen/Hellack 2005; Sanjuan/Bull 2016, Paull et al. 2020).

Darüber hinaus binden Pflanzen klimaschädliches CO₂ und setzen O₂ frei. Auch dazu fehlen für viele Begrünungspflanzen Messdaten. Das ist insoweit nachvollziehbar als die Bestimmung der CO₂-Bindung von zahlreichen Parametern abhängig ist, deren Kontrolle für umfangreiche Versuchsreihen nicht trivial ist. Begrünte Fassaden verbessern die Wasserretention und helfen Starkregenereignisse besser zu bewältigen. Systematische Untersuchungen, die eine belastbare Quantifizierung des Wasserretentionsverhaltens erlauben, sind selten. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf (vgl. Flohr/Pfanz 2007).

Für diverse Dachbegrünungsformen wurden grobe Abflussbeiwerte (DIN 1986-100:2016- 9) vergeben, für Fassadenbegrünungen wurden bislang keine Abflussbeiwerte vorgeschlagen.

Für die Vertikal- und Extensiv-Dachbegrünung bestehen Pflanzen-Vorschlagslisten, die Anwendenden und Planenden Hinweise zur Pflanzenauswahl geben. Der Bedarf zielt zunehmend auf die lokale, heimische Biodiversität (Wassmann-Takigawa/Amrein-Gerber 2020; Schröder/Jeschke/Kiehl 2020). Die bislang veröffentlichten Listen sind häufig unvollständig und weisen im aktuellen Datenbestand zu wichtigen Pflanzenattributen Lücken auf. Wie bereits ausgeführt zeigen kürzliche Erhebungen und die aktuellen Projekte BUOLUS und Wilde Klimawand am IBP, dass noch Nachholbedarf an wissenschaftlichem Verständnis über die Zusammenhänge, als auch beim Informationsstand von Anwendern, Entwicklern und Entscheidern, besteht (Leistner et al. 2018; Herzog et al. 2021; Krause et al. 2023).

Der BuGG und das IBP bemühen sich seit Jahren, Informationen zu Vertikal- und Extensiv-Dachbegrünungen zusammenzutragen. Dabei stellt sich heraus, dass es zum einen wünschenswert ist, bestehende Listen auf der Basis von botanisch-wissenschaftlichem Wissen zu überarbeiten und, dass zum anderen zahlreiche wichtige Attribute nur unzureichend erfasst sind. Wichtige Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen sind z. B.: Gaswechsel, Verdunstungsleistung und die Minderung von Luftschadstoffen.

2.2. Forschungslücke/Entwicklungsbedarf

Pflanzen, die zur Begrünung verwendet werden, können durch ihre Eigenschaften (Attribute) sehr viel zu einer gesunden und lebenswerten Umwelt in unseren Kommunen beitragen. Dabei sind unterschiedliche Pflanzen für verschiedene Anwendungen besser oder schlechter geeignet. Derzeit bestehen noch große Unsicherheiten bzw. Datenmangel, welche Pflanzen und Pflanzenbestände besonders effektiv eingesetzt werden können, um bestimmte Ökosystemleistungen zu erbringen, wie z. B. Wasserretention, Klimaverbesserung, Schadstoffreduktion, CO₂ Bindung, etc.

Bereits bestehende, zum Teil schon ausführliche Pflanzenvorschlagslisten, enthalten zu den genannten Attributen oft nur unvollständige oder keine Information. Vorliegende Untersuchungen haben leider oft

exemplarischen Charakter und sind nicht dazu geeignet für kalkulatorische Abschätzungen herangezogen zu werden. Dieses Projekt stellt einen wichtigen Ansatz dar, die beschriebenen Lücken im Datenbestand zu schließen.

„Green Follows Function“ ist ein Motto, das am IBP bereits verfolgt wird. Es geht darum, entsprechend der gewünschten Nutzenanwendung die richtigen Pflanzen zu wählen - mit Schwerpunkt heimischer Vegetation. Grundlage dafür ist die Kenntnis der nutzbaren Pflanzen und deren o. g. Attribute.

Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Pflanzen-Ressourcen und ihre Attribute: Welche Quellen sind bereits vorhanden? Welche Attribute sind bereits in ausreichender Güte zahlenmäßig erfasst, welche werden noch benötigt?
Bestehende Listen sollen zu einer einheitlichen Datenbank zusammengeführt werden, in der alle bereits bekannten Attribute hinterlegt werden. Der Datenbestand in dieser SQL-Datenbank soll durch ausgewähltes Fachpersonal erweiterbar und jederzeit für interessierte Personen (z. B. Planende, Ausführende) leicht durchsuchbar sein.
2. Messungen zur Ergänzung der wichtigsten Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen, zunächst beschränkt auf z. B. Gerüstkletterpflanzen zur bodengebundenen Fassadenbegrünung mit dem Schwerpunkt „Schlinger und Winder“:
 - Messungen zur (Evapo-)Transpiration mittels Lysimeter (bis zu 25 Pflanzen, bei denen dieses Attribut fehlt, inklusive „Referenzpflanzen“, bei denen Messwerte vorliegen).
 - Messungen zum Gaswechsel: CO₂/Photosyntheseleistung (bis zu 25 Pflanzen, inklusive Referenzpflanzen“).
 - Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Feinstaubreduktion und NO_x-Aufnahme durch Pflanzen.

Insgesamt wird ein erster Rahmen gesteckt, basierend auf der Auswertung bestehender Arbeiten, neuen Messungen, Praxiserfahrung und botanischem Sachverstand.

3. Zielstellung

Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, eine umfassende Datenbank für Pflanzen, die bei bodengebundener Fassadenbegrünung und extensiver Dachbegrünung verwendet werden, zu erstellen, die es Planenden einfacher macht, eine Auswahl an geeigneten Pflanzen für ein zu begrünendes Objekt zusammenzustellen. Dabei sollen möglichst heimische Pflanzen mit günstigen Eigenschaften hinsichtlich der gewünschten Ökosystemleistungen, die auf den entsprechenden Standort am besten angepasst sind, zusammengestellt werden können. Diese Hilfestellung soll die Planenden dabei unterstützen, Pflanzen mit den richtigen Eigenschaften, die an dem entsprechenden Standort gewünscht sind, zu finden.

3.1. Konkrete Projektziele

Das erste Hauptziel des Projekts ist es, bereits bestehenden Pflanzenlisten mit all ihren Attributen in einer Datenbank zusammenzuführen. Anhand der Datenbank lässt sich dann ermitteln, welche Attribute noch unvollständig beschrieben sind. Diese Lücken sollen durch Messungen vermindert werden. Diese Messungen, die aus Aufwandgründen auf die Attributenbereiche „Gaswechsel“, „Verdunstungsleistung“ und „Schadstoffreduktion“ und jeweils bis zu maximal 25 verschiedene Pflanzen beschränkt werden müssen, sind das zweite Hauptziel des Projekts.

Attribute wie „Verdunstungsleistung“ und „Gaswechsel“ werden an jeweils bis zu 25 Pflanzenarten/Pflanzenformen gemessen. Zu den Pflanzenattributen „Feinstaubabscheidung“ und „NO_x-Aufnahme“ sollen konkrete Messkonzepte sowie erste Beispielmessungen präsentiert werden.

Die so neu gewonnenen Daten werden in die Datenbank aufgenommen. Diese SQL-Datenbank, soll anschließend einer breiten Nutzerschaft präsentiert werden und als Open Source Quelle online zur Verfügung stehen.

3.2. Übergeordnete Ziele

Dieses Projekt trägt dazu bei, energieeffiziente und klimagerechte Begrünungskonzepte im Gebäude- und Quartiersbereich für Planende und Interessierte einfacher zu gestalten. Durch die gewonnenen Ergebnisse wird die bauliche Integration von Begrünung an Gebäuden und deren Bewirtschaftung durch Schaffung besserer Datengrundlagen vorangetrieben.

Darüber hinaus wird eine Verbesserung der Bau- und Planungsprozesse angestrebt. Die Ergebnisse werden Berücksichtigung finden bei Instrumenten und Verfahren zur Verbesserung der kooperativen und integralen Planungs- und Beteiligungsprozesse durch Stärkung der bestehenden Grundlagen. Mit den im Projekt gewonnenen Ergebnissen können Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Gebäudebegrünung verbessert werden. Es soll außerdem ein erkennbarer und nutzbarer Mehrwert von grüner Architektur im Stadtraum durch den intelligenten Einsatz von Vegetation, die die benötigten Ökosystemleistungen bereitstellt, entstehen.

Der Schwerpunkt des Vorhabens liegt auf dem Erkenntniszuwachs und dem Wissenstransfer im Sektor der Gebäudebegrünung, um deren nachhaltige Entwicklung zu fördern. Hinter dem Vorhaben steht der Anspruch, eine nachhaltige Entwicklung des Gebäudesektors insgesamt zu verbessern.

Die Natur wird aus den Städten verdrängt. Die Gebäudebegrünung muss als Klimaanpassungsmaßnahme gesehen werden - als ein Baustein, der dazu beitragen kann, das Leben in Städten nachhaltig lebenswert zu gestalten und für die Zukunft lebenswert zu erhalten. Die Kenntnisse über die Wohlfahrtseigenschaften der Pflanzen mit der der Energie- und Ressourceneffizienz zusammengedacht werden.

Durch die im Projekt erworbenen neuen Erkenntnisse zum Einsatz von geeigneten Pflanzen für die Gebäudebegrünung können die positiven Effekte der Gebäudebegrünung quantifiziert werden. Die Gebäudebegrünung wird damit als ein Baustein zur Klimawandelanpassung greifbarer und messbarer. Für ausschreibende Stellen ergibt sich, sobald eine ausreichende Datenbasis verfügbar ist die Möglichkeit, quantifizierbare Ökosystemleistungen in Ausschreibungen als Teil des Leistungsverzeichnisses zu fordern.

4. Forschungsdesign

Die Forschungsarbeit setzt an den bestehenden Grundlagendaten an, wie den bereits beim BuGG erarbeiteten Pflanzen-Vorschlagslisten für Vertikal- und Extensiv-Dachbegrünung. Um die gewünschten Ergebnisse und Zielstellungen, die bereits zuvor erläutert wurden, zu erreichen, wurden Arbeitshypothesen aufgestellt, unter deren Prämisse die weiteren methodischen Vorgehensweisen geplant und durchgeführt wurden.

4.1. Arbeitshypothesen

So ergaben sich folgende Arbeitshypothesen:

1. Bestehende Pflanzenlisten für extensive Dachbegrünung und bodengebundene Fassadenbegrünung sind derzeit noch unzureichend.
2. Viele wichtige Attribute zu Pflanzen, die in einer bodengebundene Fassadenbegrünung und/oder extensiven Dachbegrünung Anwendung finden könnten, sind noch nicht in ausreichender Form berücksichtigt oder bekannt wie z. B. Verdunstungsleistung, CO₂-Bindungsvermögen oder Schadstoffreduktionsvermögen. Aber auch „triviale“ Angaben, wie „heimisch“ und „bienenfreundlich“ oder Angaben zu „Pflege und Instandhaltung“, etc., sind in den bereits vorhandenen Listen nur unvollständige Angaben enthalten.
3. Durch die Verbesserung der Datengrundlage wird es für die Planenden, Ausführenden und Betreuenden von bodengebundenen Fassadenbegrünungen sowie extensiven Dachbegrünungen einfacher und sicherer diese zu planen, auszuführen und instand zu halten.
4. Die verbesserte Datengrundlage liefert wichtige Eingangsdaten zur Verbesserung von Simulationen, die immer häufiger verwendet werden, um die positiven Auswirkungen von Begrünungen vor der Umsetzung zu berechnen und darzustellen. Durch die vervollständigten Daten können zukünftig die Nutzeffekte bereits im Voraus besser abgeschätzt werden.
5. Durch die richtige Auswahl geeigneter Pflanzen werden Begrünungsprojekte erfolgreicher, da die gewählten Pflanzen dem Standort und den Wünschen der Bauherrschaft besser entsprechen können. Das Reklamationsrisiko für den Ausführenden kann durch die Auswahl geeigneter Pflanzen verringert werden.

4.2. Methodischer Ansatz

Die Basis für dieses Projekt bildet die Literaturrecherche. Diverse, bisher in zahlreichen Einzelarbeiten vorliegende Daten, sollen in Form einer Datenbank zusammengetragen werden. Zusätzlich sollen auch botanische Fachkenntnisse über geeignete heimische Pflanzen einfließen. Insgesamt wurde zu Beginn mit einem Arten- und Sortenbestand an Pflanzen, die für Gebäudebegrünung in Deutschland und angrenzenden Gebieten geeignet sind, von über 500 Pflanzenarten und Formen gerechnet.

Die Verwaltung der gewonnenen Daten in einer SQL-Datenbank ermöglichen eine leichte Aktualisierung und Ergänzung der Datensätze durch Fachpersonen sowie benutzerfreundliche Abfragemöglichkeiten für Planende und Ausführende.

Wichtige Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen sollen experimentell ermittelt werden. Für die Messungen werden ökophysiologische Messmethoden zum Einsatz kommen.

Die Messung der Evapotranspiration von Pflanzenbeständen mittels Lysimeter ist bereits Standard. Allerdings wurden derartige Messungen für Pflanzen zur Gebäudebegrünung bisher kaum durchgeführt, bzw. wurden unter anderem Kontext erstellt und daher nicht unmittelbar in Beziehung zu

Begrünungssystemen gebracht. Die Transpirationsleistung/Evapotranspiration der unterschiedlichen Pflanzenarten gibt Auskunft über Wasserbedarf und über einen potenziellen Kühlungseffekt der Pflanzen.

Ebenso handelt es sich bei der CO₂-Gaswechsellmessung/Photosyntheseleistung mittels spezieller Mess-Küvette um eine etablierte Messmethode. Auch hier fehlen oft Daten zu den Pflanzen, die sich für Gebäudebegrünungen eignen. Diese Messungen geben Auskunft über das Potenzial der unterschiedlichen Pflanzen klimawirksames CO₂ zu binden.

Messungen zu schadstoffmindernden Eigenschaften von Pflanzen zur Gebäudebegrünung sind bisher nicht einfach reproduzierbar. Die Methoden zur Erfassung der Feinstaubbindung sind bisher sehr aufwändig. Im Rahmen des interdisziplinären Projektes BUOLUS (vgl. Leistner et al. 2018:358-368) wurde bereits an einer Methode zur Abschätzung der feinstaubreduzierenden Eigenschaft von Pflanzenbeständen gearbeitet. Um für einzelne Pflanzenarten Aussagen treffen zu können, muss diese Methode jedoch noch adaptiert und verfeinert werden. Auch bei vergleichenden ökophysiologischen Messungen zur NO_x-mindernden Eigenschaft von Pflanzen, bestehen neben theoretischen Grundlagen kaum geeignete Messverfahren, daher soll im Rahmen dieses Projektes ein Messkonzept als Grundlage erstellt bzw. adaptiert werden.

Aufgrund der zeitlichen Limitationen für die Projektdauer wird es nicht möglich sein, für alle gelisteten Pflanzen die gesamten Attribute zu messen bzw. zu erfassen. Bei den geplanten Messungen erfolgt zunächst eine Beschränkung auf bis zu 25 zu messende Arten/Sorten (inklusive Referenzarten).

4.3. Projektteam und Organisation, Kooperationspartner

Die Projektpartner in diesem Projekt sind das Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP und als mitforschende Stelle der Bundesverband GebäudeGrün BuGG e. V.

Die fachliche und administrative Leitung und die Koordination der mitforschenden Stelle lagen beim IBP, ebenso die Sichtung und Ergänzung der Pflanzenlisten, die Sichtung von vorhandenen Unterlagen zu den Attributen, der Aufbau der Datenbank, die Dateneingabe, die Betreuung der Abschlussarbeiten, und die wissenschaftlichen Untersuchungen. Der BuGG übernahm einen Teil der Datenbeschaffung, die Plausibilitätsprüfung von Daten zu den Attributen und unterstützte bei der Beschaffung der Pflanzen. Außerdem brachte der BuGG seine Expertise hinsichtlich der Praxistauglichkeit ausgewählter Pflanzen ins Projekt mit ein. Die Erstellung des Schlussberichts, die Publikation der Ergebnisse durch Tagungsbeiträge, Online-Veranstaltungen, Veröffentlichungen und Workshops erfolgte gemeinsam durch beide projektbeteiligten Einrichtungen.

Die Inhalte der Arbeitspakete und die Arbeitsteilung sind in Kapitel 4.4 „Arbeitspakete und Meilensteine“ kurz beschrieben.

Die Gaswechsellmessungen wurden an der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) und ein Teil der Blattflächenbestimmungen an der Universität Innsbruck (UIBK) durchgeführt. Für diese Unterstützung fielen keine Kosten an.

Das IBP Fraunhofer Institut ist bekannt für seine breite Expertise in Zusammenhang mit dem gebauten Raum und hat bereits seit einigen Jahren an diversen wissenschaftlichen Fragestellungen zur Gebäudebegrünung gearbeitet. Aktuell wird am IBP das Multi-Stakeholder Projekt Bauphysikalische Gestaltung urbaner Oberflächen für nachhaltige Lebens- und Umweltqualität in Städten BUOLUS durchgeführt, gefördert vom BMBF im Rahmen der Umsetzungsinitiative Zukunftsstadt. Einen wesentlichen Aspekt bildet dabei die Gebäudebegrünung, die in zwei Teilprojekten hinsichtlich technischer Fragestellungen bearbeitet wird. Zusätzlich werden in BUOLUS durch Abschlussarbeiten Erkenntnisse zur Retentionsfähigkeit von Gebäudebegrünung, akustischen Eigenschaften von

Begrünung sowie ein erstes Konzept in Richtung standardmäßiger Messung der Schadstoffreduktion durch Gebäudebegrünung (Messung von Pflanzenbeständen/extensiver Dachbegrünung) durchgeführt.

Der BuGG (früher Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. FBB und Deutscher Dachgärtner Verband e. V. DDV) stellt die zentrale Interessensgemeinschaft für Betriebe und Stakeholder im Bereich der Gebäudebegrünung dar. Der BuGG hat sich der Wissensvermittlung und Wissensvermehrung im Bereich der Gebäudebegrünung verpflichtet und selbst bereits zahlreiche Forschungsvorhaben gefördert.

4.4. Arbeitspakete und Meilensteine

Im Folgenden sind die ursprünglich geplanten einzelnen Arbeitspakete und Meilensteine aufgelistet.

AP1 Koordination/Leitung (IBP)

Die Leitung des Projektes liegt beim IBP, die Abstimmung und Koordination erfolgen digital via E-Mail und andere Tools, telefonisch oder persönlich.

AP2 Erarbeitung der Pflanzenliste, Sammlung von Literaturdaten und Messwerten: Datensammlung (IBP, BuGG)

Die zentrale Aufgabe der Datenbeschaffung wird von den Projektpartnern gemeinsam erfüllt.

AP3 Grundkonzeption der vorgesehenen Messungen, Koordination der Abschlussarbeiten (IBP)

Die geplanten Abschlussarbeiten finden am IBP statt und werden auch am IBP ausgeschrieben und koordiniert

AP4 Verdunstungsleistung (IBP)

Zu Messungen zur Verdunstungsleistung ausgewählter Pflanzen wird eine Abschlussarbeit in Zusammenarbeit mit einer Hochschule am IBP durchgeführt.

AP5 CO₂-Bindung, Messung mittels spezieller Messküvette: Gaswechsel (IBP)

Zu Messungen der Photosyntheseleistung ausgewählter Pflanzen wird eine Abschlussarbeit in Zusammenarbeit mit einer Hochschule am IBP durchgeführt.

AP6 Feinstaub Messkonzept und erste Messungen (IBP)

Ursprünglich ist geplant zur Anpassung und Verbesserung eines Messkonzeptes zur Feinstaubaufnahme und ersten Referenzmessungen anhand von ausgewählten Pflanzen eine Abschlussarbeit in Zusammenarbeit mit einer Hochschule am IBP durchführen zu lassen. Infolge pandemiebedingter Verzögerungen wird dieses Arbeitspaket mit dem folgenden zusammengelegt.

AP7 NO_x-Messkonzept und erste Messungen (IBP)

Zur Anpassung eines Messkonzeptes zur Feinstaubaufnahme und zur NO_x-Aufnahme einschließlich erster Referenzmessungen anhand ausgewählter Pflanzen wird eine Abschlussarbeit in Zusammenarbeit mit einer Hochschule am IBP durchgeführt.

AP8 Datenbankerstellung und Erfassung der gewonnenen Daten in einer SQL-Datenbank (IBP)

Am IBP erfolgt der Aufbau der geplanten Datenbank.

AP9 Schlussbericht und Schlusspräsentation (BUGG, IBP)

Der Abschlussbericht wird von den Forschungspartnern gemeinsam verfasst. Insbesondere die Ausarbeitung der Barrierefreiheit erfolgt am BuGG.

AP 10 Öffentlichkeitsarbeit (BuGG, IBP)

Öffentlichkeitsarbeit und Publikationen werden von beiden Projektpartnern gemeinsam betrieben. Da das BuGG dazu über die besseren Möglichkeiten und die besseren Kontakte verfügt ist der Verband hierbei federführend.

- M1 (Monat 11) Die Abschlussarbeiten (Masterarbeiten) „Verdunstungsleistung“ und „CO₂/O₂ Gaswechsel“ können erfolgreich vereinbart werden.
- M2 (Monat 15) Eine SQL-Datenbank ist aufgesetzt und bereits mit ersten Datensätzen (mindestens 300 Pflanzenarten/-sorten) auf Basis vorhandener Informationen bestückt.
- M3 (Monat 16) Für bis zu 25 Pflanzenarten/-sorten sind Daten zur Verdunstungsleistung und CO₂/O₂-Gaswechsel gemessen und die Abschlussarbeiten können fertig gestellt werden.
- M4 (Monat 23) Die Abschlussarbeiten (Masterarbeiten) „Feinstaub“ und „NO_x“ können erfolgreich vereinbart werden.
- M5 (Monat 28) Ein konkretes Messkonzept und erste Beispielmessungen zum NO_x-Reduktionsvermögen von Pflanzen sowie ein adaptiertes und verfeinertes Messkonzept mit ersten Beispielmessungen zum Feinstaubbindevermögen der Pflanzen liegen vor, die Abschlussarbeiten können fertig gestellt werden.
- M6 (Monat 30) Schlussbericht, fertige Datenrecherche und Datenbank liegen vor.

Infolge der Pandemie ergaben sich verschiedene Änderungen im Ablauf. Insbesondere die Akquise von Studierenden für Abschlussarbeiten und die damit verbundenen Arbeitspakete waren deutlich verzögert. Um eine möglichst große Gemeinschaft an Studierenden anzusprechen, wurden die vorgesehenen Arbeiten an diversen Hochschulen, Universitäten sowie am Internetportal des BuGG ausgeschrieben. Darüber hinaus war auch die Reisetätigkeit eingeschränkt. Kontakt, Austausch und Koordination konnten jedoch über digitale Hilfsmittel fortgeführt werden.

Erst im Jahr 2023 konnten Studierende verpflichtet werden, die sich im Rahmen ihrer Masterarbeit mit den Messungen auseinandersetzen wollen. Aufgrund der bereits fortgeschrittenen Zeit wurden dabei bereits die geplanten Arbeiten zur Adaption eines bestehenden Messkonzeptes zur Erfassung der Feinstaubreduktion durch Begrünungspflanzen und der Reduktion von Schadgasen (NO_x) durch Begrünungspflanzen (ursprüngliche Arbeitspakete AP 6 und AP 7) zusammengefasst. Trotz der weiten Ausschreibung meldeten sich lediglich zwei Studenten, die Abschlussarbeiten zum Wasserhaushalt (AP 4) bzw. zur Schadstoffreduktion (AP 6 + 7) durchführten. Um die vorgesehenen Messungen doch noch im geplanten Umfang durchführen zu können wurde das Messprogramm insgesamt gestrafft und eine kostenneutrale Projektverlängerung bis Ende 2023 beantragt und genehmigt. Messungen zum CO₂-Gaswechsel (Photosynthese) konnten an der LMU durchgeführt werden. Darüber hinaus unterstützte die Leopold-Franzens-Universität Innsbruck bei einem Teil der Messungen zur Blattfläche der untersuchten Pflanzenindividuen. Für die Unterstützung durch die beiden Universitäten fielen keine Kosten an.

Durch diese Verschiebung sowie durch die zeitlichen Limitationen für die Projektdauer und war es nicht möglich, für alle geplanten Attribute-Messungen genau 25 Pflanzen heranzuziehen. Insgesamt konnten für die Evapotranspirations-/Transpirationsmessungen 21 unterschiedliche Pflanzen/Sorten beschafft und untersucht werden.

Ebenfalls durch die Verschiebung bedingt konnten die Arbeitspakete AP 2 bis AP 10 und die Meilensteine M1 bis M6 nicht in der geplanten zeitlichen Abfolge durchgeführt werden, sondern wurden teilweise zusammengefasst (AP 6 und AP 7) oder verschoben.

5. Projektkoordination und Methodik

In diesem Kapitel werden die durchgeführten Arbeiten und die damit verbundene Methodik dargestellt, während im folgenden dann Ergebnisse und Diskussion präsentiert werden.

5.1. Koordination

Die Koordination und Abstimmung im Projekt erfolgten vorwiegend digital und telefonisch. Dadurch war auch während der Pandemie ein regelmäßiger monatlicher Austausch möglich, der eine gute Zusammenarbeit gewährleistete. Bei Bedarf wurden Besprechungen auch in kürzeren Abständen oder ad hoc durchgeführt.

5.2. Datensammlung und Erstellung der Datenbank. Erarbeitung der Pflanzenliste, Sammlung von Literaturdaten und Messwerten: Datensammlung

Die Schwerpunkte der Literaturrecherche wurden auf Pflanzen für bodengebundene Fassadenbegrünungen und extensive Dachbegrünungen gelegt. Die Attribute, die in einer Basisliste enthalten sein müssen, wurden zwischen den Projektpartnern abgestimmt. Die Abstimmung war nötig, um in der Basisliste für alle Attribute, die in den unterschiedlichen Quellen zu finden sind, ein Feld bereitzustellen, auch wenn nicht für alle Pflanzen ein vollständiger Datensatz gefunden werden konnte. Als Quellen dienten wissenschaftliche Artikel, Fachbücher, Herstellerlisten, Listen von verschiedenen Organisationen, die sich mit Begrünung befassen, einschlägige Broschüren, interne Listen des BuGG, offen zugängliche Datenbanken, usw. sowie eigene Messungen und Fachexpertise von BuGG und IBP.

In der Basisliste so viel Information wie in der Literatur im ersten Schritt zu finden war, hinterlegt. In einem weiteren Schritt wurden nun Attribute zu einem zusammengefasst oder ganz gestrichen, wenn sich zeigte, dass in den Quellen nicht ausreichend Werte zu einem Attribut zu finden waren.

Der BuGG verfügt über eine Projektgruppe „Pflanzen zur Fassadenbegrünung“, die bereits eine Liste für wandgebundene Begrünungssysteme erstellte. Werte aus dieser Liste flossen in die Basisliste mit ein.

Die Basisliste wurde um die Ergebnisse der umfassenden Literaturrecherchen zu bodengebundenen Fassadenbegrünungspflanzen inklusive bereits bekannter Attribute ergänzt und zu einer einheitlichen Gesamtpflanzenliste weiterentwickelt, die dann als Datenbasis für die SQL-Datenbank diente. Für die Recherche wurden mehr als 300 Fachpublikationen, Pflanzlisten und Internetseiten herangezogen. Die Gesamtpflanzenliste umfasst den Arten- und Sortenbestand von über 1400 Pflanzenarten, Sorten und Formen. Sie enthält alle Pflanzen, die für Gebäudebegrünung in Deutschland und angrenzenden Gebieten geeignet sind.

Die erstellte Datenbank läuft auf einem frei verfügbaren Datenbankserver (Maria DB, Version 10.11.9). Für Abfragen und Eingaben wurde eine Benutzeroberfläche mit PHP (Version 7.3) entwickelt, die es den zukünftigen Nutzern erlaubt, Daten unkompliziert abzurufen bzw. auch (kontrolliert) zu ergänzen. Als Webserver für den externen Zugriff kommt Apache Version 2.4 zum Einsatz.

Zu den einzelnen Pflanzen existieren z. T. mehr Attribute als für die Abschätzung ihrer Einsatztauglichkeit bei der Gebäudebegrünung notwendig sind. In der Datenbank sind die Attribute erfasst, die wesentliche Kenngrößen für die Beurteilung der Eignung von Pflanzen zur Gebäudebegrünung und die bereitgestellten Ökosystemleistungen darstellen. Die Attribute werden in den Abschnitten 5.2.1 bis 5.2.8 näher charakterisiert. Eine weiterführende bzw. zusammenfassende Diskussion dieser Attribute erfolgt im Kapitel 6.2.

5.2.1. Attribute zur Pflanzenidentität

In diesem Abschnitt werden alle Attribute, die Eingang in die Datenbank gefunden haben, beschrieben. Die Attribute mit Relevanz für die Gebäudebegrünung lassen sich in vier Gruppen clustern: inhärente Eigenschaften von Pflanzen (z. B. Größe der ausgewachsenen Pflanze, Blattfarbe, Blütenfarbe, Blühzeit, etc.), Anforderungen an deren Kultur (z. B. ist eine Kletterhilfe notwendig, bevorzugte Lichtverhältnisse), Ökosystemleistungen (z. B. Photosyntheseleistung, Transpiration stomatärer Fluss, Feinstaubaufnahmefähigkeit) und die Bedeutung für die Biodiversität (z. B. bietet die Pflanze eine Nahrungsgrundlage oder Lebensraum für Insekten und Vögel).

Botanischer Name

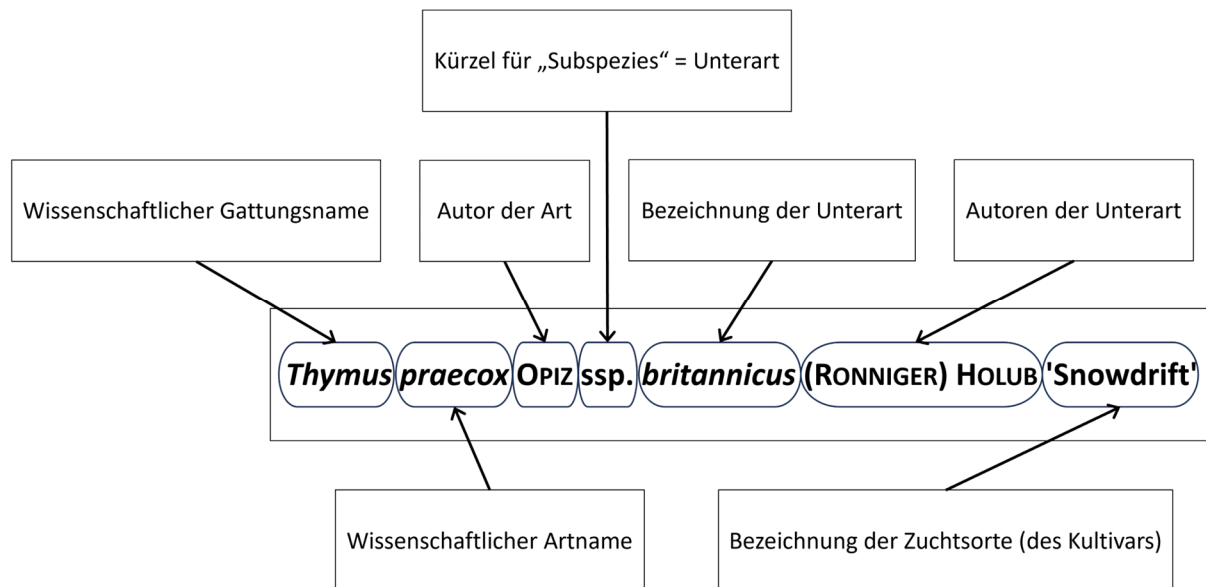
Der aktuell gültige wissenschaftliche Name dient der eindeutigen Identifikation der Pflanzen. Referenz dazu ist die Datenbank des Royal Botanic Garden Kew, Plants of the World Online (<https://powo.science.kew.org/>). Die Angaben sind folgendermaßen gegliedert: Lateinisches Binomium (Gattungs- und Artnamen) mit Autor(en), danach folgend Unterart (Subspezies ssp.), oder Varietät (var.) oder Sortenname in einfachen Anführungsstrichen; Kreuzungen sind durch ein „x“ vor dem Artnamen bzw. Gattungsnamen gekennzeichnet. Falls mehrere Arten einer Gattung angesprochen sind, so steht statt dem Artnamen „spp.“ (species plural). Im folgenden Absatz eine kurze Erläuterung mit Beispielen zur wissenschaftlichen systematischen Benennung der Pflanzen, wie sie in der neuen Datensammlung eingesetzt wird. Diese orientiert sich so weit als möglich am Internationalen Code für die Nomenklatur von Algen, Pilzen und Pflanzen (Turland et al., 2018) bzw. den Internationalen Code für die Nomenklatur von gezüchteten Pflanzen (Brickell et al., 2016).

"Lateinisches Binomen" (Gattungs- und Artnamen) mit Autor(en): Thunbergs Berberitze heißt wissenschaftlich *Berberis thunbergii* DC. Autorennamen werden meist abgekürzt (nach einem internationalen Schlüssel), oder können auch ausgeschreiben werden. In der einfachsten Form steht zuerst der Gattungsname, beginnend mit einem Großbuchstaben, anschließend der Artnamen klein geschrieben und der (oder die) Autor(en). Falls die Art früher mal einer anderen Gattung zugeordnet war, steht der Autor der dazugehörigen Beschreibung in runden Klammern, während anschließend der/die neue(n) Autor(en) angeführt sind: Rippenfarn *Blechnum spicant* (L.) Sm. Zusätzlich kann eine Art noch in Untergruppen gegliedert sein, Unterarten (Subspezies ssp.) oder Variationen (variatio var.). Falls dies hervorgehoben wird erfolgt nach dem Artnamen eine Abkürzung der Gruppen Bezeichnung z. B. „subsp.“ oder „ssp.“ für Subspezies oder „var.“ für Variation und anschließend noch ein kennzeichnender Ausdruck: Rote Zaunrube *Bryonia cretica* L. subsp. *dioica* (Jacq.) Tutin. Bei züchterischen Formen wird keine Abkürzung zur Kennzeichnung verwendet, sondern einfache Anführungszeichen an der Bezeichnung, die bei Zuchtformen großgeschrieben wird: Zwergberberitze 'Kobold' *Berberis thunbergii* DC. 'Kobold'. Bei der Nennung von Unterarten, Variationen oder Zuchtformen kann auf die Autoren der Stammart verzichtet werden. In dieser Datensammlung werden sie jedoch genannt, aus Gründen der Klarheit. Kreuzungen zwischen zwei Arten derselben Gattung erhalten nach dem Gattungsnamen ein „x“ und eine Bezeichnung für die Kreuzung analog zu einer Artbezeichnung sowie den Autorennamen der Erstbeschreibung: Wintermahonie *Berberis x hortensis* Mabb. Oder es werden beide Kreuzungspartner durch ein „x“ getrennt genannt: Wintermahonie *Berberis japonica* x *B. oiwakensis* (beim zweiten Kreuzungspartner kann der Gattungsname abgekürzt werden, da derselben Gattung zugehörig). Bei Kreuzungen zwischen zwei Gattungen wird das „x“ vor dem Kreuzung-Gattungsnamen gestellt. Vielfach sind jedoch bei züchterischen Bearbeitungen die Elternarten nicht mehr eindeutig nachvollziehbar. Diese Zuchtsorten werden anstatt mittels Artnamens lediglich durch die Gattung, das Kreuzungszeichen („x“) und den Kultursortenamen erfasst, wie z. B. bei der Kletterrose 'Bajazzo': *Rosa* x 'Bajazzo'. Zur Benennung von gezüchteten Pflanzensorten bestehen noch weitere Regeln, auf die hier aber nicht weiter eingegangen wird. Üblicherweise werden Gattungs- und Artnamen kursiv geschrieben, dazu gehörende Abkürzungen für Untergruppen oder Sortennamen in Normalschrift und Autorennamen normal oder in Kapitälchen.

Zur Erläuterung sind in Abbildung 4 die Bestandteile der wissenschaftlichen Benennung des Englischen Thymians, Kultursorte 'Snowdrift' aufgeschlüsselt.

Abbildung 4

Aufgeschlüsselte Bestandteile der wissenschaftlichen Benennung der Kultursorte 'Snowdrift' vom Englischen Thymian.



Synonym

Früherer wissenschaftlicher (lateinischer) Name, der für die Pflanze angewendet wird/wurde. Nach den Internationalen Code für die Nomenklatur von Algen, Pilzen und Pflanzen (Turland et al., 2018) bestehen konkrete Prioritätsregeln für publizierte Pflanzennamen. Dem folgend bzw. durch Neubearbeitungen kann es zu Umbenennungen von Pflanzennamen kommen. Hierzu bietet die Datenbank des Royal Botanic Garden Kew, Plants of the World Online POWO (<https://powo.science.kew.org/>) ebenfalls eine gute Grundlage (Plants of the World online 2024).

Deutscher Name

Deutsche(r) Name(n) der Pflanze

Vielfach sind Anwendenden eher die deutschen Namen geläufig, denn die lateinischen Bezeichnungen. In der Regel wird nur ein gebräuchlicher deutscher Name entsprechend aus der gesichteten Literatur angegeben, in Einzelfällen auch mehrere.

English name

Englische(r) Pflanzename(n).

Nach Absprache wurde auch die englische Bezeichnung aus der gesichteten englischsprachigen Literatur in die Datenbank aufgenommen. Nur in Einzelfällen wurden mehrere englische Benennungen angegeben.

Pflanzenfamilie

Wissenschaftlicher Name der Pflanzenfamilie. Referenz dazu ist die Datenbank des Royal Botanic Garden Kew, Plants of the World Online (<https://powo.science.kew.org/>).

Pflanzengattungen werden zu Pflanzenfamilien zusammengefasst. Dies erleichtert die Einschätzung von neuen Arten im Angebot, da sich Gattungen innerhalb einer Familie oft ähneln.

5.2.2. Zuordnung der Pflanzen zu Großgruppen

Pflanzengruppe

Unter diesem Attribut werden die bearbeiteten Pflanzen Pflanzengruppen zugeordnet, die die verwendeten Pflanzen generell charakterisieren. Dabei erfolgt die Orientierung an der Wuchsform im Sinne der morphologischen Ausgestaltung einer Pflanze in Bezug auf ihre Lebensdauer, auf die Dauer ihrer einzelnen Teile, ihre Verzweigung usw. (vgl. Wagenitz 2003; Kadereit et al. 2021). Die folgenden Kategorien werden unterschieden:

- Bambusse – „Riesengräser“ mit holartigen großen Halmen
- Bäume – Holzpflanze vorwiegend mit Einzelstamm
- Einjährig – Kräuter oder Gräser die ein Jahr leben
- Einjährig bis mehrjährig – Kräuter oder Gräser die nur ein Jahr bis mehrere Jahre leben
- Einjährige Kletterpflanzen – einjährige Kletterpflanzen, die sich keiner der anderen Kategorien von einjährigen Kletterpflanzen zuordnen lassen
- Einjährige Ranker – einjährige Kletterpflanzen mit Rankorganen
- Einjähriger Schlinger – einjährige Kletterpflanzen die sich emporwinden
- Einziehende Schlinger – mehrjährige Schlinger, deren oberirdische Teile im Herbst absterben
- Ein-Zweijährig – Kräuter oder Gräser die ein Jahr bis zwei Jahre leben
- Farne – an sich bei uns in der Regel Stauden, aber mit typischem Habitus der Farne
- Gräser – typisches Erscheinungsbild, meist mehrjährig, aber auch einjährige Formen
- Halbsträucher – nur am Grund verholzt
- Kletterpflanzen, verholzt – ausdauernde Kletterpflanzen mit Holzwachstum
- Moose – typisches Erscheinungsbild, oft mehrjährig
- Nadelbäume – Holzpflanzen mit typischem Habitus
- Rankende Stauden – rankende Pflanzen, deren Überwinterungsorgane nahe am Boden liegen
- Sauergräser – grasartige Lebensform mit vielen Arten feuchter Standorte
- Stauden – mehrjährige krautige Pflanzen
- Sträucher – Holzpflanzen, typisch mehrstämmig
- Sukkulente – Pflanze mit Wasserspeicherorganen
- Zweijährig – Kräuter oder Gräser die zwei Jahre leben
- Zwergsträucher – Sträucher, die nur ca. 0,5 - 1 m hoch werden
- Zwiebelpflanzen – ausdauernde Pflanzen, die als Zwiebel überwintern

Floristischer Status der Pflanze in Deutschland

Vegetation ist grundsätzlich dynamisch und die Areale von Pflanzen haben sich immer schon verändert. Im Sinne des floristischen Status der Pflanzen in der Naturlandschaft werden verschiedene Attribute verwendet. Zunächst wird von einheimischen (autochthonen) Pflanzen gesprochen, wenn diese natürlich in der Region vorkommen. Im Unterschied dazu werden Pflanzen, die durch Tätigkeit oder in der Folge der Tätigkeit des Menschen eingewandert oder verschleppt wurden als „allochthon“ (fremdländisch) oder „adventiv“ bezeichnet. Darunter fallen sogenannte „Archaeophyten“, das sind Pflanzen, die sich vor

1492 eingebürgert haben (teilweise finden sich auch die Angaben „vor 1500“ und „nach 1500“, welche nicht logisch nachvollziehbar sind), und „Neophyten“, Pflanzen, die sich nach dem Stichjahr angesiedelt haben (vergleiche Kühn/Klotz, 2002). Während Archaeophyten vielfach zur heimischen Flora gezählt werden, finden wir unter den Neophyten auch Pflanzen, die sich sehr aktiv (unkontrolliert) vermehren und ausbreiten – diese werden als „invasive Neophyten“ bezeichnet (Fischer/Oswald/Adler, 2008). Dadurch, dass diese invasiven Neophyten aus ihren angestammten Gebieten in Landschaften mit starker menschlicher (anthropogener) Überformung gelangen, haben sie zwei große Vorteile: sie finden nahezu konkurrenzlose bzw. bereits gestörte Standorte vor und sie sind nicht mehr der Konkurrenz bzw. dem ökologischen Druck ihrer natürlichen Begleitarten (z. B. auch Fressfeinde) ausgesetzt. Bei Begrünungen können invasive Arten vor allem dann problematisch und daher unerwünscht sein, wenn sie das Planungsziel gefährden. Darüber hinaus besteht bei Gebäudebegrünungen immer auch ein gärtnerisch-ästhetischer Aspekt und es werden vielfach Zierpflanzen und Kultivare eingesetzt.

Unter diesem Attribut wird spezifiziert, ob es sich um heimisches Pflanzenmaterial (Wildpflanze), fremdländisches (Zierpflanze; Neophyt) oder gezüchtetes (Kultivar, Kulturpflanze) handelt.

In der Datenbank werden bezüglich des floristischen Status folgende Gruppen unterschieden

- Kultivar: gezüchtete Sorte oder Kreuzung
- Nutzpflanze: gezüchtete Varietät oder Kreuzung, vor allem im Anbau (Landwirtschaft, Obstbau) verwendet
- Wildpflanze: im Gebiet (im weiteren Sinn: Europa/Mitteleuropa großzügig gehandhabt) natürlich vorkommende Pflanze
- Zierpflanze: Pflanzenart, die außerhalb Europas/des Gebiets natürlich vorkommt und bei uns als Zierpflanze aus ornamentalen Gründen gezogen wird
- Neophyt: Bei Neophyten handelt es sich um Pflanzen anderer Florengebiete, die sich im Gebiet selbstständig angesiedelt haben oder aus Pflanzungen sich ausgebreitet haben und nun selbstständig im Freien überleben und sich fortpflanzen können.

Lebensform

Die Bezeichnung der Lebensform orientiert sich in erster Linie an der Lage der Überwinterungsorgane bzw. der Wachstumsknospen. Die Gliederung nach Lebensformen orientiert sich am System der Lebensformen von Raunkiær (1905) bzw. der aktuellen Auffassungen in Ellenberg et al. (2001), Fischer/Oswald/Adler (2008) und Kadereit et al. (2021).

Lebensform bei Gefäßpflanzen

Die Lebensformen beinhalten grundlegende Daten zur Ökologie der Pflanzen, bzw. wie sie in der Begrünung eingesetzt werden können. Im Folgenden sind alle vergebenen Kategorien aufgeführt.

- **Hydrophyt** – aquatisch lebende Pflanze, Überwinterungsknospen normalerweise unter Wasser
- krautiger **Chamaephyt** – Knospen Überwinterungsknospen meist über der Erde und im Schneeschutz überwintert
- **Hemikryptophyt** – Überwinterungsknospen nahe der Erdoberfläche
- **Therophyt** – kurzlebig (einjährig) und ungünstige Zeiten als Samen überdauernd
- **Geophyt** – Überwinterungsknospen unter der Erdoberfläche meist mit Speicherorganen
- **Nanophanerophyt** bzw. Zwergstrauch (holziger **Chamaephyt**) – nur selten über 0,5 m hoch werdend; Strauch oder Kleinbaum, 0,5 bis etwa 1 m hoch werdend
- **Phanerophyt** – Baum, (großer) Strauch oder verholzte Liane, der mehr als 5 m hoch werden kann

- **Epiphyt** – auf anderen Pflanzen wachsend, z. B. auf Bäumen lebend

Lebensform bei Moosen

- **Hydrophyt** – aquatisch lebendes Moos
- **Chamaephyt** – Vegetationskörper weitgehend über der Erde
- **Hemikryptophyt** – Vegetationskörper nahe der Erdoberfläche
- **Therophyt** – kurzlebig
- **Epiphyt** – auf anderen Pflanzen, z. B. Bäumen lebend

Die Lebensformen Hydrophyt und Epiphyt sind bei den Gefäßpflanzen nur der Vollständigkeit halber angegeben, da sie in der vorliegenden Datensammlung nicht vorkommen. Bei den Moosen sind derzeit abgesehen vom kurzlebigen Schwanenhalsmoos, einem Therophyten, nur Hemikryptophyten gelistet und die weiteren Lebensformen bei Moosen zusätzlich angegeben.

Lebenszyklus/Lebensdauer der Pflanzen

Unter diesem Attribut wird erfasst, ob die Pflanzen kurz- oder langlebig sind (vgl. Molisch 1929; Kadereit et al 2021). Es werden die folgenden Kategorien unterschieden:

- **kurzlebig** (Pflanzen, die ihren Lebenszyklus in einer Zeitspanne abschließen, die kürzer als 1 Jahr ist)
- **einjährig**
- **ein-zweijährig**
- **zweijährig**
- **ein-mehrjährig** (auch z. B. teilweise bei Pflanzen verwendet, die in ihrem ursprünglichen Verbreitungsgebiet mehrjährig sind, bei uns aber aufgrund der Winterfröste im Freien nur einjährig gehalten werden können. Oder es erfolgt diesbezüglich ein entsprechender Hinweis im Feld „Sonstige Hinweise“).
- **einjährig-ausdauernd** (Pflanzen, die nach 1 Jahr verholzen und weiterwachsen können)
- **zwei-mehrjährig**
- **mehrjährig** (meist für mehrjährige krautige Pflanzen, wie z. B. Stauden, verwendet)
- **ausdauernd** (in der Regel für ausdauernde Holzpflanzen verwendet)

Begrünungsform

Dieses Attribut gibt an bei welcher Begrünungsform die Pflanze eingesetzt wird. Die Werte sind aus der ausgewerteten Literatur übernommen.

- **E** – extensive Dachbegrünung.
Damit sind Dachbegrünungssysteme angesprochen, die eine Substratdicke von bis zu 15 cm aufweisen.
Theoretisch und praktisch kann für die extensive Dachbegrünung eine Vielzahl von unterschiedlichen Pflanzen verwendet werden. Darüber hinaus bildet auch das lokale Klima einen wichtigen Faktor, der besonders über den Niederschlag definiert, welche Pflanzen bei einer Substratdicke von bis zu 15 cm erfolgreich eingesetzt werden können. Bei entsprechender

Zusatzbewässerung können auch Pflanzen genutzt werden, die bei ausschließlich natürlicher Wasserversorgung nicht überleben würden.

- **EV** – Wildpflanze, potenziell geeignet für extensive Dachbegrünung (Vorschlag)
- **PG** – Pflanzgefäße.
Pflanzen, die entsprechend der geprüften Literatur bereits in Pflanzgefäßen verwendet wurden bzw. für Pflanzgefäße empfohlen sind. Es ist anzunehmen, dass die überwiegende Anzahl der Kletterpflanzen auch in Pflanzgefäßen kultivierbar ist.
Diese Begrünungsformen lagen nicht im Fokus dieser Arbeit, Angaben dazu erfolgten nur, wenn die dokumentierte Pflanze, neben einer Eignung für bodengebundene Vertikalbegrünung oder extensive Dachbegrünung, entsprechend der gesichteten Literatur auch zur Bepflanzung von Pflanzgefäßen herangezogen wurde.
- **V** – bodengebundene Vertikalbegrünung.
Darunter wird die bodengebundene Fassadenbegrünung, vor allem mit Kletterpflanzen verstanden.
Es wurde versucht möglichst viele der dazu verwendeten oder potenziell geeigneten Pflanzenarten und -sorten zu erfassen. Besonders im Bereich der Zuchtformen war es nicht immer möglich alle existierenden Kultivare zu registrieren.
- **WB** – wandgebundene Begrünung.
Für die wandgebundene Fassadenbegrünung wurden diverse Systeme entwickelt. In der Regel besteht eine technische Wasserversorgung (teilweise mit zusätzlicher Nährstoffgabe).
Diese Formen der Fassadenbegrünung liegen in diesem ersten Überblick nicht im eigentlichen Fokus. Die Angabe erfolgte nur, wenn die dokumentierte Pflanze neben einer Verwendung für bodengebundene Vertikalbegrünung oder extensiver Dachbegrünung entsprechend der gesichteten Literatur auch für eine wandgebundene Begrünungsform herangezogen wurde.
- „*“ vor einem Begrünungsformkürzel bedeutet, dass zwar diese spezielle Form in der gesichteten Literatur noch nicht für diese Begrünungsart angeführt wurde, dafür aber eine sehr nahe Verwandte. Wird angewendet, wenn, z. B. ein Kultivar einer Art bereits eingesetzt wurde, die Stammart aber noch nicht explizit verwendet wurde

Literatur

Die für die Datenbank ausgewertete Literatur ist in einer eigenen Liste zusammengefasst mit Bezug zu den Angaben in der Datenbank und damit in diese integriert. In einer eigenen Kategorie erfolgen die Angaben zum Literaturbezug und zu Quellen für jede Pflanze als fortlaufende Zahl in der Literatur- und Quellenliste.

5.2.3. Grundlegende Pflanzenattribute, mit Bezug zur Gebäudebegrünung

Stück pro m bzw. m² / Pflanzabstand

Unter diesem Attribut finden sich grob orientierende Angaben aus der Literatur und weiteren Quellen, welche Menge/Anzahl an Pflanzen je Laufmeter (bodengebundene Kletterpflanzen) bzw. je m² (extensive Dachbegrünung) empfohlen werden. Durch einen Querstrich getrennt sind zusätzliche Angaben zum Pflanzabstand in cm, soweit sie in den gesichteten Literaturstellen/Quellen angegeben sind.

Mindest-Substratstärke

Die Mindestsubstratstärke ist ein wichtiges Kriterium bei der Planung, hängt aber auch mit der Wasserversorgung zusammen. Viele Pflanzen können bei guter Wasserversorgung mit einer geringeren Substratstärke auskommen.

Die benötigte Mindest-Substratstärke bei extensiver Dachbegrünung bzw. Mindestwurzelraumtiefe bei Kletterpflanzen wurde aus diversen Quellen recherchiert. Die Angabe in cm als Bandbreite (unterer und oberer Wert der Mindestsubstratstärke). Falls nur ein Wert gefunden wurde, wird dieser als unterer Wert der Mindestsubstratstärke angegeben.

Wuchshöhe/Länge in cm

Die Angabe der Wuchshöhe bzw. der Länge der Pflanze (bei Kletterpflanzen) erfolgt in cm als Bandbreite von unterem und oberem Maximum. Wichtige Quellen hierzu sind Kreuzer (1993, 1995, 1996); Fischer/Oswald/Adler (2008); Schmidt/Schulz (2017), Roloff/Bärtels (2018). Darüber hinaus flossen zahlreiche weitere Angaben aus weiteren, auch nicht wissenschaftlichen Quellen nach Plausibilitätsprüfung mit ein. Wenn nur eine Angabe gefunden, dann ist diese als oberes Maximum aufgefasst.

Für die Planung einer Begrünungsmaßnahme, bei der Lianen oder andere Holzpflanzen Verwendung finden, stellt die zu erwartende Wuchshöhe oder Länge eine wichtige Größe dar.

Blattausdauer

Die Blattausdauer bzw. Ausdauer der oberirdischen Pflanzenteile hat zum einen Einfluss auf die Gestaltung einer Begrünung (bei einziehenden oder laubwerfenden Pflanzen im Winter) und gibt auch Hinweise auf einen Teil des Pflegeaufwandes (Laubansammlung). Je nachdem wie lange die Blätter an der Pflanze ausdauern, werden die folgenden Kategorien angewendet (vergl. Fischer/Oswald/Adler 2008; Klotz et al. 2002, Schmidt/Schulz 2017).

- **Immergrün:** die Blätter bleiben mehrere Jahre an der Pflanze
- **fakultativ immergrün:** in günstigen Jahren können Blätter mehrere Jahre an der Pflanze bleiben
- **wintergrün:** die Blätter überdauern (teilweise) den Winter, die vorjährigen Blätter sterben aber nach dem Austrieb ab
- **sommergrün:** meist bei Kräutern angewendet – die Blätter sterben vor dem oder im Winter ab
- **laubwerfend:** meist für Holzpflanzen, die die Blätter im Herbst bzw. Winter abwerfen

Blattfarbe

Generalisierte Angabe zur Orientierung aus diversen Quellen. In der Regel wird nicht zwischen helleren und dunkleren Grün-Schattierungen unterschieden. "grün" ist der "Default"-Wert, wenn keine eindeutige Angabe gefunden wurde.

Herbstfärbung (bei laubwerfenden Arten) oder **Winterfärbung** (bei immergrünen Arten)

Angabe zur Blattfärbung im Herbst (laubwerfende Arten) bzw. Winterfärbung der Blätter (bei immergrünen Arten aus diversen Quellen).

Entfällt wenn keine eindeutigen Angaben vorliegen/gefunden wurden oder wenn keine besondere Herbst- oder Winter-Färbung der Blätter ausgeprägt ist.

Blütenschmuck

Die Angabe zur/zur Blütefarbe(n) wurde aus diversen Quellen recherchiert.

Die Blütenfarben von Pflanzen bilden ein wichtiges gestalterisches Element.

Blühmonate

Angabe zur Blühzeit in Mitteleuropa aus diversen Quellen. Blühmonate als Bandbreite von Beginn-Monat bis Ende-Monat, in Zahlen 1-12. Falls nur ein Monat angegeben ist, wird dieser im Feld „Beginn

Blühzeit“ eingetragen. Pragmatische summarische Zusammenfassung der in den Quellen/Literatur angegebenen Blühmonate. Bei mehreren Blühphasen im Jahr werden diese zusammengefasst.

Analog zur Blütenfarbe kann es bei der Gestaltung von Begrünung auch interessant sein zu wissen, wann der Blütenschmuck ausgebildet ist.

Fruchtschmuck

Angabe zur botanischen Fruchtform aus diversen Quellen. Optional zusätzliche Angaben zur Farbe der Frucht und zum/zu den Reifemonat(en).

Diese Angabe gibt nicht nur Hinweise zur Gestaltung, sondern kann auch für den Pflegeaufwand von Bedeutung sein, sollten sich zahlreiche Früchte ansammeln.

Gewicht/m²

Angabe der zu erwartenden Gewichtslast bei Kletterpflanzen als Bandbreite von kg/m² unteres Maximum und kg/m² oberes Maximum vor allem aus Gunkel (2004), Hüfing et al. (2009), Pfoser (2016); Mahabadi et al. (2018) sowie einer unveröffentlichten Liste von Pflanzen für die Fassadenbegrünung vom Projektpartner BuGG. Diese grobe Angabe beruht auf Schätzungen von tropfnassen Pflanzen. Dabei ist zu beachten, dass besonders stark oder üppig entwickelte Pflanzen oder zusätzliche Schneelast die Werte noch deutlich erhöhen können. Dies muss bei Abschätzungen in der Planung berücksichtigt werden. Bei entsprechender Pflege können die Lasten pro Quadratmeter auch geringer ausfallen. Wenn nur eine Angabe gefunden wurde, so ist diese als oberes Maximum eingetragen.

Lichtbedarf

Grobe Einschätzung zum Lichtbedarf bzw. den Vorlieben der Pflanzen zum Lichtangebot aus diversen Quellen. Aus pragmatischen Gründen auf drei Stufen reduziert. Detailliertere Angaben finden sich in der Fachliteratur zu den Pflanzen.

- sonnig: voller Lichtgenuss
- halbschattig: Teilbeschattung bzw. lichte und schattige Phasen wechseln
- schattig: kein direkter Lichtgenuss

Winterhärtezone WHZ

Die Angabe WHZ (Winterhärtezonen) ergibt sich aus der „USDA Plant Hardiness Zone Map“ die vom Agricultural Research Service des U.S. Department of Agriculture für die USA ausgegeben wird. Die Karte basiert auf der durchschnittlichen jährlichen minimalen Wintertemperatur, und hilft dabei zu bestimmen welche Pflanzen an einem bestimmten Ort am besten gedeihen können (vgl. Heinze/Schreiber, 1984; Widrlechner et al., 2012).

Im Folgenden die Liste der WHZ (USDA-Zonen) mit Angabe der entsprechenden Temperaturbereiche, nach dem Agricultural Research Service des U.S. Department of Agriculture, mit der Angabe der Halbzonen a und b. (vgl. Widrlechner et al., 2012). Vielfach werden die Halbzonen auch zu den Hauptzonen zusammengefasst (Heinze/Schreiber, 1984). Der Einfachheit halber wird auch in der Datenbank auf die Angabe der Halbzonen verzichtet. Grundlage bildet wiederum die Einarbeitung von Daten aus diversen Quellen.

- Zone 1a: –51,1 °C bis –48,3 °C
- Zone 1b: –48,3 °C bis –45,6 °C
- Zone 2a: –45,5 °C bis –42,8 °C
- Zone 2b: –42,7 °C bis –40,0 °C

- Zone 3a: –39,9 °C bis –37,3 °C
- Zone 3b: –37,2 °C bis –34,5 °C
- Zone 4a: –34,4 °C bis –31,7 °C
- Zone 4b: –31,6 °C bis –28,9 °C
- Zone 5a: –28,8 °C bis –26,2 °C
- Zone 5b: –26,1 °C bis –23,4 °C
- Zone 6a: –23,3 °C bis –20,5 °C
- Zone 6b: –20,4 °C bis –17,8 °C
- Zone 7a: –17,7 °C bis –15,0 °C
- Zone 7b: –14,9 °C bis –12,3 °C
- Zone 8a: –12,2 °C bis –9,5 °C
- Zone 8b: –9,4 °C bis –6,7 °C
- Zone 9a: –6,6 °C bis –3,9 °C
- Zone 9b: –3,8 °C bis –1,2 °C
- Zone 10a: –1,1 °C bis +1,6 °C
- Zone 10b: +1,7 °C bis +4,4 °C
- Zone 11a: +4,5 °C bis +7,2 °C
- Zone 11b: +7,2 °C bis +10,0 °C
- Zone 12a: +10,0 °C bis +12,8 °C
- Zone 12b: +12,8 °C bis +15,6 °C
- Zone 13a: +15,6 °C bis +18,3 °C
- Zone 13b: +18,3 °C bis +21,1 °C

Wasserbedarf

Grobe orientierende Einschätzung zum Wasserbedarf aus diversen Quellen (trocken – frisch – feucht – nass bzw. gering – mittel – hoch. In Einzelfällen (z. B. Kletterrosen) weitere schriftliche Angaben aus den Quellen.

Bodenreaktion, pH

Grobe orientierende Einschätzung nach den ausgewerteten Quellen zur Bodenreaktion in drei Stufen aus diversen Quellen: sauer – neutral – alkalisch. Wenn in der gesichteten Literatur vorhanden, auch Angaben zum bevorzugten pH-Bereich. Die Bodenreaktion gibt wichtigen Hinweise zur Substratzusammenstellung und zur Pflege der ausgewählten Pflanzen.

Nährstoffbedarf

Benötigt die Pflanze viel oder wenig Nährstoffe, hat sie spezielle Bedürfnisse? Grobe orientierende Angabe zum bevorzugten Nährstoffgehalt des Bodens, soweit in der gesichteten Literatur/Quellen verfügbar.

Pflegebedarf

Wie groß ist der Pflegebedarf? Grobe orientierende Einschätzung zum Pflegebedarf entsprechend den ausgewerteten Quellen/Literatur: anspruchslos – gering – mittel – hoch. In Einzelfällen (z. B. Kletterrosen) auch andere schriftliche Angaben aus den Quellen.

Wüchsigkeit

Angaben zum Wachstumsverhalten sind wichtig im Sinne der notwendigen Pflege. Grobe orientierende Angaben zum Wachstumsverhalten entsprechend der berücksichtigten Literatur/Quellen: langsam – moderat – mittel – schnell bzw. schwachwüchsig – gering – mittel – stark – sehr stark.

5.2.4. Ökologische Zeigerwerte

Die ökologischen Zeigerwerte nach Ellenberg et al. (2001) liefern wichtige Hinweise zu den Standortbedingungen am Wuchsort der Pflanze. Von Ellenberg et al. (2001) wurden die in Mitteleuropa heimischen Pflanzen bearbeitet. Darüber hinaus gibt es Bearbeitungen zu den ökologischen Zeigerwerten für die Schweiz und Großbritannien (vgl. Hill et al., 1999; Landolt et al., 2010) und Teilbearbeitungen z. B. für Schweden (Diekmann, 1995; 2003; Diekmann/Lawesson, 1999) oder die Niederlande (Ertsen/Alkemade/Wassen, 1998). Für wildwachsende Pflanzen in Europa sind die ökologischen Zeigerwerte bereits in vielen Studien messtechnisch evaluiert (z. B. Schaffers/Sýkora, 2000; Lawesson, 2003; Isermann, 2007). Für zahlreiche Zier- und Kulturpflanzen liegen aber diesbezüglich noch keine Einstufungen vor. Für einheimische Pflanzen besteht ein breites Anwendungsgebiet. Die ökologischen Zeigerwerte können helfen Pflanzen sinnvoll zu kombinieren und auszuwählen, wenn die Umweltbedingungen für den gewählten Standort/die gewählte Begrünungsform bekannt sind.

Die Ökologischen Zeigerwerte wurden von Ellenberg und Mitarbeitern in grundlegenden Arbeiten (Ellenberg 1948; 1950; Ellenberg/Stählin 1952) konzipiert. Sie beruhen nicht nur auf Beobachtungen und Einschätzungen, sondern auch auf Messungen. In den 1970er Jahren entwickelten R. Hansen, H. Müssel und J. Sieberer parallel dazu das Konzept der sogenannten „Lebensbereiche“ (Kiermeier, 1995; Hansen/Stahl/Duthweiler, 2016), das speziell auf das gärtnerische Umfeld abzielt. Zwischen beiden Beurteilungssystemen bestehen Überschneidungen, aber es gibt bislang noch keine Möglichkeit sie zu übertragen bzw. umzurechnen. Daher wurde gemäß dem Schwerpunkt „heimischer Pflanzen“ zunächst auf eine Auflistung der Pflanzendaten nach Lebensbereichen verzichtet. Dies kann bei der weiteren Pflege der Datenbank bei Bedarf nachgeholt werden. Stattdessen wurden die Lebensbereiche bei den Angaben zu Licht- und Wasserbedarf, Bodenreaktion und Nährstoffvoraussetzungen vielfach berücksichtigt.

Zeiger Lichtzahl L (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Die Lichtzahl L bewertet das Vorkommen in Beziehung zur relativen Beleuchtungsstärke (= r. B.). Für die Pflanzen maßgebend ist dabei die relative Beleuchtung, die am Wuchsort der jeweiligen Art zur Zeit der vollen Belaubung der sommergrünen Pflanzen (also etwa von Juli bis September) bei diffuser Beleuchtung (z. B. bei Nebel oder gleichmäßig bedecktem Himmel) herrscht.

Wert - Benennung - Erläuterung:

- 1 - Tiefschattenpflanze - noch bei weniger als 1 %, selten bei mehr als 30 % r. B. vorkommend
- 2 - Tiefschatten- bis Schattenpflanze - zwischen 1 und 3 stehend
- 3 - Schattenpflanze - meist bei weniger als 5 % r. B., doch auch an helleren Stellen
- 4 - Schatten- bis Halbschattenpflanze - zwischen 3 und 5 stehend
- 5 - Halbschattenpflanze - nur ausnahmsweise im vollen Licht, meist aber bei mehr als 10 % r. B.
- 6 - Halbschatten- bis Halblichtpflanze - zwischen 5 und 7 stehend, selten bei weniger als 20 % r. B.

- 7 - Halblichtpflanze - meist bei vollem Licht, aber auch im Schatten bis etwa 30 % r. B.
- 8 - Halblicht- bis Volllichtpflanze - Lichtpflanze, nur ausnahmsweise bei weniger als 40 % r. B.
- 9 - Volllichtpflanze - nur an voll bestrahlten Plätzen im Freiland, nicht bei weniger als 50 % r. B.

Eingeklammerte Ziffern beziehen sich auf Baumjungwuchs im Wald. x bedeutet indifferentes Verhalten, ? bedeutet ungeklärtes Verhalten, klein gedruckte Ziffern deuten auf unsichere Einstufungen.

Zeiger Temperaturzahl T (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Die Temperaturzahl T bewertet das Vorkommen im Wärmebereich der polaren Zone beziehungsweise der alpinen Höhenstufe bis ins mediterran geprägte Tiefland.

Wert - Benennung - Erläuterung:

- 1 - Kältezeiger - nur in hohen Gebirgslagen, d. h. der alpinen und nivalen Stufe
- 2 - Kälte- bis Kühlezeiger - zwischen 1 und 3 stehend (viele alpine Arten)
- 3 - Kühlezeiger - vorwiegend in subalpinen Lagen
- 4 - Kühle- bis Mäßigwärmezeiger - zwischen 3 und 5 stehend (v. a. hochmontane und montane Arten)
- 5 - Mäßigwärmezeiger - in tiefen bis in montanen Lagen vorkommend (Schwergewicht in submontan-temperaten Bereichen)
- 6 - Mäßigwärme- bis Wärmezeiger - zwischen 5 und 7 stehend (planar bis collin)
- 7 - Wärmezeiger - im nördlichen Mitteleuropa nur in relativ warmen Tieflagen
- 8 - Wärme- bis Extremwärmezeiger - zwischen 7 und 9 stehend (meist mit submediterranem Schwergewicht)
- 9 - extremer Wärmezeiger - mediterran (in Mitteleuropa nur auf wärmsten Plätzen, z. B. im Oberrheingebiet)

x bedeutet indifferentes Verhalten, ? bedeutet ungeklärtes Verhalten, klein gedruckte Ziffern deuten auf unsichere Einstufungen hin.

Zeiger Kontinentalitätszahl K (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Die Kontinentalitätszahl K bewertet das Verbreitungsschwergewicht von der europäischen Atlantikküste (1) bis ins Innere Asien (9).

Wert - Benennung - Erläuterung:

- 1 - euozanisch - in Mitteleuropa nur mit wenigen Vorkommen (süd- und westeuropäische Arten)
- 2 - ozeanisch - Schwergewicht in Westeuropa und im westlichen Mitteleuropa
- 3 - ozeanisch bis subozeanisch - zwischen 2 und 4 stehend (in großen Teilen Mitteleuropas vorkommend)
- 4 - subozeanisch - Schwergewicht in Mitteleuropa, z. T. auch in Osteuropa
- 5 - intermediär - schwach subozeanisch bis schwach subkontinental
- 6 - subkontinental - Schwergewicht im östlichen Mitteleuropa und Osteuropa
- 7 - subkontinental bis kontinental - zwischen 6 und 8 stehend

- 8 - kontinental - nur an wenigen Standorten des östlichen Mitteleuropas vorkommend
- 9 - eukontinental - im westlichen Mitteleuropa ganz fehlend, im östlichen selten (osteuropäische Arten)

x bedeutet indifferentes Verhalten, ? bedeutet ungeklärtes Verhalten, klein gedruckte Ziffern deuten auf unsichere Einstufungen hin.

Zeiger Feuchtezahl F (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Die Feuchtezahl F bewertet Vorkommen von flachgründigen, trockenen Felshängen bis zu Sumpfböden und zu submersen Standorten. Die F-Zahl erfährt vor allem in Grünlandbiotopen eine breite Anwendung, da einerseits diese Pflanzenformation besonders auf eine gute Wasserverfügbarkeit angewiesen ist, andererseits diese historisch überkommene Landnutzungsform stark unter Entwässerung zu leiden hatte.

Wert - Benennung - Erläuterung:

- 1 - Starktrockniszeiger - auf trockene Böden beschränkt, an oftmals austrocknenden Stellen lebensfähig
- 2 - Starktrocknis- bis Trockniszeiger - zwischen 1 und 3 stehend
- 3 - Trockniszeiger - auf trockenen Böden häufiger als auf frischen, auf feuchten Böden fehlend
- 4 - Trocknis- bis Frischezeiger - zwischen 3 und 5 stehend
- 5 - Frischezeiger - Schwergewicht auf mittelfeuchten Böden
- 6 - Frische- bis Feuchtezeiger - zwischen 5 und 7 stehend
- 7 - Feuchtezeiger - Schwergewicht auf gut durchfeuchteten, aber nicht nassen Böden
- 8 - Feuchte- bis Nässezeiger - zwischen 7 und 9 stehend
- 9 - Nässezeiger - Schwergewicht auf oft durchnässten (luftarmen) Böden
- 10 - Wechselwasserzeiger - Wasserpflanze, die längere Zeit ohne Wasserbedeckung des Bodens erträgt
- 11 - Wasserpflanze - unter Wasser wurzelnd, aber zumindest zeitweise über die Oberfläche aufragend oder Schwimmpflanze
- 12 - Unterwasserpflanze - (fast) ständig untergetaucht
- ~ - Zeiger für starken Wechsel - zusätzliche Angabe
- = - Überschwemmungszeiger - zusätzliche Angabe

x bedeutet indifferentes Verhalten, ? bedeutet ungeklärtes Verhalten, klein gedruckte Ziffern deuten auf unsichere Einstufungen hin.

Zeiger Reaktionszahl R (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Die Reaktionszahl R bewertet das Vorkommen in Abhängigkeit von extrem sauren bis zu alkalischen (kalkreichen) Böden, dabei entspricht R jedoch nicht dem pH-Wert, siehe auch: Boden-pH.

Wert - Benennung - Erläuterung:

- 1 - Starksäurezeiger - nur auf sauren, nie auf nur schwach sauren bis alkalischen Böden vorkommend

- 2 - Starksäure- bis Säurezeiger - zwischen 1 und 3 stehend
- 3 - Säurezeiger Schwergewicht auf sauren Böden, nur ausnahmsweise im neutralen Bereich
- 4 - Säure- bis Mäßigsäurezeiger - zwischen 3 und 5 stehend
- 5 - Mäßigsäurezeiger - auf stark sauren wie auf neutralen bis alkalischen Böden selten
- 6 - Mäßigsäure- bis Schwachsäure-/Schwachbasenzeiger - zwischen 5 und 7 stehend
- 7 - Schwachsäure- bis Schwachbasenzeiger - niemals auf stark sauren Böden
- 8 - Schwachsäure-/Schwachbasen- bis Basen- und Kalkzeiger - zwischen 7 und 9 stehend, d. h. meist auf Kalkweisend
- 9 - Basen- und Kalkzeiger - stets auf kalkreichen Böden

x bedeutet indifferentes Verhalten, ? bedeutet ungeklärtes Verhalten, klein gedruckte Ziffern deuten auf unsichere Einstufungen hin.

Zeiger Stickstoffzahl N (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Die Stickstoffzahl N ist nach neueren Erkenntnissen eher eine „Nährstoffzahl“, denn sie beschreibt die allgemeine Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen im Boden; also außer Stickstoff (N) auch die Verfügbarkeit der anderen essenziellen Makro-Nährstoffe Kalium (K), Phosphor (P) und Magnesium (Mg). Ausgehend von Mineralböden, die tendenziell eher mit N unterversorgt sind, wurde die N-Zahl ursprünglich überwiegend als Maß für die ausschließliche Versorgung mit Mineralstickstoff (NH_4^+ und NO_3^-) interpretiert, siehe auch: Stickstoffdünger, Nitrophyt. In organogenen beziehungsweise humusreichen Böden (z. B. Moorböden) dagegen kennzeichnet die N-Zahl nicht etwa die Verfügbarkeit des dort reichlich vorhandenen Stickstoffs, sondern jene der oben genannten Minerale. Die Verwendung der Stickstoffzahl zur Bewertung der Stickstoffverfügbarkeit wurde im Dezember 2008 mit der Richtlinie VDI 3959 Blatt 1 Vegetation als Indikator für Stickstoffeinträge; Bewertung der Stickstoffverfügbarkeit durch Ellenberg-Zeigerwerte der Waldbodenvegetation standardisiert.

Wert - Benennung - Erläuterung:

- 1 - Extremer Stickstoffarmutzeiger - stickstoffärmste Standorte anzeigend
- 2 - Extremer Stickstoff- bis Stickstoffarmutzeiger - zwischen 1 und 3 stehend
- 3 - Stickstoffarmutzeiger - auf N-armen Standorten häufiger als auf mittelmäßigen, nur ausnahmsweise auf N-reicheren
- 4 - Stickstoffarmut- bis Mäßigstickstoffzeiger - zwischen 3 und 5 stehend
- 5 - Mäßigstickstoffzeiger - mäßig N-reiche Standorte anzeigend, seltener auf N-armen und N-reichen
- 6 - Mäßigstickstoff- bis Stickstoffreichtumzeiger - zwischen 5 und 7 stehend
- 7 - Stickstoffreichtumzeiger - an N-reichen Standorten häufiger als auf mittelmäßigen, nur ausnahmsweise auf N-ärmeren Standorten
- 8 - ausgesprochener Stickstoffzeiger - zwischen 7 und 9 stehend
- 9 - übermäßiger Stickstoffzeiger - an übermäßig N-reichen Standorten konzentriert (Viehlägerpflanze, Verschmutzungszeiger)

x bedeutet indifferentes Verhalten, ? bedeutet ungeklärtes Verhalten, klein gedruckte Ziffern deuten auf unsichere Einstufungen hin.

Zeiger Salzzahl S (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Die Salzzahl S bezeichnet das Vorkommen im Gefälle der Salzkonzentration (insbesondere Cl^- -Konzentration) im Wurzelbereich des Bodens von 0 (nicht salzertragend) bis 9 (extrem salzertragend).

Wert - Benennung - Erläuterung:

- 0 - nicht salzertragend - nur auf Böden ohne Salz
- 1 - salzertragend - meist auf salzarmen bis salzfreien Böden, gelegentlich auf leicht salzhaltigen Böden (0–0,1 % Cl^-)
- 2 - oligohalin (I) - öfter auf Böden mit sehr geringem Chloridgehalt (0,05–0,3 % Cl^-)
- 3 - β -mesohalin (II) - meist auf Böden mit geringem Chloridgehalt (0,3–0,5 % Cl^-)
- 4 - α/β -mesohalin (II/III) - meist auf Böden mit geringem bis mäßigem Chloridgehalt (0,5–0,7 % Cl^-)
- 5 - α -mesohalin (III) - meist auf Böden mit mäßigem Chloridgehalt (0,7–0,9 % Cl^-)
- 6 - α -meso-/polyhalin (III/IV) - auf Böden mit mäßigem bis hohem Chloridgehalt (0,9–1,2 % Cl^-)
- 7 - polyhalin (IV) - auf Böden mit hohem Chloridgehalt (1,2–1,6 % Cl^-)
- 8 - euhalin (IV/V und V) - auf Böden mit sehr hohem Chloridgehalt (> 1,6–2,3 % Cl^-)
- 9 - euhalin bis hypersalin (V/VI) - auf Böden mit sehr hohem, in Trockenzeiten extremem Salzgehalt (> 2,3 % Cl^-)

x bedeutet indifferentes Verhalten, ? bedeutet ungeklärtes Verhalten, klein gedruckte Ziffern deuten auf unsichere Einstufungen hin.

5.2.5. Kletterpflanzenattribute

Um welche Art der Kletterpflanzen (Schlinger, Winder, etc.) es sich handelt wurde aus diversen Quellen übertragen.

Selbstklimmer

Die Pflanze bildet Haftorgane, die es ihr erlauben auch an glatten Oberflächen emporzuklimmen. Typisches Beispiel dafür ist Efeu (*Hedera helix*). An jungen Trieben bilden sich kurze Haftwurzeln, die eine enge Verbindung zum Untergrund eingehen und damit kraftschlüssig verankert sind. Dabei ist zu beachten, dass der gegebene Untergrund auch dafür geeignet sein muss und, dass diese Verbindung auch ihre Grenzen hat; ältere und damit dickere Triebe sind oft nicht mehr so gut befestigt. Bei starken Winden können manchmal alte und ausgebreitete Pflanzen zur Gänze vom Untergrund abreißen. Dies ist auch bei der vorgesehenen Pflege zu beachten (Lastreduktion).

Schlinger/Winder

Die Pflanze schlingt/windet sich mittels ihres Vegetationskörpers empor und benötigt dazu eine Kletterhilfe. Beispiel: Trichterwinde, *Calystegia sepium* (L.) R.Br.

Ranker

Pflanzen, die als Haftorgane Ranken ausbilden, benötigen in der Regel eine Kletterhilfe. Man denke z. B. an Wein, *Vitis vinifera* L.

Spreizklimmer

Pflanzen die sich mittels Blattstängel, Seitentrieben oder Dornen/Stacheln emporspreizen, benötigen eine Kletterhilfe. Beispiel: Hunds-Rose, *Rosa canina* L.

Kletterhilfe

Der Einfachheit halber wird gesondert hervorgehoben, ob eine Kletterhilfe notwendig oder empfehlenswert ist; optional eine Zusatzangabe zur empfohlenen Art der Kletterhilfe (Angaben aus diversen Quellen).

5.2.6. Weitere Pflanzenattribute

Herkunft/Verbreitung

Wo stammt die verwendete Pflanze her, wie ist sie verbreitet? Dieses Attribut soll helfen geeignete Pflanzen aus den heimischen Vegetationszonen auszuwählen. Darüber hinaus kann die Angabe über die Heimat der Pflanze auch helfen den Pflegebedarf einzuschätzen oder abzuschätzen, inwieweit die Pflanze für die vorgesehenen Bedingungen überhaupt geeignet ist.

Es wird eine grobe Angabe zur natürlichen Verbreitung der Art gegeben. Informationen dazu stammen vor allem aus der Internetseite Plants of the World Online (<http://www.plantsoftheworldonline.org/>), aber auch von zahlreichen anderen Quellen. Die Angaben sind Großteiles vereinfacht. Die aufgelisteten groben Verbreitungsangaben sind nicht dazu gedacht exakte Verbreitungsdaten der natürlichen Verbreitung von Wildpflanzen zu geben, sondern dienen lediglich der Orientierung.

Gesundheit / Toxizität

Ist die Pflanze giftig?

Unter diesem Attribut werden grobe Angaben dazu zusammengefasst, ob die Pflanze bzw. deren Früchte entsprechend den ausgewerteten Quellen/Literaturstellen als essbar oder als giftig bezeichnet werden. Diese Angaben sind ohne Gewähr! Falls in der Literatur kein Hinweis auf eine mögliche Giftigkeit gegeben ist, muss das nicht heißen, dass die Pflanze tatsächlich ungiftig oder essbar ist. Daher wird grundsätzlich empfohlen keine Begrünungspflanzen oder Teile davon zu konsumieren! Die Angaben dienen lediglich der Orientierung, können aber helfen problematische Arten/Sorten bei einem geplanten Begrünungsprojekt in einem kritischen Umfeld (z. B. Kindergarten oder Spielplatz) bereits frühzeitig auszusondern.

Ausbreitungsverhalten

Ausbreitungsverhalten entsprechend den gesichteten Quellen/Literatur mit Bezug zur Biodiversität.

5.2.7. Zoologische Attribute

Vogelpflanze

Angabe zur Pflanzen-geförderten tierischen Biodiversität. Angabe aus Literatur/Quellen ob die Pflanze Vorteile für Vögel bietet. Pflanzen können neben Nahrung auch Lebens-, Brutraum und Nistmaterial für Tiere bieten.

Schmetterlingspflanze

Angabe zur Pflanzen-geförderten tierischen Biodiversität. Angabe aus Literatur/Quellen ob die Pflanze Vorteile für Schmetterlinge (Tagfalter, Nachtfalter, Kleinschmetterlinge, etc.) bietet.

Dies Angabe bezieht sich darauf, inwieweit die Pflanze Nahrung für Schmetterlingsraupen oder Imagines bereitstellt.

Käferpflanze

Leben Käfer auf der Pflanze? Angabe zur Pflanzen-geförderten tierischen Biodiversität aus Literatur/Quellen ob die Pflanze Vorteile für Käfer bietet.

Bienenpflanze

Angabe zur Pflanzen-geförderten tierischen Biodiversität aus Literatur/Quellen ob die Pflanze Vorteile für Bienen (Honigbiene, Wildbienen) bietet.

Bei dieser Angabe geht es nicht in erster Linie nur darum, ob die gelisteten Pflanzen für Honigbienen eine Bienenweide darstellen, sondern auch vor allem ob heimische Wildbienen nutzen.

sonstige tierische Nutznießer

Angabe zur Pflanzen-geförderten tierischen Biodiversität aus Literatur/Quellen ob die Pflanze Vorteile für sonstige tierische Nutznießer bietet.

Wurzeleigenschaften

Grobe orientierende Angabe zum Wurzelapparat der Pflanze entsprechen der gesichteten Literatur/Quellen, ob z. B. ein Pfahlwurzel-, Horizontalwurzel-, Herzwurzel-System ausgebildet ist, oder ob es sich z. B. um eine tief- oder flachwurzelnde Pflanze handelt. Im Allgemeinen werden tief wurzelnde Pflanzen bzw. Pflanzen mit einer Pfahlwurzel bei Dachbegrünungen als kritisch betrachtet, da die Befürchtung besteht, dass diese die Abdichtung beschädigen könnten.

5.2.8. Pflanzenattribute mit Bezug zu ökosystemaren Leistungen

Photosyntheserate CO₂-Aufnahme

Angaben zur maximalen Netto-Photosyntheserate bei optimalen Randbedingungen, aus diverser Literatur oder an der LMU mittels Messküvettenmethode gemessen, (vergl. Caemmerer/Farquhar 1981; Genty/Briantais/Baker 1989). Angabe als Bandbreite von unterem und oberem Maximum. Zusätzlich Angabe der verwendeten Einheit, optional Zusatzinformationen.

C3 / C4 / CAM

Angabe zum Typ der Photosynthese – welcher Zyklus bei der Pflanze etabliert ist, gibt Hinweise darauf, inwieweit die Pflanze ggf. durch erhöhtes CO₂ beeinflusst wird (vergl. Kadereit et al. 2021).

Bei Landpflanzen haben sich unterschiedliche biochemische Systeme entwickelt, wie die Photosynthese umgesetzt wird. Mit C3 („normale“ Pflanzen der heimischen Flora) und C4 werden Systeme bezeichnet die unterschiedliche Kohlenstoffverbindungen (Kohlenstoffketten, C-Ketten) als Basis nutzen. Bei den sogenannten C4-Pflanzen kommt noch eine spezielle Geometrie des Photosynthese Apparates hinzu, die eine Anreicherung von CO₂ (bzw. abgeleiteten Metaboliten) bewirkt und damit unter bestimmten Voraussetzungen (CO₂-limitierte Photosynthese) eine Effizienzsteigerung bewirkt. Crassulaceen-Säure-Metabolismus (crassulaceae-acid-metabolism CAM) bezeichnet einen Kohlenstoffmetabolismus, bei dem CO₂ speziell in Form bestimmter Säuren in bestimmten Zellorganellen angereichert wird, um dann für die Photosynthese in abgestimmter Form zu Verfügung zu stehen. Dadurch werden diese Pflanzen unabhängiger vom atmosphärischen CO₂, können ihre Spaltöffnungen länger geschlossen halten und damit Wasser sparen. Darüber hinaus gibt es Übergänge und Pflanzen, die zwischen verschiedenen Typen der Photosynthese wechseln können.

Stomatäre Leitfähigkeit, Verdunstungsleistung Blatt / Pflanze

Die Verdunstungsleistung von Pflanzen (Transpiration) und Substrat (Evaporation) gemeinsam (Evapotranspiration) trägt einerseits zur Niederschlagsretention von Begrünungssystemen bei (z. B. Huchzermeier/Hofbauer/Leistner 2022), bedeutet infolge der Verdunstungskühle auch Abkühlung und kann somit dem Urban Island-Heat-Effekt (Hitze-Insel-Effekt) in Städten entgegenwirken.

In botanisch-physiologischen Arbeiten wird standardmäßig der stomatäre Fluss als Größe für die Verdunstungsleistung einer Pflanze betrachtet (vergl. Gerosa et al. 2012; Pietragalla/Pask 2012).

Angaben zur maximalen stomatären Leitfähigkeit pro Blattfläche, bei optimalen Randbedingungen, aus Literatur oder am IBP in der Masterarbeit von Wan (2024) gemessen, werden erfasst. Angegeben als Bandbreite von unterem und oberem Maximum. Zusätzlich Angabe der verwendeten Einheit, optional Zusatzinformationen.

So weit als möglich wurden Messdaten erfasst, die unter optimalen Randbedingungen gewonnen wurden, um möglichst die maximalen Leistungen der betrachteten Pflanzen zu dokumentieren. Dennoch zeigen sich beträchtliche Bandbreiten, da diese Größe von zahlreichen Faktoren beeinflusst werden kann (vergleiche Yan et al, 2022). Wichtig bei Messungen ist es, bei möglichst optimalen Bedingungen die Begleitparameter so konstant wie möglich zu halten. Dies stellt bei Freilandmessungen eine Herausforderung dar.

Teilweise erfolgen bei machen Arbeiten auch Messungen zur CO₂-Leitfähigkeit von Blättern (vergl. Pons et al. 2009), was im Einzelfall zur Verwirrung führen kann. Bezüglich der Photosyntheseleistung wurde die maximale Photosyntheserate recherchiert bzw. gemessen (siehe oben).

Klimaresistenz und Trockenheitsverträglichkeit

Zusätzliche Angaben aus den Quellen/Literatur zu besonderen Ansprüchen bzw. besonderen Resistenzen/Resilienzen zum Standortklima.

Luftverbesserung durch Feinstaubretention, gesammelte Daten

Angaben zur Feinstaubaufnahme der Pflanzen. Dargestellt werden eigene Messergebnisse im Labor am IBP durch die Masterarbeit von Besinger (2024) und Messergebnisse aus diverser Literatur. Da die Feinstaubaufnahme durch Pflanzenoberflächen eine dynamische Größe darstellt, können Messergebnisse, die unter verschiedenen Gesichtspunkten bzw. mittels unterschiedlicher Methodik erarbeitet wurden, nicht einfach umgerechnet bzw. normalisiert werden. Daher werden die erhobenen bzw. aus der Literatur übernommenen Werte gesammelt für die jeweiligen Pflanzen angegeben. Zusätzlich Angabe der verwendeten Einheiten, optional Zusatzinformationen. Folgende Kürzel werden verwendet: F: Messungen im Freiland oder an Proben aus dem Freiland, L: Messungen im Labor.

Luftverbesserung weitere Luftschadstoffe (NO₂ etc.)

Angaben zur Luftschadstoffreduktion durch Pflanzen. Diese Größen werden optional aus der gesichteten Literatur/Quellen übernommen. Dargestellt werden, soweit möglich Messergebnisse aus der Literatur. Da die Luftschadstoffreduktion durch Pflanzen einer komplexen Dynamik unterliegt können Messergebnisse, die unter verschiedenen Gesichtspunkten bzw. mittels unterschiedlicher Methodik erarbeitet wurden, nicht einfach umgerechnet bzw. normalisiert werden.

Akustik

Optional Angaben zu akustischen Eigenschaften von Pflanzen der bodengebundenen Fassadenbegrünung oder der extensiven Dachbegrünung aus gesichteter Literatur/Quellen.

Sonstige Hinweise

Optional weitere Angaben aus gesichteter Literatur/Quellen, wie z. B. spezielle Eigenschaften oder besondere Hinweise zu den jeweiligen Pflanzen, die in den anderen Attributen nicht erfasst sind.

5.3. Messungen zur Ergänzung der wichtigsten Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen, zunächst beschränkt auf bodengebundene Kletterpflanzen sowie die Koordination der Abschlussarbeiten

Um die Messprogramme durchzuführen, sollten Abschlussarbeiten herangezogen werden. Die Vereinbarungen zu den Abschlussarbeiten sind auch an Vegetationszeiten gebunden, da manche der geplanten Messungen nur während der Wachstumszeit der Pflanzen ausgeführt werden können. Infolge der Pandemie kam es zu starken Verzögerungen in der Akquise von Abschlussarbeitenden. Erst im Jahr 2023 konnten Masteranden für zwei der Themen verpflichtet werden. Folglich wurde das Programm etwas geschiftet. Während die Messungen zur Transpiration/Evapotranspiration gegenüber dem ursprünglichen Programm etwas ausgebaut werden konnten, wurde das Programm für die Anpassung und Referenzmessungen zur Schadstoffreduktion etwas gestrafft (Konzentration vorwiegend auf Feinstaub), während Messungen zur Photosyntheseleistung mit Hilfe von Partnern realisiert werden konnten.

Die Messung der Evapotranspiration von Pflanzenbeständen mittels Lysimeter ist bereits Standard in der botanischen Ökologie. Allerdings wurden derartige Messungen für Begrünungspflanzen bisher kaum durchgeführt.

Ebenso handelt es sich bei der CO₂-Gaswechsellmessung mit Küvetten um eine etablierte Messmethode (vergl. Caemmerer/Farquhar 1981; Genty/Briantais/Baker 1989). Wiederum fehlen Daten zu Begrünungspflanzen.

Bei Messungen zur schadstoffmindernden Eigenschaft von Gebäudepflanzen mangelt es bisher an wenig aufwändigen und reproduzierbaren Messmethoden. Im Rahmen des interdisziplinären Projektes BUOLUS (Leistner et al. 2018) wurde bereits an einer Methode zur Abschätzung der Feinstaub-reduzierenden Eigenschaft von Pflanzenbeständen gearbeitet. Um für einzelne Pflanzenarten Aussagen treffen zu können, muss diese Methode adaptiert und verfeinert werden. Auch bei vergleichenden Messungen zur NO_x mindernden Eigenschaft von Pflanzen, bestehen neben theoretischen Grundlagen kaum geeignete Messverfahren, daher soll ein neues Messkonzept erstellt werden.

Vom BuGG wurde eine Pflanzenliste der „Top“-Kletter-Pflanzenarten und -sorten für die Verwendung bei der bodengebundenen Vertikalbegrünung erarbeitet und zur Verfügung gestellt. Diese „Bestenliste“ enthält vor allem ausdauernde, verholzende Kletterpflanzen. Im Rahmen des Vorhabens sollten zusätzlich einjährige bzw. einziehende Kletter-Pflanzen berücksichtigt werden. Daher wurden auch Alternativpflanzen ausgewählt, die nicht in der „Bestenliste“ enthalten sind. Pro Pflanze wurden bis zu 12 Stück je Form für die Messungen beschafft.

Die Messungen zur Transpiration und Evapotranspiration mittels Lysimeter und die Messung der Blatt-Transpiration mittels Porometer wurden im Rahmen einer Masterarbeit (Wan 2024) durchgeführt. Im Rahmen einer zweiten Abschlussarbeit (Besinger 2024) erfolgte die Anpassung und Optimierung der Messkonzepte zur Bestimmung der Feinstaubreduktion und der NO_x-Aufnahme durch Pflanzen mit ersten Referenzmessungen.

Die Messungen zum Gaswechsel: CO₂/O₂/Photosyntheseleistung wurden an der Ludwig-Maximilians-Universität München durchgeführt, ein Teil der Blattflächenbestimmungen an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.

5.3.1. Messungen zur (Evapo-)Transpiration mittels Lysimeter und Messung der Blatt-Transpiration mittels Porometer

Die Evapotranspiration der bodengebundenen Fassadenbegrünungspflanzen wurde mit der Lysimetermethode bestimmt (Abbildung 5). Dazu wurde das Topf-in-Topf Konzept von Inauen/Körner/Hiltbrunner (2013) angepasst. Während bei Inauen/Körner/Hiltbrunner (2013) jeweils ein

Topf mit Abflusslöchern in einen Übertopf ohne Abfluss als statisches Wiege-Lysimeter mit angeschlossener Waage konzipiert ist (vergraben ist) verwendeten wir den Topf-in-Topf Ansatz mobil und konnten so mit einer Waage auskommen. Der erste Topf mit Abfluss erlaubte einen Sättigungsguss eine Stunde vor Beginn der Messungen, damit das Erdreich mit Wasser gesättigt und überschüssiges ablaufen konnte. Anschließend verhinderte der geschlossene Übertopf, dass über die Abflusslöcher weiter Wasser verloren gehen (z.B. verdunsten oder kapillar an die Umgebung abgegeben) konnte und somit nur die Verdunstung der Substratoberfläche und der Pflanze gemessen werden konnte. Parallel dazu wurde die Blatttranspiration (Abbildung 6), mittels Porometer bestimmt (SC-1 Leaf Porometer, Meter Group AG). Die Messungen erfolgten an Sonnentagen zwischen 10:00 und 14:00 Uhr. Die Pflanzen und die Referenztöpfe wurden alle zwei Stunden gewogen bzw. der stomatäre Widerstand von Sonnenblättern gemessen (10 Einzelmessungen je Pflanzenart/-sorte). Bei Sonnenblättern handelt es sich um an volle Besonnung angepasste Blätter, im Gegensatz zu Schattenblättern, die an geringe Einstrahlung adaptiert sind. Als Basis für eine spätere Hochrechnung der gemessenen Werte der Blatt-Transpiration auf die ganze Pflanze oder eine Raumeinheit, wurden Durchschnittswerte von Blattflächenbestimmungen herangezogen, ermittelt mit der „Flächen-Gewichts“-Methode (Pandey/Singh 2011); ergänzend wurde eine Scan-Methode exemplarisch erprobt (siehe auch 5.3.3; Wan 2024).

Abbildung 5

Bestimmung der (Evapo-)Transpiration mittels Lysimetermethode und Porometer: Um eine möglichst große Verdunstungsleistung der Pflanzen zu erreichen, wurden sie bei schönem, wolkenfreiem Wetter im Freien exponiert.



Foto: J. Wan, Fraunhofer IBP.

Abbildung 6
Strahlengriffel-Pflanzen kurz vor der Durchführung der Porometermessungen.



Foto: J. Wan, Fraunhofer IBP.

5.3.2. Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Feinstaubreduktion und NO_x-Aufnahme durch Pflanzen.

Ursprünglich war vorgesehen, Feinstaub und NO_x getrennt zu betrachten. Aufgrund der genannten Verzögerungen wurden diese beiden Aufgaben zusammengezogen, da die Grundlagen dazu auf dasselbe, bereits in einen Vorgängerprojekt vorentwickelte Konzept zurückgreifen. Das bereits bestehende Messkonzept wurde zunächst anhand von Feinstaubmessungen an bodengebundene Fassadenbegrünungspflanzen angepasst. Anschließend waren Referenzmessungen vorgesehen. Darüber hinaus sollte das Konzept auch für weitere Luftschadstoffe vorbereitet werden. Im Folgenden wird die neu adaptierte Messeinrichtung beschrieben (Besinger 2024).

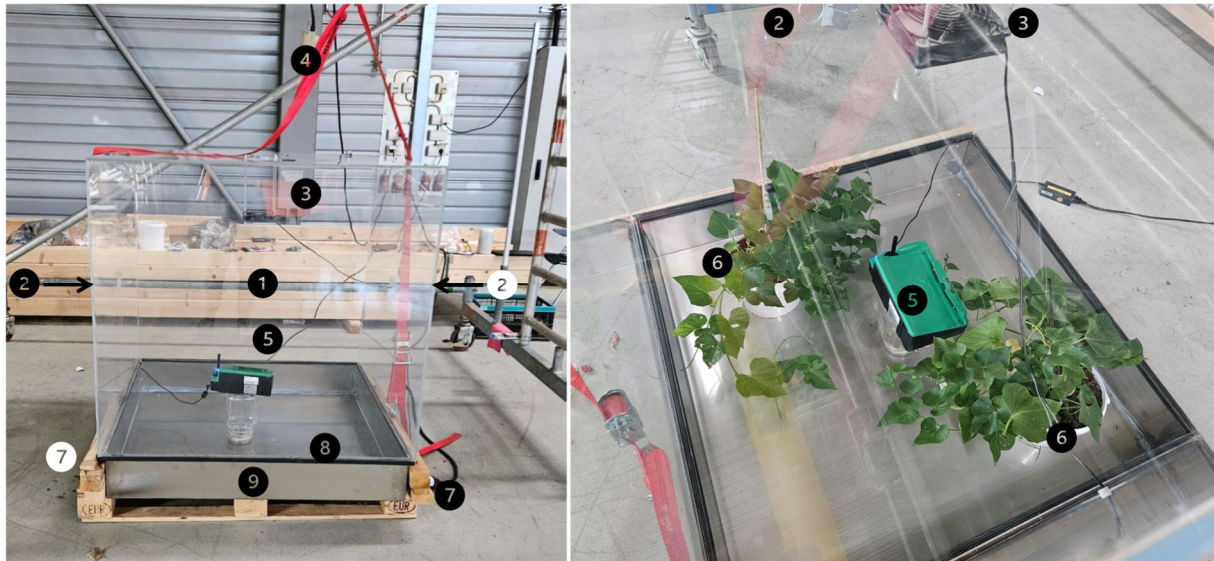
Messaufbau

Der Messaufbau orientiert sich an einem bereits früher entwickelten Konzept, musste aber für Kletterpflanzen adaptiert werden. Im Folgenden wird der Messaufbau kurz zusammengefasst (Abbildung 7).

Abbildung 7
Messreinrichtung zur Erfassung der Feinstaubreduktion durch bodengebundene Vertikalbegrünung.
links: Aufbau der Messeinrichtung; rechts: Messeinrichtung im Betrieb

1. Plexiglashaube
2. Löcher in der Plexiglashaube (verschießbar) zur Versorgung der Messeinrichtung
3. Ventilator innerhalb der Plexiglashaube
4. Gurte der Seilwinde zum Anheben der Haube mittels Hebestange, die durch die Versorgungsöffnungen geführt wird
5. Messgerät (Partikelzähler)
6. Messgegenstände (Eimer mit Substrat bzw. mit Substrat und Pflanzen)
7. Holzbalken zur Stabilisierung der Plexiglaskammer

8. Dichtband um den Übergang von der Plexiglashaube zur Edelstahlwanne abdichten
9. Edelstahlwanne auf der die Plexiglashaube aufsitzt



Fotos: L. Besinger, Fraunhofer IBP.

In Abbildung 7 sind der Aufbau der Messkammer und die nötigen Hilfsmittel zur Versuchsdurchführung dargestellt. Die Plexiglashaube hat die Innenmaße (B x T x H) 1028 mm x 1028 mm x 946 mm und besitzt ein Innenvolumen von 1 m³. An zwei gegenüberliegenden Wänden und an der Decke befindet sich jeweils eine Bohrung mit einem Durchmesser von 54 mm. Für jede dieser Öffnungen existieren passgenaue Deckel, welche während den Messungen mit Klebeband von außen fixiert werden und die Öffnungen abdichten. In einem dieser Deckel ist ein Fitting verbaut, um das Stromkabel des Ventilators durchzuführen und trotzdem die Luftdichtigkeit der Kammer zu gewährleisten. Der Ventilator dient zur Erzeugung von Turbulenzen in der Messkammer und simuliert die natürliche Luftströmung, um den realen Außenbedingungen gerechter zu werden. Die Bohrung auf der gegenüberliegenden Seite wird zur Einbringung des Modellstaubs genutzt. Um die für eine Person nicht tragbare Plexiglashaube anheben zu können, kann durch die seitlichen Öffnungen eine Metallstange durchgeführt werden und mit einer Seilwinde hoch – und heruntergefahren werden. Das Feinstaubmessgerät wird bei jeder Messung mittig in ca. 15 cm Höhe in der Messkammer platziert. Dadurch wird sichergestellt, dass die Luft aus dem durch den Ventilator simulierten Wind das Ansaugrohr des Messgeräts besser erreicht und die Messung repräsentativer wird. Die Messgegenstände können Eimer mit Substrat oder Pflanzen sein. Seitlich angebrachte Holzbalken dienen zur Stabilisierung der Plexiglaskammer, da sonst die Dichtung das gesamte Gewicht der Haube tragen würde und versagen könnte. Der Plexiglas-Kubus liegt mit einem Dichtband so auf der Stahlwanne auf, dass die Luftdichtheit sichergestellt ist. Die grundsätzliche Luftdichtigkeit wurde vor Beginn der Messungen mittels eines Nebelsprays (handelsüblich) überprüft (anschließende Feinreinigung des Setups).

Feinstaubmessgerät und Funktionsweise

Die zeitliche Veränderung der Feinstaubkonzentration wurde mithilfe eines optischen Feinstaubkonzentrationsmessgeräts (Fidas® Frog, Palas GmbH) bestimmt, das die unterschiedlichen Partikel im Messbereich durch optische Lichtstreuung am Einzelpartikel erfasst. Es misst simultan die Partikelanzahl und die Partikelgrößenverteilung im Partikelgrößenbereich von 0,18 – 93 µm. Die Partikelanzahl-Konzentrationen werden geräteintern in die Massenkonzentrationen (µg/m³ - mg/m³) der einzelnen Partikelfractionen (PM₁, PM_{2,5}, PM₄, PM₁₀, TSP) mit Hilfe eines Auswertalgorithmus umgerechnet.

Klassifizierung des Modellstaubs

Wie schon in vorhergehenden Untersuchungen von Koch (2020) wurde der Feinstaub „Arizona Test Dust“ der Firma Powder Technology Inc. verwendet. Die ausgewählte Fraktion des Modellstaubs ist 0-10 µm.

Untersuchungsziel

Ziel der experimentellen Untersuchung ist es, durch die Messung des zeitlichen Verlaufs der Feinstaubkonzentration Rückschlüsse auf die Feinstaubaufnahmeleistung von Kletterpflanzen zu ziehen. Dazu wurde ein standardisierter Modellstaub in einen Messkubus mit einem Volumen von 1 m³ eingebracht und die Feinstaubkonzentration in der Luft über eine Stunde hinweg gemessen. Zur Feinstaubdosierung wurde ein handbetriebener Pulverzerstäuber verwendet. Die Masse des eingebrachten Feinstaub wurde durch die Wägung des kompletten Pulverzerstäubers vor und nach jeder Einbringung ermittelt. Die Feinstaubkonzentration im Kubus kann aus der Gewichts Differenz und dem Raumvolumen errechnet werden.

Vorgehensweise

Alle innenseitigen Oberflächen der Messkammer wurden mit antistatischen Wischtüchern gründlich gereinigt, so dass keinerlei Staubrückstände an diesen Oberflächen zurückblieben. Auch das Messgerät wurde gründlich gereinigt, um Messungenauigkeiten durch Staubaggregation an sensorisch wichtigen Stellen vorzubeugen. Damit ein vollständiger Luftwechsel nach jeder Messung erreicht werden kann, wird nach jeder Reinigung mit einem Fön durch eine der Öffnungen in der Plexiglashaube Luft eingeblasen (20 min). Nachdem dadurch sichergestellt war, dass die Vorbelastung durch vorangegangene Messungen minimiert war, wurden die Pflanzen in einem Abstand von ca. 10 cm zu den Wänden in den Ecken der Messkammer platziert (Abbildung 8). Das Partikelmessgerät wurde auf einer Höhe von ca. 15 cm in der Mitte der Messkammer über dem Boden platziert und die Messung gestartet. Nach dem Herablassen der Plexiglashaube und dem Entfernen der Hebestange wurde die Plexiglashaube auf einer Seite abgedichtet und der Ventilator eingeschaltet. Mit dem handbetriebenen Pulverzerstäuber Feinstaub wurde nun der Teststaub in die Kammer eingebracht. Die Bestimmung der eingebrachten Staubmasse erfolgte durch Differenzwägung des Pulverzerstäubers vor und nach dem Einbringen des Teststaubes auf einer Feinwaage.

Abbildung 8

Bestimmung der Feinstaubabscheidung an der Dreispitzigen Jungfernrebe (*Parthenocissus tricuspidata*).



Foto: L. Besinger, Fraunhofer IBP.

5.3.3. Ermittlung der Blattflächen

Für die Interpretation der gemessenen Werte mit Beziehung zu den Ökosystemleistungen von Begrünungspflanzen (Verdunstung, CO₂-Aufnahme, Schadstoffaufnahme) ist ein Regelbezug zur Pflanzengröße, wie (Trocken-) Masse oder Blattfläche unumgänglich. Da die gemessenen Größen generell stark von der Oberfläche bzw. den Blättern der Pflanzen abhängen, wurde die Blattfläche als Bezugsgröße gewählt. Die Blattflächen der gemessenen Pflanzen wurden exemplarisch an ein, bis mehreren Individuen der gemessenen Pflanzen. Dazu wurde ein Konzept entwickelt, das sich an Pandey/Singh (2011) orientiert. Dabei wird die sogenannte „Subsample-Methode“ („Flächen-Gewichts“-Methode) angewendet. Von einer Pflanze werden alle grünen Blätter abgenommen und gewogen. Anschließend werden davon mehrere repräsentative Blätter ausgewählt und ebenfalls gewogen. Diese werden dann in einem Kopierer gescannt. Durch Festlegen der Scans auf ein bestimmtes Papierformat können diese anschließend ausgedruckt und ausgeschnitten werden. Das erlaubt die Ermittlung des relativen Gewichts der ausgeschnittenen Flächen und die Errechnung der Flächen der ursprünglichen Blätter, da das mittlere Gewicht des verwendeten Papiers festgestellt wird. Sobald damit die Fläche der gewogenen Blätter bestimmt ist, kann auf die Gesamtfläche aller gesammelten Blätter umgerechnet werden. Ergänzend dazu wurden am Institut für Botanik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck Blattflächen mit einem automatischen Gerät zur Blattflächenbestimmung vermessen. Damit konnten Vergleichswerte zur Subsample Methode gewonnen werden.

Die gemessenen Blattflächen bilden die Grundlage zur Ermittlung des Blattflächenindex (leaf area index LAI). Bei der Bestimmung des LAI wird die Blattfläche aller Blätter einer Pflanze, auf eine Grundflächeneinheit (1 m²) normiert bestimmt. Dieser wiederum ist Grundlage für weiterführende Auswertungen von Transpirationmessungen, Feinstaubreduktionsmessungen und Messungen der Photosyntheseleistung hinsichtlich einer konkreten Bestandesleistung (Leistung einer konkreten Pflanze oder Bestand von Pflanzen).

5.3.4. Messungen zum Gaswechsel: CO₂/O₂/Photosyntheseleistung

Die Gaswechsellmessungen bzw. Messungen der CO₂-Bindung der Pflanzen wurden am Lehrstuhl für Systematik, Biodiversität und Evolution der Pflanzen der Ludwig-Maximilians-Universität München LMU mit einem Gasaustauschmessgerät (GFS-3000, Heinz Walz GmbH) durchgeführt.

5.4. Öffentlichkeitsarbeit

Die erzielten Ergebnisse sollen die Beratungstätigkeit des BuGG und des IBP auf eine verbesserte Grundlage stellen und den auf dem Gebiet der Gebäudebegrünung tätigen Institutionen und Unternehmen eine verbesserte Umsetzung in Planung und Ausführung ermöglichen. Um die Öffentlichkeit auf das Projekt hinzuweisen und um die Ergebnisse verfügbar zu machen wird das Projekt Green Follows Function Attribute in verschiedenen Fachmedien publiziert.

6. Ergebnisse

Anhand der zugänglichen Quellen (wissenschaftliche Literatur, Verband- und Branchenunterlagen, graue Literatur, frei verfügbare Datenbanken, u. a.) wurde eine Datensammlung mit Informationen zu Begrünungspflanzen, die in der Extensiv-Dachbegrünung und in der bodengebundenen Fassadenbegrünung Anwendung finden, erstellt und in eine Datenbank überführt. Insgesamt umfasst die Datenbank mit den aufgenommenen Pflanzen mehr als 1400 Formen; es wurden Einträge zu mehr als 60 unterschiedlichen begrünungsrelevanten Pflanzenattributen zusammengetragen. Zu drei wesentlichen Ökosystemleistungen von Begrünungspflanzen (Verdunstung/Evapotranspiration; Photosyntheseleistung; Luftschadstoffreduktion) wurden jeweils für mindestens 20 Pflanzen Messungen realisiert bzw. ein Messkonzept zur Erfassung der Abbauleistung von Begrünungspflanzen hinsichtlich von Luftschadstoffen (vor allem Reduktion von Feinstaub) verfeinert werden. Für die zu den Messungen herangezogenen Arten wurde eine "Prioritätsliste" des BuGG als Basis verwendet. Für Planende und Anwendende steht damit eine neues, umfassendes Basistool zur Verfügung, das weiter ergänzt werden kann. Alle Lücken konnten bei dem großen Umfang der Matrix noch nicht geschlossen werden – hier sind noch Aufgaben für die Zukunft gegeben.

6.1. Koordination

Dazu wurden bei Bedarf Abstimmungen via Telefon, E-Mails oder TEAMS-Sitzungen durchgeführt.

6.2. Datensammlung und Erstellung der Datenbank

Im Folgenden werden ein Überblick und eine Diskussion gegeben über die verschiedenen erfassten Attribute und die dabei ermittelten Daten. In eckiger Klammer werden jeweils die damit verbundenen Datenfelder in der Datenbank und die jeweiligen Feldarten angegeben (siehe auch Abbildung 9).

6.2.1. Attribute zur Pflanzenidentität

Botanischer Name [NameBotanisch: Zeichenfeld]

Dem Prinzip der eindeutigen Identifikation der Pflanzen folgend wurde versucht für alle gelisteten Pflanzen aktuell gültige Namen zu vergeben. Prinzipiell war dies für botanische Arten klar definiert. Allerdings ergaben sich bei einzelnen Kultivaren fallweise Probleme in der Zuordnung, die eine aufwändigere Recherche nach sich zogen. Insgesamt wurden 1524 verschiedene Arten, Züchtungen, Sorten und Kreuzungen von Pflanzen erfasst.

Synonym [Synonym: Zeichenfeld]

Aufgrund aktueller wissenschaftlicher Neueinschätzungen kann es geschehen, dass manche bekannten Arten neue Namen bekommen. In diesen Fällen haben wir versucht durch die Angabe des alten Namens in der „Synonym-Spalte“ diese Pflanzen auffindbar zu machen, falls einen Nutzer aktuelle Änderungen nicht geläufig sein sollten. Besonders bei Arten, die erst kürzlich umbenannt wurden, oder die lange Zeit unter einem anderen Namen bekannt waren empfiehlt es sich dieses Synonym (oder auch Synonyme) in der Datenbank aufzunehmen, um Zuordnungen zu erleichtern.

Deutscher Name [NameDE: Zeichenfeld]

Dieses Attribut gestaltet sich als schwierig, da sehr viele Pflanzen über regional unterschiedliche deutsche Pflanzenamen verfügen. Es wurde versucht, wenn möglich, einen weit verbreiteten Namen anzugeben. In Einzelfällen wurde auch ein zweiter Deutscher Name aufgenommen.

Englischer Name [NameEN: Zeichenfeld]

Ähnlich wie beim deutschen Namen werden auch in der englischen Sprache oft verschiedene Namen für dieselben Pflanzen verwendet.

Pflanzenfamilie [Pflanzenfamilie: Zeichenfeld]

Aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse wurden viele Pflanzenfamilien umstrukturiert, daher wurden aktuelle Sichtweisen in der Gliederung der Pflanzenfamilien abgebildet, soweit sie in der Bezugsquelle, der Datenbank des Royal Botanic Garden Kew, Plants of the World Online (<https://powo.science.kew.org/>), berücksichtigt sind.

6.2.2. Zuordnung der Pflanzen zu Großgruppen

Pflanzengruppe [Pflanzengruppe: Zeichenfeld]

Die Zuordnung der Begrünungspflanzen zu den einzelnen Gruppen war weitgehend problemlos. Für bodengebundene Fassadenbegrünung werden vor allem verholzte Kletterpflanzen eingesetzt. Viel seltener werden einjährige Lianen oder ins Rhizom einziehende Pflanzen verwendet (wie z. B. Hopfen, *Humulus lupulus*). Bei der extensiven Fassadenbegrünung werden zumeist Stauden (mehnjährige krautige Pflanzen) aufgebracht, gefolgt von Sukkulenten, Gräsern und Zwergsträuchern.

Floristischer Status der Pflanze in Deutschland [Kultur: Zeichenfeld]

Neben einer Anzahl Wildpflanzen wurden bewusst zahlreiche Zierpflanzen und Kultivare aufgenommen. Es ist uns aber klar, dass es nicht möglich war, hier alle existierenden und potenziell einsetzbaren Züchtungen zu berücksichtigen. Allein schon die Weinrebe besitzt weltweit mehr als 10.000 Sorten (Galet 2015). In dieser ersten Übersicht sollten vor allem die gebräuchlichsten Formen berücksichtigt werden, die bei der Begrünung von Gebäuden eine Rolle spielen. Daneben wurden auch Kulturpflanzen erhoben, die teilweise ebenfalls im Bereich der extensiven Dachbegrünung und der bodengebundenen Vertikalbegrünung eingesetzt werden.

Lebensform [Lebensform: Zeichenfeld]

Die Lebensform konnte relativ einfach und einheitlich ermittelt werden. Schwierigkeiten in der Einstufung ergaben sich lediglich bei Pflanzen, die in ihrem ursprünglichen Verbreitungsgebiet mehrjährig wachsen, in unserem Klima aber nur einjährig gedeihen können, da sie nicht ausreichend frosthart sind.

Lebensform bei Gefäßpflanzen

Im Teilbereich bodengebundene Vertikalbegrünung überwiegen in erster Linie Phanerophyten (Holzpflanzen, vor allem verholzende Lianen), während es im Sektor der extensiver Dachbegrünung überwiegend Hemikryptophyten (Stauden), Geophyten (Zwiebel- und Knollenpflanzen) und Chamaephyten (Zwergsträucher) sind.

Lebensform bei Moosen

Bei den Moosen, diese sind im gegebenen Kontext (extensive Dachbegrünung und bodengebundene Vertikalbegrünung) lediglich für die extensive Dachbegrünung zu nennen, finden sich Chamaephyten, Hemikryptophyten und Therophyten. Im Laufe der Zeit können sich an den Achsen der Pflanzen der bodengebundenen Vertikalbegrünung fallweise auch epiphytische Moose ansiedeln. Es konnte gezeigt werden, dass Moose die akustischen Eigenschaften einer Begrünung verbessern können (Hägele 2019).

Lebenszyklus/Lebensdauer der Pflanzen [Lebenszyklus: Zeichenfeld]

Analog zur Lebensform ergaben sich Schwierigkeiten in der Einstufung vor allem bei Pflanzen, die in ihrem ursprünglichen Verbreitungsgebiet mehrjährig wachsen, in unserem Klima aber nur einjährig gedeihen können.

Begrünungsform [Begrünungsform: Zeichenfeld]

- **E – extensive Dachbegrünung.**
Wie bereits ausgeführt ist dieser Bereich schwer zu fassen, da eine sehr große Vielzahl an Pflanzenarten herangezogen werden kann. Wir haben versucht durch Auswertung von Literatur und Pflanzlisten möglichst viele Pflanzenarten und -sorten zu berücksichtigen, konnten aber aufgrund der Komplexität der Gegebenheiten sicher nicht alle (potenziell) verwendbaren Pflanzenarten und -formen erfassen. Wie bereits ausgeführt können viele Pflanzen bei entsprechender Wasserversorgung auch mit geringeren Substratstärken auskommen. Umgekehrt kann auch das Verdunstungsverhalten der Pflanzen durch zusätzliche Bewässerung verstärkt werden (Kaiser et al. 2019).
- **EV – potenziell für extensive Dachbegrünung geeignete Pflanzen.**
Aktuell entwickelt sich die Bereiche „Biodiversität“ und „lokale Pflanzensippen“ stark. Daher wurden auch Vorschläge für potenziell geeignete heimische Pflanzenarten mit aufgenommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass es sich nicht um geschützte oder gefährdete Pflanzenarten der heimischen Flora handelt.
- **PG – Pflanzgefäße.**
Eine Reihe von Pflanzen kann für mehrere Begrünungsformen eingesetzt werden, das heißt bei Pflanzgefäßen werden auch verschiedene Kletterpflanzen genutzt, oder auch Stauden und Sukkulenten etc., die sonst für die extensive Dachbegrünung herangezogen werden.
- **V – bodengebundene Vertikalbegrünung.**
mehr als 550 verschiedene Arten und Sorten wurden erfasst. Bewusst wurden auch Einjährige oder einziehende Lianen aufgenommen. Manche Gruppen, wie z. B. Waldreben (*Clematis* spp.) und Kletter-Rosen (*Rosa* spp.) zeichnen sich durch eine große Vielfalt an Kreuzungen und Kultivaren aus. Bei der Weinrebe (*Vitis vinifera*) gibt es sogar mehr als 10.000 Sorten (vergl. Galet 2015). Da diese immense Vielfalt den Rahmen des Projektes gesprengt hätte wurde versucht mindestens die wichtigsten Arten und Sorten zu erfassen.
- **WB – wandgebundene Begrünung.**
auch zur wandgebundenen Begrünung gibt es Überschneidungen, da hier auch ganz unterschiedliche Substratdicken eingesetzt werden können. Soweit aus der durchforsteten Literatur hervorging, dass erfasste Pflanzen auch für wandgebundene Begrünung verwendet werden, wurde dies vermerkt.

Zusätzlich wurden, soweit aus der gesichteten Literatur / den ausgewerteten Quellen ersichtlich auch Pflanzen aufgenommen, die sich von selbst ansiedeln und gegebenenfalls unerwünscht sind (vergl. z. B. Herfort/Pflanz 2021). Dies ist in der Rubrik „Bemerkung“ festgehalten. Schließlich wurden aus pragmatischen Gründen von der ausgewerteten Literatur zumeist alle gelisteten Pflanzen übernommen. Daher fanden in geringem Maße auch Pflanzen Aufnahme in die Datenbank, die bisher nicht für bodengebundene Vertikalbegrünung oder extensive Dachbegrünung angewendet wurden.

Literatur [Datenquelle: Zeichenfeld]

Insgesamt wurden mehr als 500 Literaturquellen und Internetinformationen ausgewertet.

6.2.3. Grundlegende Pflanzenattribute, mit Bezug zur Gebäudebegrünung

Stück pro m bzw. m² / Pflanzabstand [Pflanzabstand: Zeichenfeld]

Welche Menge an Pflanzen ist bei der Anlage einer Pflanzung notwendig?

Dazu gibt es oft unterschiedliche Angaben, allerdings hängt die Anzahl der notwendigen Pflanzen auch von der Größe der Setzlinge ab.

Mindest-Substratstärke [Substratstärke_min_u: Zahlenfeld; Substratstärke_min_o: Zahlenfeld]

Während bei der bodengebundenen Vertikalbegrünung die Substratstärke weniger definierend erscheint, da oft ausreichend tiefgründiger Mutterboden vorliegt, ist sie bei der extensiven Dachbegrünung limitiert und zeigt relativ klar, ob eine Pflanze grundsätzlich geeignet ist, oder nicht. Besonders bei Gehölzen handelt es sich bei den Angaben vorwiegend um generalisierte Werte. Pflanzen, insbesondere Holzgewächse, bei minimaler Substratstärke gehalten, werden gegebenenfalls nicht das Maximum ihrer Wuchseistung erbringen – das sollte beachtet werden. Gewisse Unschärfen ergeben sich auch dadurch, dass viele Pflanzen bei guter Wasserversorgung auch mit geringen Bodenstärken auskommen können.

Wuchshöhe/Länge cm [Wuchshoehe_max_u: Zahlenfeld; Wuchshoehe_max_o: Zahlenfeld]

Es wurde versucht die maximale durchschnittliche Größe der ausgewachsenen Pflanzen anzugeben und nicht, wie in einzelnen Arbeiten, Größenangaben zu berücksichtigen, die nur durch eine gezielte Pflege (z. B. Rückschnitt) erreicht werden können. Schwierigkeiten ergaben sich dadurch, dass unterschiedliche Arbeiten verschiedene Größenangaben für die ausgewachsenen Pflanzen angegeben haben. Falls derartige Angaben nicht von vornherein unplausibel erschienen, ergänzten sie die Bandbreite, oder es wurden übereinstimmende Angaben von botanisch-wissenschaftlichen Bearbeitungen übernommen.

Blattausdauer [Blattausdauer: Zeichenfeld]

Manchmal divergierten die Angaben ob bestimmte Pflanzen, z. B. als laubwerfend oder als immergrün einzustufen sind. Im Zweifel wurde auf das plausiblere Attribut zurückgegriffen oder die Einstufung „fakultativ immergrün“ angewendet. Insbesondere für die akustischen Eigenschaften einer Begrünung kann es von Bedeutung sein, ob die eingesetzten Pflanzen ihre Blätter im Winter behalten, oder ob sie sie abwerfen. Bei einzelnen Holzpflanzen sterben die Blätter im Herbst ab, bleiben jedoch bis zum Neuaustrieb an den Pflanzen befestigt.

Blattfarbe [Blattfarbe: Zeichenfeld]

Die gelisteten Pflanzen besitzen zumeist grüne Blätter. Besonders unter den Züchtungen (Kultivaren) finden sich jedoch auch Formen mit gefleckten (panaschierten Blättern).

Herbstfärbung (bei laubwerfenden Arten) oder Winterfärbung (bei immergrünen Arten) [Herbstfaerbung: Zeichenfeld]

Teilweise wurden keine eindeutigen Angaben zu diesem Attribut gefunden. Weitere Recherchen dazu sind notwendig.

Blütenschmuck [Bluetenschmuck: Zweichenfeld]

Während es bei Wildpflanzen und Zierpflanzen relativ klar definiert ist, welche Blütenfarbe sie besitzen zeigen viele Kultivare und Kreuzungen eine wesentlich stärkere Variabilität in diesem Merkmal.

Blühmonate [Bluehmonat_von: Zahlenfeld; Bluehmonat_bis: Zahlenfeld]

Es wurde gefunden, dass viele Pflanzen eine kurze Blühzeit aufweisen, manche aber nahezu die ganze Saison über blühen können.

Fruchtschmuck [Fruchtschmuck: Zeichenfeld]

Besonders bei Holzgewächsen finden sich auffällige Früchte, während die von Stauden und anderen Pflanzen oft relativ unauffällig sind bzw. wenig zusätzlichen Pflegeaufwand erzeugen.

Gewicht/m² [Gewicht_von: Zahlenfeld; Gewicht_bis: Zahlenfeld]

Dieses Attribut betrifft derzeit ausschließlich Pflanzen der bodengebundenen Vertikalbegrünung. Die wenigen gefundenen Angaben erscheinen besonders wertvoll.

Lichtbedarf [Licht: Zeichenfeld]

Grobe Einschätzung zum Lichtbedarf

Aufgrund divergierender Angaben ergaben sich bei manchen Pflanzen Schwierigkeiten in der Einstufung, aber in der Regel konnte dieses Attribut gut ermittelt werden.

Winterhärte WHZ [Winterhaerte: Zahlenfeld]

Deutschland belegt geografisch hauptsächlich die Winterhärtezonen 6 – 7 (Heinze/Schreiber, 1984). Die gelisteten Pflanzen repräsentieren vor allem die WHZ 4-7. Leider sind Angaben zu Winterhärtezahlen oft uneinheitlich. In einem pragmatischen Ansatz wurden daher, Glaubwürdigkeit der Quelle vorausgesetzt, die niedrigsten Angaben in die Datenbank übernommen.

Wasserbedarf [Wasserbedarf: Zeichenfeld]

Während es die meisten Kletterpflanzen eher frisch bis feucht bevorzugen, finden sich bei den Pflanzen für die extensive Dachbegrünung viele Arten, die es auch trockener vertragen.

Bodenreaktion, pH [Bodenreaktion: Zeichenfeld]

Die meisten Pflanzen bevorzugen eine neutrale Bodenreaktion. Nur wenige Spezialisten sind auf die extremen Werte festgelegt.

Nährstoffbedarf [Naehrstoffe: Zeichenfeld]

Zum Nährstoffbedarf wurden einige Einträge gefunden. Generell benötigen Pflanzen für extensive Dachbegrünung eher weniger Nährstoffe, während Kletterpflanzen oft gute Nährstoffversorgung bevorzugen. Generell ist festzustellen, dass kultivierte Pflanzen und häufig verwendete Zierpflanzen meist nährstoffreiche Bedingungen bevorzugen. Weitere Recherchen sind notwendig.

Pflegebedarf [Pflegebedarf: Zeichenfeld]

Auch hinsichtlich des Pflegebedarfs bestehen unterschiedliche Einschätzungen. In diesem Fall wird eine Bandbreite angegeben.

Wüchsigkeit [Wuechsigkeit: Zeichenfeld]

Angaben zum Wachstumsverhalten

Analog zu Pflegebedarf bestehen teilweise unterschiedliche Einschätzungen. In diesem Fall wird wiederum eine Bandbreite angegeben.

6.2.4. Ökologische Zeigerwerte

Die angegebenen Zeigerwerte nach Ellenberg et al. (2001) geben wichtige Hinweise zum ökologischen Verhalten der Pflanzen. Da in Ellenberg et al. (2001) bei den einzelnen Zeigerwerten vielfach zusätzliche Angaben eingefügt sind konnten diese in dieser Bearbeitung nicht als Zahlenwerte erfasst werden, sondern mussten als textliche Angaben in die Datenbank integriert werden, um keine Informationen zu verlieren. Leider sind diese Zeigerwerte nur für heimische mitteleuropäische Pflanzenarten angegeben. Durch eine Einarbeitung weiterer wissenschaftlicher Schriften zur Thematik könnte der Datenbestand noch etwas ausgeweitet werden. Für Zierpflanzen und Kultivare sind bisher leider noch keine Zeigerwerte verfügbar. Diese müssten in einer gesonderten Bearbeitung erstellt werden.

Zeiger Lichtzahl L [ZeigerL: Zeichenfeld] (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Viele der gelisteten einheimischen Pflanzen besitzen hohe Lichtzahlen, nur relativ wenige weisen niedrige Lichtzahlen (im Schatten lebend) auf. Die entspricht auch den üblichen Einsatzbedingungen, da begrünte Dächer und Fassaden oft gute Lichtverhältnisse aufweisen.

Zeiger Temperaturzahl T [ZeigerT: Zeichenfeld] (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Bezüglich der Temperaturzahlen ergeben sich Unterschiede, allerdings fällt auf, dass einige der gelisteten einheimischen Pflanzen bezüglich der Temperatur indifferent sind.

Zeiger Kontinentalitätszahl K [ZeigerK: Zeichenfeld] (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Obwohl sich bei den gelisteten einheimischen Pflanzen auch einige befinden, die an kontinentales Klima (strenge Winter, heiße trockene Sommer) angepasst sind, finden sich generell mehr Arten, die einen ozeanischen Einfluss (jahreszeitlich ausgeglichene Temperaturen, regelmäßig Niederschläge) bevorzugen.

Zeiger Feuchtezahl F [ZeigerF: Zeichenfeld] (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Bei den heimischen Pflanzenarten, die für extensive Dachbegrünung genutzt werden, finden sich einige Trockenzeiger, während die sonstigen Pflanzen eher frische Böden bevorzugen.

Zeiger Reaktionszahl R [ZeigerR: Zeichenfeld] (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Unter den gelisteten einheimischen Pflanzen überwiegen Schwachbasenzeiger, Säurezeiger sind vergleichsweise seltener.

Zeiger Stickstoffzahl N [ZeigerN: Zeichenfeld] (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Unter den gelisteten einheimischen Pflanzen finden sich einige die auf magere oder nährstoffärmere Bedingungen hinweisen, aber auch Stickstoff- bzw. Nährstoffzeiger.

Zeiger Salzzahl S [ZeigerS: Zeichenfeld] (vgl. Ellenberg et al., 2001)

Mit wenigen Ausnahmen, wie z.B. die Strandnelke *Armeria maritima*, finden sich unter den Begrünungspflanzen keine salzverträglichen Arten.

6.2.5. Kletterpflanzenattribute

Kategorien von Kletterpflanzen nach ihrer Art zu klimmen

Für die meisten in der bodengebundenen Fassadenbegrünung eingesetzten Kletterpflanzen war die Einstufung eindeutig und sie konnten problemlos den Kategorien **Selbstklimmer [Selbstklimmer: Ja/Nein-Feld]**, **Schlänger/Winder [Schlinger: Ja/Nein-Feld]**, **Ranker [Ranker: Ja/Nein-Feld]** oder **Spreizklimmer [Spreizklimmer: Ja/Nein-Feld]** zugeordnet werden.

Kletterhilfe [Kletterhilfe: Zeichenfeld]

Entsprechend der Angaben zu den Kletterpflanzenkategorien konnte dieses Attribut relativ einfach und eindeutig ermittelt werden, wobei bei manchen Selbstklimmern teilweise eine zusätzliche Kletterhilfe empfohlen wird.

6.2.6. Weitere Pflanzenattribute

Herkunft/Verbreitung [Herkunft: Zeichenfeld]

Grundsätzlich wäre es aus ökologischen Gründen sinnvoll vermehrt heimische Pflanzen für Begrünung heranzuziehen, diese Angabe soll die Auswahl zusätzlich unterstützen. Im Bereich der Gebäudebegrünung werden aus gestalterischen Gründen auch viele Zierpflanzen und Kultivare eingesetzt.

Gesundheit / Toxizität [Toxizität: Zeichenfeld]

Eine Reihe von Begrünungspflanzen stellt sich als giftig heraus. Dies muss auch bei der Planung von Begrünungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Vor allem wenn die Begrünung und potenziell gebildete Früchte sich am Anwendungsort in unmittelbarer Nähe zu Kindern befinden, dann spielt es unter Umständen eine große Rolle, ob die verwendeten Pflanzen unkritisch sind.

Ausbreitungsverhalten [Ausbreitung: Zeichenfeld]

Ausbreitungsverhalten entsprechend den gesichteten Quellen/Literatur mit Bezug zur Biodiversität. In dieser Kategorie wurden nur wenige Einträge gemacht. Weitere Recherchen oder Überarbeitung sind notwendig. In diesem Zusammenhang interessant sind auch die Beobachtungen, dass sich zahlreiche Organismen bereits evolutiv auf das Stadtumfeld reagieren. Das heißt Pflanzen und Tiere die bereits Eigenschaften besitzen, die ihnen im urbanen Raum nützlich sind, also bereits in gewissem Grad vorgepasst sind (adaptedness), werden gefördert, wie auch Anpassungen (Adaption) von Organismen an das Stadtumfeld (McDonnell/Hahs 2015). Aus diesem Blickwinkel könnte auch das Konzept der „invasiven Organismen“ für den urbanen Raum differenzierter betrachtet werden.

6.2.7. Zoologische Attribute

Diese Attribute bilden beim gegenständlichen Projekt einen Zusatz. Entsprechend der aktuellen allgemeinen Diskussion („Artensterben“) bilden sie jedoch auch wichtige Grundlagen. Durch weitere Sichtung zoologischer Fachliteratur sollte dieser Bereich weiter recherchiert werden. In Bezug zur Zoologischen Diversität bilden Arten, die direkt von den Pflanzen nutzen einen ersten wichtigen Anhaltspunkt. Abgesehen von direkten Beziehungen von Pflanzen zu tierischen Organismen, wie z. B. Bereitstellung von Nahrung oder Nistmöglichkeit, bietet Begrünung an sich, je nach Bauart und Zusammensetzung auch darüber hinaus vielfältig Lebensraum für Tiere (z. B. Bartfelder/Köhler 1987, Grant 2006). Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass aus Begrünungsflächen keine ökologischen Fallen werden (Horch et al. 2015). So war es geschehen, dass begrünte Flachdächer für Kiebitze zur ökologischen Falle gerieten. Die Vegetation auf den Dächern erfüllte die Ansprüche der Altvögel nach lückigen, wenig bewachsenen Flächen. Die Verhältnisse sind aber oft nicht günstig für die Jungen, so dass sie nicht überleben, unter anderem ist gegebenenfalls das Nahrungsangebot zur Aufzucht der Jungen zu knapp. Für eine erfolgreiche Brut von Kiebitzen sind weiterführende Maßnahmen notwendig (Horch et al. 2015).

Vogelpflanze [Vogelpflanze: Zeichenfeld]

Dazu waren in der Literatur zur Gebäudebegrünung vereinzelt Angaben zu finden, diese beziehen sich hauptsächlich auf Pflanzen mit saftigen Früchten. Die Information, ob eine Pflanze Nahrung und/oder Nistmöglichkeit für Vögel bietet, ist vor allem in der verstreuten zoologischen Literatur zu finden und muss einzeln nachverfolgt und recherchiert werden. Daher sind die vorliegenden Angaben noch unvollständig.

Schmetterlingspflanze [Schmetterlingspflanze: Zeichenfeld]

Diese Angabe ist insofern problematisch, da es bisher kaum Informationen (Listen) mit Bezug zu Begrünungspflanzen gibt. Die Information, ob eine Pflanze Nahrung für Schmetterlingsrauben darstellt, ist vor allem in der verstreuten zoologischen Literatur zu finden und muss einzeln nachverfolgt und recherchiert werden. Daher sind die vorliegenden Angaben noch unvollständig.

Käferpflanze [Käferpflanze: Zeichenfeld]

Hier ist die Sachlage analog zu den Schmetterlingspflanzen. Die Information, ob eine Pflanze Nahrung für Käfer darstellt, ist vor allem in der verstreuten zoologischen Literatur zu finden und muss einzeln nachverfolgt und recherchiert werden. Daher sind die vorliegenden Angaben noch unvollständig.

Bienenpflanze [Bienenpflanze: Zeichenfeld]

Es gibt Pflanz- und Samen-Listen für sogenannte „Bienenrasen“ und dergleichen, aber insgesamt ist die Sachlage analog zu den Schmetterlingspflanzen und Käferpflanzen. Die Information, ob eine Pflanze Nahrung für Bienen und deren Larven darstellt, ist vor allem in der verstreuten zoologischen Literatur zu finden und muss einzeln nachverfolgt und recherchiert werden. Daher sind die vorliegenden Angaben noch unvollständig.

sonstige tierische Nutznießer [sonstNutzniesser: Zeichenfeld]

Sonstige Tierische Nutzer bilden ein sehr heterogenes Feld. Das reicht von kleinen pflanzenfressenden Wirbeltieren bis hin zu weiteren Arthropoden, wie Fliegen etc. und reicht bis zu Schnecken, usw. Es wurde nicht gezielt nach den Angaben in der Literatur gesucht, aber, wenn bei geprüften Quellen glaubwürdige Angaben dazu enthalten waren, wurden diese auch eingegeben. Weitere Recherchen sind notwendig.

Wurzeleigenschaften [Wurzeleigenschaften: Zeichenfeld]

Obwohl der Wurzelraum für bodengebunden Fassadenbegrünung in der Regel nicht beschränkt ist, wurden einige Lianen gefunden die Flachwurzler sind. Bei der extensiven Dachbegrünung können nur Pflanzen verwendet werden, die mit der gegebenen Substratdicke auskommen können. Da aktuell, aber extensive Dachbegrünung mit unterschiedlichen Substratauflagen angeboten wird bieten die erhobenen Daten eine wertvolle Orientierung. Weitere Recherchen sind notwendig.

6.2.8. Pflanzenattribute mit Bezug zu ökosystemaren Leistungen

Gebäudebegrünung hat unbestritten einen positiven Effekt im Sinne der Ökosystemleistungen, wie zahlreiche Untersuchungen zeigen (vergl. Z.B. Bartfelder/Köhler 1987; Oberndorfer et al. 2007; Pelko 2019 und viele andere).

Als eine Art „Entgegnung“ zum Konzept der Ökosystemleistungen (ecosystem services) von Pflanzen und Lebensräumen ist in der jüngeren Vergangenheit der Begriff „Ökosystemschiaden“ (ecosystem disservices) aufgetaucht. In diesem „Gegenkonzept“ wird darauf hingewiesen, dass Pflanzen und Vegetation im Einzelfall auch negative Auswirkungen haben könnten. Dabei wird aber völlig außer Acht gelassen, dass unter dem Strich die positiven Auswirkungen von Pflanzen und Vegetation immer bei weitem Überwiegen (Villa et al. 2014).

Photosyntheserate CO₂-Aufnahme [Photosynthese_max-u: Zahlenfeld; Photosynthese_max_o: Zahlenfeld; Photosynthese_Info: Zeichenfeld]

Es wurden vor allem Werte aus der Literatur gelistet. Darüber hinaus werden auch eigene Messwerte erfasst. Bei 22 unterschiedlichen Pflanzen (Arten bzw. Sorten) wurde die Photosyntheseleistung mit Unterstützung durch die LMU gemessen. Leider sind manche Angaben zu machen Pflanzen in der Literatur stark divergierend. Teilweise bestehen auch Schätzungen, die eine CO₂-Bindung von Pflanzen für ein ganzes Jahr extrapolieren, aber keine Photosyntheseraten an sich für Pflanzen angeben (vergleiche auch Herfort/Tschuikowa/Ibañez 2012). Da die Literatur zu diesem Attribut sehr zerstreut ist, sind weitere Recherchen sinnvoll. Zusätzlich sind auch weitere Messungen empfehlenswert, insbesondere wenn für bestimmte Pflanzen stark divergierende oder keine Werte vorhanden sind.

C3 / C4 / CAM [C3_C4_CAM: Zeichenfeld]

In der heimischen Flora überwiegen sogenannte „C3-Pflanzen“, neben wenigen CAM-Pflanzen bilden C4-Pflanzen die Minderheit. Wie zu erwarten haben die unterschiedlichen Typen der Photosynthese auch Auswirkungen auf die Eigenschaften der Begrünung. Während C4 Pflanzen bei guter Wasser- und Nährstoffversorgung besonders effektiv produzieren (CO₂ binden) können, sind CAM-Pflanzen besser in der Lage mit Wassermangel zurecht zu kommen. Laut D'Arco/Blanusa/Speranza (2018) sind C3 Pflanzen zu bevorzugen, wenn ein möglichst hoher Kühleffekt erreicht werden soll, CAM-Pflanzen sind dabei weniger geeignet.

Stomatäre Leitfähigkeit, Verdunstungsleistung Blatt / Pflanze [StomataereLeit_max_u: Zahlenfeld; StomataereLeit_max_o: Zahlenfeld; StomataereLeit_Info: Zeichenfeld]

In der pflanzenphysiologischen Literatur konnten einige Werte gefunden werden (vergleiche Askari et al. 2021 und andere). Allerdings fehlten bei einigen Arbeiten konkrete Werte bzw. der Zugang zu den Originaldaten, sodass diese für die Datenbank nicht herangezogen werden konnten (vergleiche z. B.

Köhler et al. 2002; Omasa/Tobe/Kondo 2002; Dzierzanowski et al. 2022). Bei Literaturangaben handelte es sich vorwiegend um Kulturpflanzen oder Wildpflanzen. Es stellt sich heraus, dass Begrünungspflanzen deutlich unterschiedliche Maximalwerte an Blattverdunstung aufweisen. So werden bei den Maximalwerten z. B. bei Efeu $200 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ angegeben, während die Werte für diverse Weinsorten etwa zwischen $240 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ und $500 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ divergieren (vergl. Winkel/Rambal 1993; Petrie/Trought/Howell 2000; Leuzinger et al., 2011; Sabir/Yazar 2015; Linhart et al., 2023). Da die Literatur zu diesem Attribut auch sehr zerstreut ist, sind weitere Recherchen sinnvoll. Zusätzlich sind auch weitere Messungen empfehlenswert, insbesondere wenn für bestimmte Pflanzen stark divergierende oder keine Werte vorhanden sind.

Klimaresistenz und Trockenheitsverträglichkeit [Klimaresistenz: Zeichenfeld]

Infolge der globalen Klimaänderung erscheinen diese Angaben wertvoll. Bisher wurden hierzu noch wenige Daten erfasst. Während für Bäume/Holzpflanzen schon Arbeiten vorliegen fehlen hierzu für andere Pflanzen Daten oder sind in anderer Literatur „versteckt“. Weitere Recherchen sind notwendig.

Luftverbesserung durch Feinstaubretention, gesammelte Daten [Feinstaubaufnahme: Zeichenfeld]

In verschiedenen Arbeiten wurden Angaben zur Feinstaubretention von Pflanzen gefunden. Messungen zu diesem Attribut wurden unter besonders vielfältigen Gesichtspunkten mit verschiedenen Methoden und unter Angabe sehr verschiedener Größen, auch Zeitangaben, durchgeführt. Da der Feinstaubgehalt der Luft von vielen Faktoren abhängt und auch bei einer Aufnahme durch Pflanzenoberflächen komplexen mathematisch-physikalischen Vorgängen folgt können die Literaturwerte meist nicht umgerechnet bzw. normalisiert werden. Aus diesem Grund wurde bisher keine konkrete Maßeinheit festgelegt und die gefundenen Werte sind samt angegebenen Messgrößen aus der Literatur übernommen. Analog zu Transpirationsraten fehlten bei einigen Arbeiten konkrete Werte für Pflanzenarten/-sorten bzw. der Zugang zu den Originaldaten, sodass diese für die Datenbank nicht herangezogen werden konnten (vergleiche z. B. Nowak et al. 1998; Köhler et al. 2002; Gorbachevskaya/Schreiter/Kappis 2007; Kappis et al. 2007; Gorbachevskaya/Herfort 2012; Sæbø et al. 2012; Haynes et al. 2019; Popek et al. 2023). Oft werden auch Prozentwerte der gemessenen Reduktion durch Pflanzen/Vegetation oder Depositionsraten (%) angegeben (z. B. Gorbachevskaya/Schreiter/Kappis 2007; Kappis et al. 2007; Mitchell/Maher/Kinnersley 2010, Klingberg et al. 2017). Da wir den Ansatz der Auflistung konkreter Werte (Massewerte) verfolgten, konnten wir derartige Angaben nicht berücksichtigen. Auch war es nicht möglich unter vertretbarem Aufwand Angaben von Partikel-Klassen-Zählungen in Massewerte umzurechnen. Weitere Messungen und Recherchen sind wünschenswert.

Luftverbesserung weitere Luftschadstoffe (NO₂ etc.) [Luftschadstoffred: Zeichenfeld]

Insoweit vorhanden und aufgefunden wurden hier Werte aus der Literatur berücksichtigt. Im Verlauf des Projekts sollte das für Feinstaub adaptierte System auch exemplarisch für Stickoxide getestet werden. Leider konnte aber das dafür notwendige Messinstrument aufgrund verlängerter Wartungszyklen nicht mehr im gegebenen Zeitrahmen eingesetzt werden. Bei Versuchen zur Messung der Reduktion von Luftschadstoffen mittels des angepassten Setups war neben dem Defekt des Stickoxidsensors auch ein Fehlgeruch (Stockfleckengeruch) feststellbar, der auf eine potenzielle mikrobielle Kontamination hinwies. Aus Arbeitsschutz Gründen musste der Verdacht überprüft werden. Dafür wurde vorhandenes Equipment (Luftkeimmessgerät, Selektivmedien) verwendet. Die dabei genutzten Verbrauchsmittel wurden anschließend nachgekauft (z.B. Ansaug-Einheit, Zutaten für Selektivmedien). Die Überprüfung ergab keine nennenswerte Erhöhung der mikrobiellen Hintergrundkontamination, sodass eine Gefährdung von Mitarbeitenden ausgeschlossen werden konnte.

Werte für Stickoxide und andere Luftschadstoffe, wie z. B. Ozon, können vorläufig nur orientierenden Charakter haben, da es sich um zahlreiche Einzelmessungen unter verschiedensten Gesichtspunkten

handelt. Oft gibt es bei bestehenden Messungen auch keinen direkten Bezug zu einzelnen Pflanzenarten und die verwendeten Methodiken sind sehr unterschiedlich. Wünschenswert für die Zukunft erscheint auch eine Konvention über das methodische Vorgehen um die Leistung von Pflanzen hinsichtlich Reduktion von Luftschadstoffen wie NO_x und Ozon zu erfassen, da sehr unterschiedliche Ergebnisse dazu vorliegen. Während in einzelnen Arbeiten die Leistung der Pflanzen als gering beurteilt wird (Grundström/Pleijel 2014) kommen andere Arbeiten zu unterschiedlichen Ergebnissen. Da dieses Attribut in der Datenbank eingerichtet ist, können bei der Datenpflege hier in Zukunft neue Werte aus der Literatur erfasst werden. Weitere Recherchen und Messungen sind wünschenswert

Akustik [Akustik: Zeichenfeld]

Die Recherche zu akustischen Attributen von Begrünungspflanzen erwies sich als schwierig, da in den wenigen bestehenden Arbeiten entweder ganze Pflanzenbestände vermessen wurden oder unterschiedliche akustische Größen erfasst wurden. Daher wurden die gefundenen Messergebnisse nur als Text unter dieser Rubrik festgehalten (z. B. Hägele 2019). Da dieses Attribut bzw. die damit zusammenhängenden Messgrößen nicht im unmittelbaren Fokus der Projektarbeit standen wurde es in erster Linie vorläufig exemplarisch eingearbeitet um zukünftig, je nach Bedarf, weiter aufgefüllt bzw. aufgeteilt werden zu können.

Sonstige Hinweise [Bemerkung: Zeichenfeld]

Teilweise fanden sich in den Quellen auch nützliche Angaben, die sich keinem der gelisteten Attribute zuordnen ließen, wie z. B., dass die Anwendung einer Art bei Dachbegrünung unerwünscht ist, weil ggf. sehr dominierend.

6.2.9. Datenbank

Ursprünglich liegen der Großteil der erfassten Attribute in Form einer Excel-Arbeitsmappe vor. Um diese Daten in die Datenbank zu überführen, wurde ein sogenanntes „Skript“ geschrieben. Die erfassten Daten wurden damit anschließend in die relationale Datenbank eingelesen. Dieses Skript ermöglicht es weiterhin Daten in die Excel Tabelle einzugeben, und anschließend erneut einzulesen. Darüber hinaus wurde eine Ausgabe-Maske erarbeitet, die es erlaubt einfach Daten abzufragen.

Die grundlegende Struktur der Datenbank sowie die Datenverknüpfungen sind aus Abbildung 9 ersichtlich. Die Abfragemöglichkeiten orientieren sich an den Namen der Pflanzen und den enthaltenen Feldern, die nach ihren Feldnamen abgefragt werden können. Die Ausgabe erfolgt am Bildschirm. Die aus der Datenbank abrufbaren Daten sind ausführlich durch eine ebenfalls abrufbare Literaturliste hinterlegt. Zu den einzelnen Datenfeldern (Beschreibung, Diskussion) siehe auch **5.2** Datensammlung und Erstellung der Datenbank. Erarbeitung der Pflanzenliste, Sammlung von Literaturdaten und Messwerten: Datensammlung im Methodik-Teil und **6.2** Datensammlung und Erstellung der Datenbank im Ergebnis-Teil.

Abbildung 9 Datenbank-Struktur



Die Datenbank ist über den angegebenen Link: <https://imcom2.hoki.ibp.fraunhofer.de/attribute/> aufzurufen.

Wie kann in der Datenbank gesucht werden?

Allgemein:

Es können mehrere Suchbegriffe durch Leerzeichen getrennt eingegeben werden. Diese werden u.a. in den Kategorien botanischer Name, Synonym, deutscher Name, englischer Name, Pflanzenfamilie, Pflanzengruppe und Blattausdauer gesucht. Des Weiteren kann nach bestimmten Attributen und Werten einer Pflanze gesucht werden (siehe Beschreibung unten).

Die Ergebnisse der Suche werden alphabetisch nach dem botanischen Namen aufgelistet. Unterhalb des botanischen Namens werden der deutsche Name, die Pflanzenfamilie, der Status der Pflanze, die Pflanzengruppe und der Lebenszyklus der Pflanze ausgegeben.

Sämtliche vorliegenden Informationen zu einer Pflanze können über Anklicken des botanischen Namens angezeigt werden.

Verwendete Symbole

- Beim Überstreichen des Infosymbols mit der Maus erscheint eine Erklärung.
- Beim Anklicken mit der Maus wird eine Literaturliste eingeblendet.

Suche nach bestimmten Attributen

Zurzeit kann in der Datenbank nach den folgenden Attributen und Werten gesucht werden:

st=Name - Suche nach dem Status einer Pflanze

Mögliche Werte sind: Kultivar, Nutzpflanze, Wildpflanze, Zierpflanze, Neophyt.

bg=Name - Suche nach der Begrünungsform einer Pflanzenart

Mögliche Werte: E, EV, PG, V, WB.

su<Wert - Suche nach Substratstärke

Angabe in cm, es wird kleiner oder gleich dem angegebenen Wert gesucht.

wh<Wert - Suche nach der Wuchshöhe

Angabe in cm, es wird kleiner oder gleich dem angegebenen Wert gesucht.

gw<Wert - Suche nach der Gewichtslast

Angabe in kg/m², es wird kleiner oder gleich dem angegebenen Wert gesucht. Kleinste bestehende Angabe: 3 (kg/m²).

pl>Wert - Photosyntheseleistung

Es wird größer oder gleich dem angegebenen Wert gesucht. Kleinste bestehende Angabe: 0,6 (µmol CO₂ m⁻² s⁻¹) bis max. ca. 30 (µmol CO₂ m⁻² s⁻¹).

sl>Wert - Stomatäre Leitfähigkeit

Es wird größer oder gleich dem angegebenen Wert gesucht. Kleinste bestehende Angabe: 18 (mmol H₂O.m⁻². s⁻¹) bis max. ca. 900 (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

Sonstiges

Bei allen Angaben wird nicht zwischen Groß- und Kleinschreibung unterschieden.

Es können auch Wortteile eingegeben werden, sowohl bei der allgemeinen Suche als auch bei der Suche nach Attributen. st=zier sucht also genauso nach Zierpflanzen wie st=zierpflanze

Die Ergebnisliste enthält die Daten der Datenbank, bei denen alle eingegebenen Suchbegriffe zutreffen (UND-Verknüpfung).

Beispiele

Die Suche nach st>k listet alle als Kultivar erfassten Pflanzensorten auf.

Die Suche nach bg=e listet alle Pflanzen auf, die in der Datenbank für extensive Dachbegrünung eingetragen sind.

Die Suche nach rosa bg=e zeigt alle Rosen an, die für extensive Dachbegrünung genannt sind.

Die Suche nach rosa st=k bg=e wh<100 zeigt alle Rosen-Kultivare an, die für extensive Dachbegrünung genannt sind und maximal 100cm groß werden.

Im Folgenden wird anhand von Screenshots demonstriert, wie die Datenbank zu bedienen ist.

Als Abfrage-Beispiel sollen zunächst die Abfrage nach „Parthenocissus“ (Jungfernrebe) dienen (Abbildung 10).

Abbildung 10

Die Einstiegsseite in die Datenbank "Attribute". In die Suchzeile ist die Abfrage nach "Parthenocissus", Jungfernrebe, bereits eingegeben. Die Einstiegsseite ist bewusst einfach gehalten.

Attribute

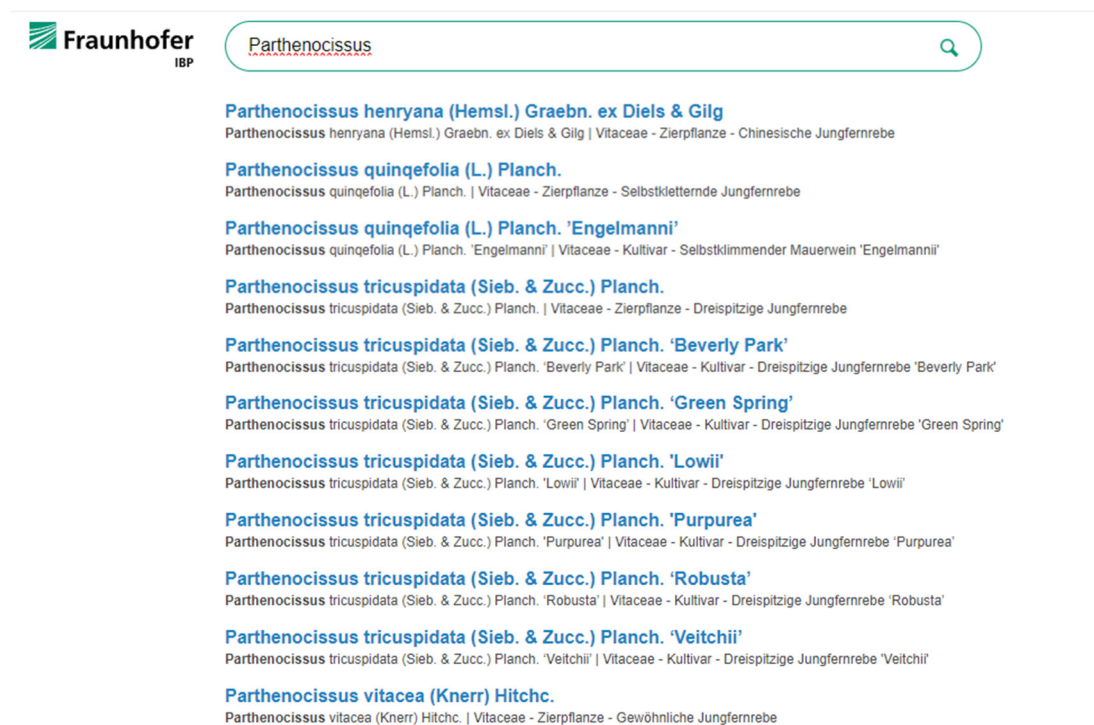
**Eigenschaften von Begrünungspflanzen
mit Schwerpunkt auf bodengebundener Fassadenbegrünung
und extensiver Dachbegrünung**

SUCHE

Bild: W.K. Hofbauer, IBP.

Das Suchergebnis nach "Parthenocissus" (Abbildung 11): Die Abfrage hat 11 Ergebnisse geliefert. Die Namen der gefundenen Pflanzen sind zuerst mit dem lateinischen Namen und jeweils darunter auch noch mit Pflanzenfamilie, Pflanzenstatus und deutschem Namen gelistet. Natürlich sind auch Abfragen nach deutschen Namen oder mit der Sortenangabe möglich.

Abbildung 11
Ergebnis der Abfrage „Parthenocissus“



The screenshot shows the search results for 'Parthenocissus' on the Fraunhofer IBP website. The search bar at the top contains the text 'Parthenocissus'. Below the search bar, there is a list of search results, each consisting of a bolded title and a line of descriptive text.

- Parthenocissus henryana (Hemsl.) Graebn. ex Diels & Gilg**
Parthenocissus henryana (Hemsl.) Graebn. ex Diels & Gilg | Vitaceae - Zierpflanze - Chinesische Jungfernrebe
- Parthenocissus quinquefolia (L.) Planch.**
Parthenocissus quinquefolia (L.) Planch. | Vitaceae - Zierpflanze - Selbstkletternde Jungfernrebe
- Parthenocissus quinquefolia (L.) Planch. 'Engelmanni'**
Parthenocissus quinquefolia (L.) Planch. 'Engelmanni' | Vitaceae - Kultivar - Selbstklimmender Mauerwein 'Engelmanni'
- Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch.**
Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. | Vitaceae - Zierpflanze - Dreispitzige Jungfernrebe
- Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Beverly Park'**
Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Beverly Park' | Vitaceae - Kultivar - Dreispitzige Jungfernrebe 'Beverly Park'
- Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Green Spring'**
Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Green Spring' | Vitaceae - Kultivar - Dreispitzige Jungfernrebe 'Green Spring'
- Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Lowii'**
Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Lowii' | Vitaceae - Kultivar - Dreispitzige Jungfernrebe 'Lowii'
- Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Purpurea'**
Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Purpurea' | Vitaceae - Kultivar - Dreispitzige Jungfernrebe 'Purpurea'
- Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Robusta'**
Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Robusta' | Vitaceae - Kultivar - Dreispitzige Jungfernrebe 'Robusta'
- Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Veitchii'**
Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Veitchii' | Vitaceae - Kultivar - Dreispitzige Jungfernrebe 'Veitchii'
- Parthenocissus vitacea (Knerr) Hitchc.**
Parthenocissus vitacea (Knerr) Hitchc. | Vitaceae - Zierpflanze - Gewöhnliche Jungfernrebe

Bild: W.K. Hofbauer, IBP.

Beim Anklicken eines Ergebnisses, z. B. *Parthenocissus tricuspidata*, Dreispaltige Jungfernrebe, öffnet sich ein Insert mit Attributen zur Pflanze (Abbildung 12). Darunter befindet sich auch ein Button „MEHR INFO...“, der zu den weiteren erfassten Attributen der aufgerufenen Pflanze führt (Abbildung 13). Rechts oben im Insert befindet sich ein Listen-Symbol. Wird dieses angeklickt, so erscheint die Liste der Quellen, die den Einträgen der aufgerufenen Pflanze zugrunde liegt. Bei Überstreichen des Infosymbols bei den unterschiedlichen Attributen erscheint eine Erklärung.

Abbildung 12

Beim Anklicken eines Ergebnisses, z. B. *Parthenocissus tricuspidata*, Dreispaltige Jungfernrebe, öffnet sich ein Insert mit Attributen zur Pflanze.

Weitere Infos zu:

Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch.

Synonym ?

Deutscher Name ?	Dreisitzige Jungfernrebe
Englischer Name ?	Boston Ivy
Pflanzenfamilie ?	Vitaceae
Pflanzengruppe ?	Kletterpflanzen verholzt
Status ?	Zierpflanze
Lebensform ?	Phanerophyt
Lebenszyklus ?	ausdauernd
Begrünungsform ?	V
Je m² / Pflanzabstand (cm) ?	/ 150-200
Substratstärke (min) ?	15 bis 46 cm
Wuchshöhe (max) ?	300 bis 2500 cm

[MEHR INFO...](#)

Bild: W.K. Hofbauer, IBP.

Abbildung 13

Beim Anklicken des Buttons „MEHR INFO...“ im Insert, erweitert sich das Insert und die weiteren erfassten Attribute zur Pflanze erscheinen.

Wetter Info zu:

Parthenocissus tricuspidata (Sieb. & Zucc.) Planch.

Synonym ⓘ

Deutscher Name ⓘ Dreispitzige Jungfernebe

Englischer Name ⓘ Boston Ivy

Pflanzenfamilie ⓘ Vitaceae

Pflanzengruppe ⓘ Kletterpflanzen verholzt

Status ⓘ Zierpflanze

Lebensform ⓘ Phanerophyt

Lebenszyklus ⓘ ausdauernd

Begrünungsform ⓘ V

Je m² / Pflanzabstand (cm) ⓘ / 150-200

Substratstärke (min) ⓘ 15 bis 48 cm

Wuchshöhe (max) ⓘ 300 bis 2500 cm

Blattausdauer ⓘ laubwerfend

Blattfarbe ⓘ grün

Herbtfärbung ⓘ rotorange bis schwarzrot

Blütenschmuck ⓘ gelbgrün

Blühmonat ⓘ Juni bis August

Fruchtschmuck ⓘ Beeren, blauschwarz, 9

Gewicht pro m² (von-bis) ⓘ 6 bis 9

Licht ⓘ sonnig bis schattig

Winterhärte ⓘ 6

Wasserbedarf ⓘ frisch bis feucht

Bodenreaktion ⓘ sauer bis alkalisch

Nährstoffe ⓘ nährstoffreich

Pflegebedarf ⓘ gering

Wüchsigkeit ⓘ schnell

Zelger L ⓘ

Zelger T ⓘ

Zelger K ⓘ

Zelger F ⓘ

Zelger R ⓘ

Zelger N ⓘ

Zelger S ⓘ

Selbstklimmer ⓘ Ja

Schlinger ⓘ Nein

Ranker ⓘ Nein

Spitzklimmer ⓘ Nein

Kletterhilfe ⓘ nicht notwendig

Herkunft ⓘ Japan, China, Korea

Gesundheit / Toxizität ⓘ leicht giftig, Beeren schwach giftig

Ausbreitungsverhalten ⓘ

Vogelpflanze ⓘ Vogelschutzgehölz

Schmetterlingspflanze ⓘ

Käferpflanze ⓘ

Bienenpflanze ⓘ Bienenweide

Sonstige Nutznießer ⓘ

Wurzeleigenschaften ⓘ

Photosynthese-Leistung ⓘ 7,30 bis 16,74 µmol CO₂.m⁻².s⁻¹

Photosynthese-Typ ⓘ C3

Stomatäre Leitfähigkeit ⓘ 80,00 bis 267,96 mmol H₂O.m⁻². s⁻¹
untere bzw. obere Maximum

Klimarelevanz ⓘ

Feinstaubaufnahme ⓘ F: PM_{2,5}: <10 µg.cm⁻².d⁻¹, PM₁₀: <10 µg.cm⁻².d⁻¹, PM_{ges}: <50 µg.cm⁻².d⁻¹, L: PM₁₀: 0,13 mg/cm² (2 min), 113,6 µg/cm², 2 h, PM_{2,5}: 0,12 mg/cm² (2 min), 98,5 µg/cm², 2 h

Luftschadstoffreduktion ⓘ

Akustik ⓘ

Bemerkung ⓘ Top-Kletterpflanze, in Zusammensetzung der Top-Kletterpflanzen und der Kletterpflanzen nach Himmelsrichtung, interne Datensammlung vom 28.03.2023, gut für W, O und NW exponierte Flächen geeignet

WENIGER INFO...

Mit Vorliegen dieser Datenbank kann nun für mehr als 1500 Pflanzenarten konzentriert auf bodengebundene Fassadenbegrünung und extensive Dachbegrünung der eingearbeitete Datenbestand abgerufen werden.

Die Datenbank bietet für Pflanzen, die bei bodengebundener Fassadenbegrünung und extensiver Dachbegrünung verwendet werden, die bisher umfangreichste Informationszusammenstellung, insbesondere was Informationen in Zusammenhang mit Ökosystemleistungen betrifft. Darüber hinaus bestehen andere Datenbanken, die sich mit Teilbereichen der neuen Datensammlung befassen oder nach anderen Schwerpunkten gestaltet sind. Der Unternehmerverband Gärtner Schweiz Jardin Suisse betreibt eine Datenbank (<https://jardinsuisse.ch/de/service/dienstleistungen/artikelstamm/>), die an eine gebührenpflichtige Lizenz gebunden ist (Jardin Suisse 2024). In der Datenbank von Jardin Suisse sind zahlreiche gärtnerische Eigenschaften zu Pflanzenaufgelistet. Zu den eigentlichen Ökosystemleistungen und weiteren Attributen, die in der neuen Datenbank enthalten sind, finden sich keine Angaben. Im Rahmen des Projektes wurde keine Lizenz erworben. Die in der Datenbank von Jardin Suisse vorliegenden Attribute, die sich mit unserer Datensammlung überschneiden, wurden daher aus anderen Quellen recherchiert. Daher ist es auch möglich, dass in einzelnen Fällen unterschiedliche Beurteilungen bestehen. Insgesamt aber gehen wir davon aus, dass sich beide Datensammlungen synergistisch ergänzen. In der NaturaDB (NaturaDB 2024) sind ebenfalls vor allem gärtnerische Eigenschaften von Pflanzen für Garten, Terrasse oder Balkon erfasst und zusätzlich einfache Einschätzungen mit Bezug zur heimischen Fauna gegeben. Insofern hier Informationen vorliegen, die über die im vorliegenden Projekt gesammelten hinaus gehen, können diese nach Prüfung der Daten ggf. übernommen werden, da diese Datenbank offen zugänglich ist. Insgesamt ist der Sortenbestand jedoch deutlich weniger umfangreich als in der Attribute Datenbank. Gegebenenfalls finden sich weitere Informationen auch in der Datenbank BIoLFLoR (Klotz et al. 2002), diese ist teilweise offen abrufbar, aktuell jedoch nicht erreichbar. Die Datenbank citree der TU Dresden (citree 2024) enthält Daten zu Gehölzen für den urbanen Raum und zielt vor allem auf den Standortbezug der gelisteten Gehölze ab. Insofern bestehen relativ wenige Überschneidungen zur Attribute Datenbank.

6.3. Messungen zur Ergänzung wichtiger Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen, zunächst beschränkt auf bodengebundene Kletterpflanzen sowie die Koordination der Abschlussarbeiten:

Dem angepassten Projektablauf entsprechend konnten Masterarbeiten zu Messungen zur (Evapo-)Transpiration mittels Lysimeter und zur Messung der Blatt-Transpiration mittels Porometer sowie zur Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Feinstaubreduktion und NO_x-Aufnahme durch Pflanzen erst im Jahr 2023 vergeben werden. Aus „logistischen“ Gründen (das dazu notwendige Messgerät konnte wegen Wartungsarbeiten nicht mehr in den Projektablauf integriert werden) war es nicht möglich die geplanten ersten Referenzmessungen zur NO_x-Reduktion durchzuführen. Messungen zur Photosyntheseleistung konnten an der LMU durchgeführt werden. Obwohl ursprünglich nicht zwingend eingeplant wurden zusätzlich, exemplarische Messungen der Blattflächen von verwendeten Pflanzen ausgeführt. Dabei konnte auch ein zweites Verfahren zur Blattflächenbestimmung mit Unterstützung der UIBK getestet werden.

6.3.1. Messungen zur (Evapo-)Transpiration mittels Lysimeter und Messung der Blatt-Transpiration mittels Porometer

Insgesamt konnten 22 unterschiedliche Pflanzenarten bzw. -Sorten (inklusive Referenzpflanzen) gemessen werden (Tabelle 1). Dabei wurden nicht nur verholzende ausdauernde Kletterpflanzen berücksichtigt, sondern auch einziehende, wie Hopfen und Süßkartoffel, da diese auch eine breite Anwendung bei Grünanlagen finden. Grundsätzlich orientierte sich die Auswahl an einer vom BuGG zusammengestellten Liste der „besten“ Kletterpflanzen, die nicht öffentlich zugänglich ist. Wenn möglich

und sinnvoll wurden teilweise auch unterschiedliche Sorten einer Art berücksichtigt (Hopfen, Immergrünes Geißblatt).

Tabelle 1 enthält die experimentell ermittelten maximalen stomatären Leitfähigkeiten der untersuchten Kletterpflanzen. Durch die parallel im Zuge der Datensammlung für die Datenbank erfolgten Literaturrecherche wurden folgende Arten als Referenzpflanzen ermittelt, ebenfalls in Tabelle 1 eingetragen. Das heißt es wurden Daten zu Messungen mit Vergleichswerten gefunden: *Akebia quinata*; *Aristolochia macrophylla*; *Hedera hibernica*; *Humulus lupulus*; *Parthenocissus quinquefolia*; *Parthenocissus tricuspidata*; *Rosa* x Kulturhybriden; *Vitis vinifera* (nur Ergebnisse von Arbeiten aufgeführt, die sich mit *Vitis vinifera* ohne Sortenangabe befassen, zu unterschiedlichen Kultursorten wurde weitere Literatur in die Datenbank eingearbeitet) und *Wisteria sinensis* (Teramura/Gold/Forseth 1991; Winkel/Rambal 1993; Cifre et al. 2005; Kenny 2005; Hniličková et al. 2009; Blanusa et al. 2013; Miranda et al. 2013; Thomsit-Ireland 2018; Nadal/Flexas 2019; Chung 2021; Körner et al. 2021; Li et al. 2022; Karima 2023). Weitere Werte zur stomatären Leitfähigkeit konnten von der Datenbank TRY plant trait database akquiriert werden (Kattge et al. 2020). Die im Rahmen der Messungen erhobenen Werte erhalten durch die Referenzdaten gute Plausibilität. Sie erweitern und präzisieren den bisher vorliegenden Datenbestand. Weitere Messungen sind wünschenswert.

Tabelle 1: Für die Evapotranspirations- und Transpirationmessungen herangezogenen Pflanzen, Ergebnisse zu den Messungen zur stomatären Leitfähigkeit der Blätter der Kletterpflanzen, maximale Werte und Vergleichswerte aus der Literatur.

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletter Form	Maximale stomatäre Leitfähigkeit [mmol·H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]	Vergleichswerte aus Literatur [mmol·H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]
<i>Actinidia arguta</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq. 'Issai'	Scharfzahniger Strahlengriffel 'Issai'	Schlinger	131,1	–*)
<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne.	Fingerblättrige Akebie	Schlinger	382,9	360
<i>Aristolochia macrophylla</i> Lam.	Amerikanische Pfeifenwinde	Schlinger	150,3	195
<i>Campsis x tagliabuana</i> (Vis.) C.Massal. 'Madame Galen'	Trompetenblume 'Madame Galen'	Selbstkletterer, Schlinger	329,7	–*)
<i>Clematis montana</i> Buch.-Ham. ex DC. 'Mayleen'	Bergwaldrebe 'Mayleen'	Ranker	140,7	–*)
<i>Clematis</i> x 'Multi Blue'	<i>Clematis</i> Kreuzung 'Multi Blue'	Ranker	289	–*)
<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz. 'Blondy'	Kriechspindel 'Blondy'	Selbstkletterer	318	–*)
<i>Fallopia aubertii</i> (L.Henry) Holub	Schlingknöterich	Schlinger	273,7	–*)

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletter Form	Maximale stomatäre Leitfähigkeit [mmol·H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]	Vergleichswerte aus Literatur [mmol·H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]
<i>Hedera helix</i> L. 'Goldheart'	Gelbbunter Efeu 'Goldheart'	Selbstkletterer	291,1	–*)
<i>Hedera hibernica</i> Poit. (<i>Hedera helix</i> L. 'Hibernica')	Irischer Efeu	Selbstkletterer	258,3	110-220,1
<i>Humulus lupulus</i> L. 'Hops'	Hopfen 'Hops'	Rankende Staude	250,4	<i>Humulus lupulus</i> (ohne Angabe von Kultursorten): 218-320
<i>Humulus lupulus</i> L. 'Nordbräu'	Hopfen 'Nordbräu'	Rankende Staude	458,8	<i>Humulus lupulus</i> (ohne Angabe von Kultursorten): 218-320
<i>Hydrangea petiolaris</i> Siebold & Zucc. (<i>Hydrangea anomala</i> ssp. <i>petiolaris</i> [Siebold & Zucc.] E.M. McClint.)	Kletter-Hortensie	Selbstkletterer	184,4	–*)
<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Süßkartoffel	Einziehende Schlinger	390,9	–*)
<i>Jasminum nudiflorum</i> Lindl.	Winter-Jasmin	Spreizklimmer	393,7	–*)
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. (<i>Lonicera henryi</i> Hemsl.)	Immergrünes Geißblatt	Schlinger	340,9	–*)
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. 'Copper Beauty' (<i>Lonicera henryi</i> Hemsl. 'Copper Beauty')	Immergrünes Geißblatt 'Copper Beauty'	Schlinger	224	–*)
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	Selbstkletternde Jungfernrebe	Ranker, Selbstkletterer	184,9	570
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Green Spring'	Dreispitziige Jungfernrebe 'Green Spring'	Selbstkletterer	144,8	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (ohne Angabe von Kultursorten): 80-268

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletter Form	Maximale stomatäre Leitfähigkeit [mmol·H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]	Vergleichswerte aus Literatur [mmol·H ₂ O m ⁻² s ⁻¹]
<i>Rosa</i> x 'Guirlande d'Amour'	Kletter-Rose 'Guirlande d'Amour'	Spreizkletterer	314,1	<i>Rosa</i> x Kulturhybriden (ohne Angabe von konkreten Kultursorten): 321
<i>Vitis vinifera</i> L. 'Lakemont II'	Zuchtweinrebe 'Lakemont II'	Ranker	361,8	<i>Vitis vinifera</i> (ohne Angabe von Kultursorten): 150-700
<i>Wisteria sinensis</i> (Sims) DC. 'Prolific'	Chinesischer Blauregen 'Prolific'	Schlinger	157,1	<i>Wisteria sinensis</i> (ohne Angabe von Kultursorten): 54,57-700

–*) Kein Vergleichswert in der Literatur identifiziert.

Für weiterführende Auswertungen wurde zusätzlich eine Übersichts-Blattflächenbestimmung für die gemessenen Pflanzen durchgeführt (siehe unten 6.3.3. Ermittlung der Blattflächen). Zusammen mit Werten der Gesamt-Evapotranspiration (Pflanze und Substrat) bzw. der Substratevaporation können nun Abschätzungen der unterschiedlichen Verdunstungsleistung von Begrünungspflanzen durchgeführt werden.

Für die Abschätzung der Bestands-Transpirationsraten der verschiedenen Pflanzen muss auch der entsprechende Blattflächenindex (LAI) berücksichtigt werden (zu LAI siehe unten, 6.3.3. Ermittlung der Blattflächen). Bei Pflanzen, die zwar eine hohe stomatäre Leitfähigkeit der Blätter aufweisen, aber nur kleine Blätter und eine geringe Pflanzenhöhe haben, ist die Gesamttranspiration im Bestand niedrig. Umgekehrt gibt es Pflanzen, die keine besonders hohe stomatäre Leitfähigkeit aufweisen, aber hohe Pflanzen mit großen Blättern darstellen, wodurch die Gesamttranspiration im Bestand dennoch hoch ist.

Bei der Anwendung der Porometermethode zur Schätzung der Einzelblatt-Transpirationsraten zeigen die Versuchsergebnisse, dass die Einzelblatt-Transpirationsraten der Pflanzen typischerweise mit dem Bodenwassergehalt abnehmen, da an jedem Versuchstag nur einmal vor den Messungen eine gesättigte Bewässerung durchgeführt wurde. Natürlich wird die Einzelblatt-Transpirationsrate durch das Zusammenspiel interner Faktoren (Signale der Nebenzellen, Stomatendichte, Änderungen des Blatt-Wasserpotenzials usw.) und externer Faktoren (Lichtintensität, Kohlendioxid-Konzentration, Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur usw.) verändert, und es sind dringend weitere Untersuchungen dahingehend erforderlich, inwieweit diese Faktoren die Einzelblatt-Transpirationsrate beeinflussen.

Auf der Grundlage des Wassermassenverlustes durch Evapotranspiration, der mit der „Flächen-Gewichts“-Methode gemessen wurde, können der Temperaturabfall an die umgebenden 10 m³ Luft und damit die Wärmeaufnahme durch die 22 Pflanzen abgeschätzt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Verteilung der Temperaturabsenkungseffekte und der Evapotranspirationsraten vom Bestand über die Pflanzen hinweg konsistent ist. Die durchschnittliche Temperaturabsenkung, die durch die

Evapotranspiration der 22 Pflanzen verursacht wurde, betrug 3,1 K (Wan 2024). Es sind jedoch weitere Versuche und Messungen erforderlich, um den Kühleffekt der Transpiration verschiedener Pflanzen an Gebäuden mit tatsächlichen grünen Fassaden zu untersuchen.

6.3.2. Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Feinstaubreduktion und NO_x Aufnahme durch Pflanzen.

Im Zuge der Anpassung und Optimierung des Messverfahrens konnten 20 Pflanzenarten bzw. -sorten auf Ihre Leistung hinsichtlich der Feinstaubreduktion gemessen werden (Tabelle 2). Die Auswertung nimmt ebenfalls Bezug zu Blattflächenwerten. Für das NO_x-Reduktionsvermögen wurde das Verfahren ebenfalls angepasst. Da beim bestehenden Messkonzept ein Luftkörper von einem Kubikmeter Größe abschlossen wird, eignet sich das System grundsätzlich auch sehr gut für eine Untersuchung der Abnahme von Schadgasen. Das dafür vorgesehene Messgerät fiel wegen eines technischen Defekts aus, sodass die Kontrollmessungen zu NO_x nicht mehr innerhalb der Laufzeit des Projektes realisiert werden konnten.

Die gemessenen Werte zur Feinstaubreduktion, aufgelöst in die beiden Feinstaubklassen (particulate matter PM) PM10 (Partikel < 10 µm) und PM2.5 (Partikel < 2,5 µm) sind in Tabelle 2 dargestellt. Zusätzlich sind Werte zu Messungen der Feinstaubreduktion der bei den Versuchen verwendeten Pflanzen von anderen Arbeiten wurden eingetragen, für *Actinidia arguta*; *Hedera helix*; *Humulus lupulus*; *Ipomoea batatas* (gemessen am Kultivar 'Sweet Caroline Purple'); *Parthenocissus quinquefolia* und *Parthenocissus tricuspidata* (Flohr 2010; Sternberg et al. 2010; Chen et al. 2016; Popek et al. 2018; Jeong et al. 2021; Lee et al. 2021), allerdings sind die verwendeten Methodiken jeweils stark unterschiedlich, sodass kein direkter Vergleich möglich ist. Bei *Parthenocissus quinquefolia* hat sich eine vergleichsweise hohe Bandbreite der ermittelten Messwerte ergeben (PM10: 2,35-13,64; PM2.5: 0,11-2,08). Allerdings zeigen auch andere Messungen von Dritten große Abweichungen in den Werten (Sternberg et al. 2020). Eine Überprüfung des Setups hat keine Mängel ergeben. Weitere Messungen und Verfeinerungen am bestehenden Equipment für eine bessere Vergleichsbasis sind wünschenswert.

Tabelle 2: Liste der im Rahmen der Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Feinstaubreduktion herangezogenen Pflanzen, bei den Messungen zur Feinstaubreduktion durch Kletterpflanzen, ermittelte Werte, unterschieden in die Feinstaubpartikelklassen (particulate matter PM) PM10 und PM2.5, sowie Vergleichswerte aus der Literatur.

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletterform	Feinstaubaufnahme [µg·cm ⁻² in 40 min]	Vergleichswerte aus der Literatur
<i>Actinidia arguta</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq. 'Issai'	Scharfzahniger Strahlengriffel 'Issai'	Schlinger	PM10: 1,79-2,07 PM2.5: 0,59-0,63	Labor: PM10: 154,7 µg/cm ² , 2 h, PM2.5: 120,8 µg/cm ² , 2 h
<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne.	Fingerblättrige Akebie	Schlinger	PM10: 2,46-4,83 PM2.5: 0,86-1,71	- **)
<i>Aristolochia macrophylla</i> Lam.	Amerikanische Pfeifenwinde	Schlinger	PM10: 3,99 PM2.5: 0,16-0,30	- **)
<i>Clematis montana</i> Buch.-Ham. ex DC. 'Mayleen'	Bergwaldrebe 'Mayleen'	Ranker	PM10: 1,40-4,25 PM2.5: 0,94-0,96	- **)

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletterform	Feinstaubaufnahme [$\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ in 40 min]	Vergleichswerte aus der Literatur
<i>Clematis</i> x 'Multi Blue'	Clematis Kreuzung 'Multi Blue'	Ranker	PM10: 4,81 PM2.5: 0,20-1,17	- **)
<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz. 'Blondy'	Kriechspindel 'Blondy'	Selbstkletterer	PM10: 0,76 PM2.5: 0,36	- **)
<i>Fallopia aubertii</i> (L.Henry) Holub	Schlingknöterich	Schlinger	PM10: 3,45-6,52 PM2.5: 0,85-1,53	- **)
<i>Hedera helix</i> L. 'Goldheart'	Gelbbunter Efeu 'Goldheart'	Selbstkletterer	PM10: 6,96-8,55 PM2.5: 1,32-1,48	<i>Hedera helix</i> (ohne Sortenangabe): Freiland: P_{Mges} : 12,3-20,1 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, PM10: 2,3-3,2 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, PM2.5: 0,6-0,8 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 60-29975 Partikel mm^{-2} , Labor: PM10: 0,35 mg cm^{-2} , 2 min, PM2.5: 0,26 mg cm^{-2} , 2 min
<i>Hedera hibernica</i> Poit. (<i>Hedera helix</i> L. 'Hibernica')	Irischer Efeu	Selbstkletterer	PM10: -*) PM2.5: 0,23	- **)
<i>Humulus lupulus</i> L. 'Hops'	Hopfen 'Hops'	Rankende Staude	PM10: 2,04-14,52 PM2.5: 0,24-1,93	<i>Humulus lupulus</i> (ohne Sortenangabe): Labor: PM10: 0,28 mg cm^{-2} , 2 min, PM2.5: 0,27 mg cm^{-2} , 2 min
<i>Humulus lupulus</i> L. 'Nordbräu'	Hopfen 'Nordbräu'	Rankende Staude	PM10: -*) PM2.5: 0,40	<i>Humulus lupulus</i> (ohne Sortenangabe): Labor: PM10: 0,28 mg cm^{-2} , 2 min, PM2.5: 0,27 mg cm^{-2} , 2 min
<i>Hydrangea petiolaris</i> Siebold & Zucc. (<i>Hydrangea anomala</i>)	Kletter-Hortensie	Selbstkletterer	PM10: -*) PM2.5: - *	- **)

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletterform	Feinstaubaufnahme [$\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ in 40 min]	Vergleichswerte aus der Literatur
ssp. <i>petiolaris</i> [Siebold & Zucc.] E.M. McClint.)				
<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Süßkartoffel	Einziehende Schlinger	PM10: 0,77 PM2.5: -*)	Labor: 64,3 $\mu\text{g cm}^{-2}$, 5d (gemessen am Kultivar 'Sweet Caroline Purple')
<i>Jasminum nudiflorum</i> Lindl.	Winter-Jasmin	Spreizklimmer	PM10: - * PM2.5: -*)	- **)
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. (<i>Lonicera henryi</i> Hemsl.)	Immergrünes Geißblatt	Schlinger	PM10: 1,84-3,07 PM2.5: 0,38-0,52	- **)
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. 'Copper Beauty' (<i>Lonicera henryi</i> Hemsl. 'Copper Beauty')	Immergrünes Geißblatt 'Copper Beauty'	Schlinger	PM10: 2,73-3,19 PM2.5: 0,58-0,75	- **)
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	Selbstkletternde Jungfernrebe	Ranker, Selbstkletterer	PM10: 2,35-13,64 PM2.5: 0,11-2,08	Freiland: PM2.5: <25 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, PM10: <30 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, PMges: <50 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, Labor: PM10: 0,26 mg cm^{-2} , 2 min, PM2.5: 0,26 mg cm^{-2} , 2 min
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Green Spring'	Dreispitziige Jungfernrebe 'Green Spring'	Selbstkletterer	PM10: 1,61 PM2.5: 0,59-0,62	<i>Perthenocissus tricuspidata</i> (ohne Sortenangabe): Freiland: PM2.5: <10 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, PM10: <10 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, PMges: <50 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, Labor: PM10: 0,13 mg cm^{-2} , 2 min, 113,6 $\mu\text{g cm}^{-2}$, 2 h, PM2.5: 0,12 mg cm^{-2} , 2 min, 98,5 $\mu\text{g cm}^{-2}$, 2 h

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletterform	Feinstaubaufnahme [$\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ in 40 min]	Vergleichswerte aus der Literatur
<i>Rosa</i> x 'Guirlande d'Amour'	Kletter-Rose 'Guirlande d'Amour'	Spreizkletterer	PM10: 0,62 PM2.5: 0,42-0,93	- ^{*)}
<i>Wisteria sinensis</i> (Sims) DC. 'Prolific'	Chinesischer Blauregen 'Prolific'	Schlinger	PM10: 2,52-7,73 PM2.5: 0,54-1,23	- ^{**)}

-^{*)} Messung fehlgeschlagen

-^{**)} Kein Vergleichswert in der Literatur identifiziert.

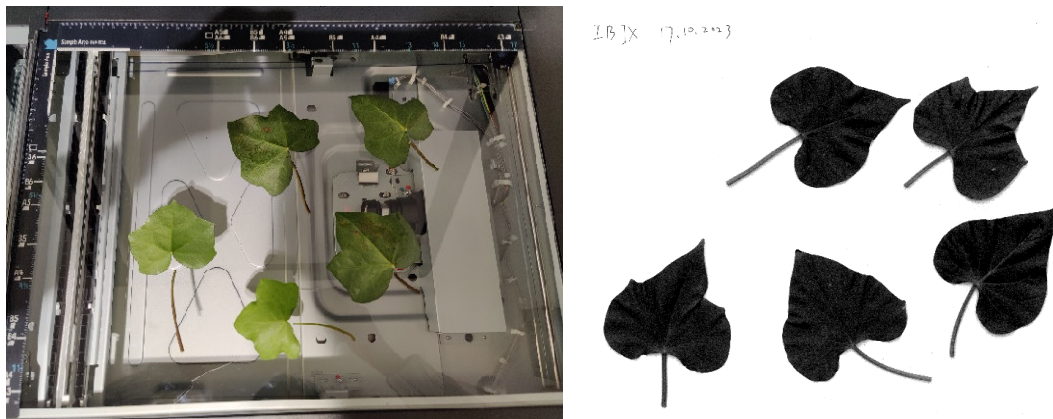
Weiterhin wurde ein mathematisches Modell zur Approximation des gemessenen Konzentrationsverlaufs angewendet, wodurch die Feinstaubfilterperformance durch die Funktionsparameter (Partikelkonzentration pro Zeit) ausgedrückt werden kann. Das mathematische Modell ermöglicht es, die Messwerte über die Messdauer hinaus zu extrapolieren, wodurch ein Literaturvergleich zur Evaluierung der Messwerte erleichtert wird. Es kann gezeigt werden, dass das weiterentwickelte Messkonzept mit der Literatur (vergl Kwon et al. 2020; Jeong et al. 2021) vergleichbare Ergebnisse liefert und somit zur weiteren Messung zur Feinstaubaufnahme durch Pflanzen anwendbar ist (Besinger 2024).

6.3.3. Ermittlung der Blattflächen

Die Ermittlung der Blattflächen von exemplarischen Individuen der gemessenen Pflanzen wurde an 22 verschiedene Pflanzenarten bzw. Sorten mittels der „Flächen-Gewichts“-Methode (Pandey/Singh 2011) ermittelt (Tabelle 3). Abbildung 14 veranschaulicht das Verfahren (Wan 2024). Darüber hinaus wurde der Universität Innsbruck bei ausgewählten Pflanzen eine Blattflächenbestimmung mittels eines speziellen Scanners (EPSON PERFECTION V700 PHOTO, Epson Deutschland GmbH) mit einer speziellen Auswertesoftware durchgeführt. Dabei werden die Blätter der zu untersuchenden Pflanze ebenfalls abgenommen, nicht überlappend auf den Scanner gelegt und eingescannt. Anschließend errechnet das Gerät automatisch die Blattfläche, wodurch sich der zeitliche Aufwand im Vergleich zur „Flächen-Gewichts“-Methode deutlich reduziert. Da der Scanner mit Auswertesoftware erst im November 2023 eingesetzt werden konnte war es nur möglich zwei Pflanzen zu messen, *Hedera hibernica* (Scanner: 0,109 m², bei „Flächen-Gewichts“-Methode: 0,119 m²) und *Lonicery acuminata* (Scanner: 0,295 m², bei „Flächen-Gewichts“-Methode: 0,307 m²). Diese Messungen haben das Vorgehen bei der Blatt-Gewichts-Methode bestätigt, da die ermittelten Werte gut übereinstimmen.

Abbildung 14

Links Scannen von Blättern von *Hedera hibernica* mittels eines Kopierers und rechts ein kopiertes Ergebnis für einen Teil der Blätter einer Pflanze von *Ipomoea batatas*.



Da die verwendeten Pflanzen einen unterschiedlichen Habitus aufweisen und auch unterschiedlich wüchsig sind, ergaben sich entsprechend auch größere Unterschiede in den ermittelten Blattflächen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Liste der für die Blattflächenbestimmungen herangezogenen Pflanzen sowie die bei den Blattflächenbestimmungen, ermittelte Werte mit der „Flächen-Gewichts“-Methode. Die ermittelten Blattflächen geben das geometrische Mittel zweier repräsentativer Pflanzenexemplare der jeweiligen Art/Sorte wieder, die bei den Messungen zur Transpiration und zur Feinstaubreduktion verwendet wurden.

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletter Form	Blattfläche [m ²]
<i>Actinidia arguta</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq. 'Issai'	Scharfzahniger Strahlengriffel 'Issai'	Schlinger	0,173
<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne.	Fingerblättrige Akebie	Schlinger	0,065
<i>Aristolochia macrophylla</i> Lam.	Amerikanische Pfeifenwinde	Schlinger	0,633
<i>Campsis x tagliabuana</i> (Vis.) C.Massal. 'Madame Galen'	Trompetenblume 'Madame Galen'	Selbstkletterer, Schlinger	0,078
<i>Clematis montana</i> Buch.-Ham. ex DC. 'Mayleen'	Bergwaldrebe 'Mayleen'	Ranker	0,122
<i>Clematis</i> x 'Multi Blue'	Clematis Kreuzung 'Multi Blue'	Ranker	0,107
<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz. 'Blondy'	Kriechspindel 'Blondy'	Selbstkletterer	0,228
<i>Fallopia aubertii</i> (L.Henry) Holub	Schlingknöterich	Schlinger	0,068
<i>Hedera helix</i> L. 'Goldheart'	Gelbbunter Efeu 'Goldheart'	Selbstkletterer	0,055
<i>Hedera hibernica</i> Poit. (Hedera helix L. 'Hibernica')	Irischer Efeu	Selbstkletterer	0,119

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletter Form	Blattfläche [m ²]
<i>Humulus lupulus</i> L. 'Hops'	Hopfen 'Hops'	Rankende Staude	0,114
<i>Humulus lupulus</i> L. 'Nordbräu'	Hopfen 'Nordbräu'	Rankende Staude	0,079
<i>Hydrangea petiolaris</i> Siebold & Zucc. (<i>Hydrangea anomala</i> ssp. <i>petiolaris</i> [Siebold & Zucc.] E.M. McClint.)	Kletter-Hortensie	Selbstkletterer	0,260
<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Süßkartoffel	Einziehende Schlinger	0,238
<i>Jasminum nudiflorum</i> Lindl.	Winter-Jasmin	Spreizklimmer	0,016
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. (<i>Lonicera henryi</i> Hemsl.)	Immergrünes Geißblatt	Schlinger	0,307
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. 'Copper Beauty' (<i>Lonicera henryi</i> Hemsl. 'Copper Beauty')	Immergrünes Geißblatt 'Copper Beauty'	Schlinger	0,150
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	Selbstkletternde Jungfernrebe	Ranker, Selbstkletterer	0,042
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Green Spring'	Dreispitzige Jungfernrebe 'Green Spring'	Selbstkletterer	0,117
<i>Rosa</i> x 'Guirlande d'Amour'	Kletter-Rose 'Guirlande d'Amour'	Spreizkletterer	0,191
<i>Vitis vinifera</i> L. 'Lakemont II'	Zuchtweinrebe 'Lakemont II'	Ranker	0,127
<i>Wisteria sinensis</i> (Sims) DC. 'Prolific'	Chinesischer Blauregen 'Prolific'	Schlinger	0,181

Mithilfe der gemessenen Blattflächen kann in der Folge auch der jeweilige Blattflächenindex (LAI) bestimmt werden. Da in den Versuchen die Pflanzen jeweils in speziellen Pflanzgefäßen als Einzelpflanzen ohne weitere Vegetation gezogen wurden, können deren Blattflächen auf die Öffnungsfläche der Pflanzgefäße bezogen werden. Allerdings können bei der Verwendung dieser Werte bei Extrapolationen auf Pflanzenbestände Abweichungen entstehen, wenn die Pflanzen über die Projektionssäule des Pflanzgefäßes hinausreichen. Für eine spezifischere Betrachtung wäre die projizierte Grundfläche der Gesamtpflanze für eine noch genauere Ermittlung des LAI notwendig.

6.3.4. Messungen zum Gaswechsel: CO₂/O₂/Photosyntheseleistung

Messungen zu dieser Fragestellung wurden in Zusammenarbeit mit der LMU durchgeführt. Insgesamt konnten für die Bestimmung der Photosyntheseleistung ($A_{\max}$) 24 unterschiedliche Pflanzen (Arten oder Sorten) herangezogen werden (Tabelle 4).

Die ermittelten Werte zur Photosyntheseleistung $A_{\max}$ sind in Tabelle 4 dargestellt (LMU/IBP 2023), sowie Vergleichswerte aus der Literatur für *Actinidia arguta*; *Akebia quinata*; *Hedera helix*; *Hedera hibernica*; *Humulus lupulus*; *Ipomoea batatas* und *Parthenocissus tricuspidata* (Bauer 1978; Bauer/Bauer 1980; Carter/Teramura 1988; Castellanos 1991; Teramura/Gold/Forseth 1991; Haimerong/Kubota 2003; Kenny 2005; Hniličková et al. 2009; Pokorný et al. 2011; Hejnák/Hniličková/Hnilička 2015; Tomsit-Ireland 2018; Chung 2021). Weitere Werte zur Photosyntheseleistung konnten von der Datenbank TRY plant trait database akquiriert werden (Kattge et al. 2020).

Tabelle 4: Für Photosynthesemessungen herangezogene Pflanzen, gemessene Werte für die Photosyntheseleistung ($A_{\max}$), sowie Vergleichswerte aus der Literatur.

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletterform	Maximal-Photosynthese $A_{\max}$ [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	Vergleichswerte aus der Literatur [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]
<i>Actinidia arguta</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. ex Miq. 'Issai'	Scharfzahniger Strahlengriffel 'Issai'	Schlinger	5,43	12,6
<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne.	Fingerblättrige Akebie	Schlinger	8,59	15,7
<i>Aristolochia macrophylla</i> Lam.	Amerikanische Pfeifenwinde	Schlinger	2,74	– **)
<i>Campsis x tagliabuana</i> (Vis.) C.Massal. 'Madame Galen'	Trompetenblume 'Madame Galen'	Selbstkletterer, Schlinger	5,45	– **)
<i>Clematis alpina</i> L.	Alpen-Waldrebe	Ranker	4,29	– **)
<i>Clematis montana</i> Buch.-Ham. ex DC. 'Mayleen'	Bergwaldrebe 'Mayleen'	Ranker	2,76	– **)
<i>Clematis</i> x 'Multi Blue'	Clematis Kreuzung 'Multi Blue'	Ranker	4,96	– **)
<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz. 'Blondy'	Kriechspindel 'Blondy'	Selbstkletterer	2,03	– **)
<i>Fallopia aubertii</i> (L.Henry) Holub	Schlingknöterich	Schlinger	4,84	– **)
<i>Fallopia baldschuanica</i> (Regel) Holub	Schlingenknöterich	Schlinger	14,7	– **)
<i>Hedera helix</i> L. 'Goldheart'	Gelbbunter Efeu 'Goldheart'	Selbstkletterer	13,9	<i>Hedera helix</i> (ohne Angabe der Sorte): 2,8–14,1

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletterform	Maximal-Photosynthese $A_{\max}$ [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	Vergleichswerte aus der Literatur [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]
<i>Hedera hibernica</i> Poit. (Hedera helix L. 'Hibernica')	Irischer Efeu	Selbstkletterer	8,58	7,3
<i>Humulus lupulus</i> L. 'Hops'	Hopfen 'Hops'	Rankende Staude	4,45	<i>Humulus lupulus</i> (ohne Angabe der Sorte): 4,94-16,2
<i>Hydrangea petiolaris</i> Siebold & Zucc. (<i>Hydrangea anomala</i> ssp. <i>petiolaris</i> [Siebold & Zucc.] E.M. McClint.)	Kletter-Hortensie	Selbstkletterer	0,694 *)	-**)
<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Süßkartoffel	Einziehende Schlinger	2,59	14,58
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. (<i>Lonicera henryi</i> Hemsl.)	Immergrünes Geißblatt	Schlinger	5,27	-**)
<i>Lonicera acuminata</i> Wall. 'Copper Beauty' (<i>Lonicera henryi</i> Hemsl. 'Copper Beauty')	Immergrünes Geißblatt 'Copper Beauty'	Schlinger	4,45	-**)
<i>Lonicera</i> x <i>heckrottii</i> Rehder	Geißblatt Kreuzung	Schlinger	9,09	-**)
<i>Lonicery</i> x <i>heckrottii</i> Rehder 'American Beauty'	Geißblatt Kreuzung 'American Beauty'	Schlinger	12,2	-**)
<i>Lonicera</i> x <i>heckrottii</i> Rehder 'Goldflame'	Geißblatt Kreuzung 'Goldflame'	Schlinger	15,1	-**)
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Green Spring'	Dreispitzige Jungfernrebe 'Green Spring'	Selbstkletterer	4,35	-**)
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Sieb. & Zucc.) Planch. 'Veitchii'	Dreispitzige Jungfernrebe 'Veitchii'	Selbstkletterer	3,52	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (ohne Angabe der Sorte): 7,3-16,74
<i>Rosa</i> x 'Guirlande d'Amour'	Kletter-Rose 'Guirlande d'Amour'	Spreizkletterer	7,61	-**)

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Kletterform	Maximal-Photosynthese $A_{\max}$ [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]	Vergleichswerte aus der Literatur [$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]
<i>Wisteria sinensis</i> (Sims) DC. 'Prolific'	Chinesischer Blauregen 'Prolific'	Schlänger	5,01	- **)

-*) Blätter bereits seneszent - Herbst

-**) Kein Vergleichswert in der Literatur vorhanden.

Die ermittelten Messwerte liegen Großteils im Schwankungsbereich, der für die Photosyntheseleistung zu erwarten ist. Da die Messungen erst im Herbst ausgeführt werden konnten, ist bei *Hydrangea petiolaris* bereits die Blattseneszenz eingetreten, das erklärt die abweichenden Werte. Weitere Messungen sind wünschenswert.

6.4. Öffentlichkeitsarbeit

Während der Projektlaufzeit ist es gelungen das Projekt in zahlreichen Fachmedien zu präsentieren (siehe auch Anhang).

- In der Zeitschrift GebäudeGrün 3/2021 wurde eine Pressemitteilung zum Projekt geschaltet (Siehe Anlagen 1) sowie beim aktualisierten Überblick zur Forschung und Lehre zur Gebäudebegrünung berücksichtigt (Gohlke 2021).
- Im BuGG-Marktreport 2021 wurde das Projekt im Rahmen des Kapitels „4.5 Forschung und Lehre“ kurz vorgestellt (Ausschnitt siehe Anhang 2) und in die Tabelle der „Aktuelle Forschungsvorhaben zur Gebäudebegrünung“ mit aufgenommen (siehe Link Anlage 2).
- Vorstellung des Projektes, neben andere Aktivitäten im Zusammenhang mit Gebäudebegrünung, im Rahmen des Fraunhofer-IBP Formates Meet (y)our Experts am 10. Juni 2021.
- Anlässlich der 19. Projekttag der Bauforschung, 22.- 24. März 2022, wurde das Projekt mittels eines kurzen Filmes und einer Präsentation den Teilnehmenden nahegebracht.
- Beim BuGG-Tag der Forschung und Lehre 2022 am 10.05.22 in Stuttgart wurde das Projekt präsentiert. An dieser Veranstaltung, auf der insgesamt 10 Projekte vorgestellt wurden, nahmen insgesamt 73 Personen aus verschiedenen Bereichen der Forschung und Lehre teil. Durch die Teilnahme an der Veranstaltung konnten wertvolle Kontakte hergestellt werden. [LINK](#) zum BuGG-Tag der Forschung und Lehre 2022.
- Im BuGG-Marktreport 2022, der am 06.10.2022 erschien, wurde das Projekt wieder im Rahmen des Kapitels „4.5 Forschung und Lehre“ in der Tabelle der „Aktuelle Forschungsvorhaben zur Gebäudebegrünung“ mit aufgeführt (siehe Anlage 3).
- Teilnahme an den 24. Projekttagen der Bauforschung am 13./14. Juni 2023 in Bonn
- Vorstellung des Projekts (Posterpräsentation) auf dem Weltkongress GebäudeGrün 2023 in Berlin (siehe Anlage 4)
- Durch eine Pressemitteilung vom 27. Februar 2025 (www.ibp.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/pi_2025-02_biodiversitaet-foerdernde-gebaeudebegrueung.html) wurde die Freischaltung der Datenbank angekündigt.

Mit der kostenlosen Bereitstellung der Datenbank sind die Ergebnisse dieses F&E-Projekts für ausschreibende Stellen, Planende und Ausführende verfügbar.

6.5. Bewertung/Diskussion/Zielerreichung – Einordnung in den wissenschaftlichen Kontext inkl. möglicherweise bekannt gewordenen Ergebnissen von dritter Seite

Ergebnisse Dritter, die das Projekt gefährden könnten, wurden nicht bekannt. Im Gegenteil, das Projekt profitierte auch durch neue wissenschaftliche Ergebnisse zu Begrünungspflanzen, die während der Projektlaufzeit von Dritten erarbeitet wurden (siehe Literaturliste) bzw. von anderen Datenbanken.

Dadurch das das Hauptaugenmerk der vorliegenden Datenbank auf Pflanzenattributen liegt, insbesondere auf Pflanzeigenschaften, die mit den Ökosystemleistungen von Vegetation, ist das Vorhaben in seiner Konzeption einzigartig. Während der Projektlaufzeit wurden den Bearbeitern kein anderes Datenbankprojekt bekannt, dass sich mit derselben Fragestellung befasst und somit in Konkurrenz treten würde. Den Verfassern bekannte bestehende Datenbanken die (auch) Pflanzenattribute enthalten, haben alle einen anderen Fokus und bilden Attribute, die in Zusammenhang mit Ökosystemleistungen stehen, gar nicht oder oft ungenügend ab. Teilweise sind bestehende Datenbanken zu Pflanzeigenschaften auch nur gegen Gebühr zugänglich. Die neue Datenbank bilden zu vielen bestehenden Datenbanken eine synergistische Ergänzung. Dadurch, dass bei den eingetragenen Werten bzw. Angaben vielfach auf Originalliteratur zurückgegriffen wurde, entsteht auch eine besondere Wertigkeit der vorliegenden Datensammlung.

6.6. Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Die neu geschaffene Datenbank zu den Attributen von Begrünungspflanzen bietet sehr unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten. Zum einen besteht die Möglichkeit sich die Leistungen von Pflanzen zu einem bestimmten Attribut sowie die unterschiedlichen Arten und Sorten, die zu einem Attribut vergleichbare Eigenschaften besitzen anzeigen zu lassen. Zum anderen können Planer und Ausführende nun viel detaillierter als früher die Leistungen bestimmter Pflanzen vergleichen und für Ihre Simulationen und Abschätzungen verwenden. Dieser erste erarbeitete Stand – es handelt sich um die bisher ausführlichste Datenbank im Kontext – bietet auch die Möglichkeit zur Erweiterung. Bisher sind vor allem Pflanzen für die bodengebundene Vertikalbegrünung und die extensive Dachbegrünung erfasst. Bei einigen Attributen bestehen nach wie vor Lücken, weitere Attribute und weitere Pflanzenformen können aufgenommen werden. Insgesamt besteht eine breite wissenschaftliche Anschlussfähigkeit.

Eine Basis für die Datenbank, insbesondere für die aufgenommenen Attribute mit Bezug zu Ökosystemleistungen bilden physiologische Messungen. Bei Messungen zur Pflanzentranspiration, Evapotranspiration, Blattflächenbestimmung und zur Photosyntheseleistung konnte auf erprobte Standardmethoden zurückgegriffen werden. Die neuen Messdaten konnten durch Literaturvergleich als valide bestätigt werden und ergänzen somit den Datenbestand. Leider bestehen nach wie vor Lücken im Datenbestand. Dazu sind weitere systematische Messungen notwendig. Wünschenswert sind Weiterentwicklungen, die es gestatten entweder schneller oder größere Pflanzenkollektive zu messen und damit eine verbesserte statistische Sicherheit zu erreichen.

Die neuen Feinstaubmessungen sind noch statistisch wenig gesichert anzusehen, da der verwendete Versuchsaufbau noch Fragen offenlässt (z.B. Position des Lüfters im Kubus; Materialauswahl). Zum einen ist es wichtig eine Basis zu schaffen um die Eigenschaften von Begrünungspflanzen hinsichtlich Schadstoffreduktion vergleichend erfassen zu können um diese entsprechend ihrem Leistungsvermögen gezielt auswählen zu können. In dieser Hinsicht kann das im Rahmen des Projektes Attribute weiterentwickelte Verfahren einen nützlichen Ansatz liefern, sollte aber noch weiter verbessert werden. Schließlich ist aber ein weiteres Verfahren bzw. ein abgeleitetes Verfahren notwendig, das es erlaubt im Praxisansatz die konkrete Schadstoffreduktion von Begrünungspflanzen im Einsatz mit Bezug zur Flächengröße oder dem Rauminhalt zu erfassen.

Die neue Datenbank bietet eine umfassende Zusammenschau zahlreicher verschiedener Pflanzenattribute. Durch die penible Quellenangabe besteht vollständige Nachverfolgbarkeit und es

können auch einfach Übersichtsarbeiten identifiziert werden, die ggf. weiterführende Angaben enthalten. Somit bietet die erarbeitete Datenbank eine wertvolle Grundlage für verschiedenste wissenschaftliche und praktische Arbeiten auf dem Gebiet der Gebäudebegrünung, mit dem Fokus auf bodengebundene Fassadenbegrünung und extensive Dachbegrünung. Durch entsprechende Erweiterung des Datenbestandes kann der Fokus auch auf weitere Begrünungsformen ausgedehnt werden. Bestehende Simulationssoftware und Stadtklimamodelle, die eingesetzt werden, um Begrünungssysteme und Begrünungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen abzuschätzen, berücksichtigen oft nur generalisierte Klassen von (Begrünungs-)Vegetation (vgl. Maronga et al. 2020). Aktuell werden viele dieser Modelle weiterentwickelt und verfeinert, wie z.B. im FONA (Forschung für Nachhaltigkeit) - Projekt ProPolis mit IBP-Beteiligung (ein mit dem FONA Projekt PALM4U – Parallelized Large-Eddy Simulation Model for Urban Applications - assoziiertes Vorhaben, ProPolis 2024). Die neue Datenbank bietet eine Grundlage Simulationen in Zukunft differenzierter und genauer durchzuführen und kann hier Input liefern. Das Stadtklimamodell PALM-4U ermöglicht für Städte bis zu einer Größe von Berlin atmosphärische Prozesse gebäudeauflösend zu simulieren (Burmeister et al. 2023). Teil des sich noch in der Entwicklung befindlichen Stadtklimamodells ist auch eine Abbildung der Vegetation, sodass die neue Datenbank dazu verfeinerte Grundlagen liefern kann, um die klimagerechte Stadtgestaltung zu verbessern.

7. Fazit und Ausblick

Im durchgeführten Vorhaben wurden die wesentlichen Ziele erreicht und es liegt nach Abschluss des Projektes eine Datenbank vor, die von allen Interessierten genutzt werden kann. In diesem ersten Aufschlag wurden eine Vielzahl von Pflanzenattributen, die wichtig für die Planung und Erhaltung von Begrünungsmaßnahmen sind, gebündelt. Insbesondere für die bodengebundene Vertikalbegrünung wurden neue Daten gemessen. Bis dato gibt es keine Datensammlung für Pflanzen, die in der Begrünung von Gebäuden eingesetzt werden, die im Umfang (Arten-/Sortenvielfalt, Anzahl Attribute, Einträge) unserer Datenbank gleichkommt. Gleichzeitig wird aber auch klar, dass nach wie vor Lücken im Datenbestand bestehen bzw., dass es Unsicherheiten aufgrund divergierender Angaben in der Literatur gibt. In einem nächsten Schritt wäre es wünschenswert die Datenbank/Attribute Sammlung auf alle Begrünungspflanzen, die in Deutschland (Mitteleuropa) eingesetzt werden können, zu erweitern. Das Literaturstudium und auch die Messungen fortzusetzen, sowie Unklarheiten bei divergierenden Angaben in der Literatur soweit möglich zu beseitigen sind weitere Ziele. Weitere Quellen sollten geprüft und eingearbeitet werden. Darüber hinaus wurde auch zunehmend klar, dass es oft nicht genügt für die Pflanzen selbst entsprechende Werte bezüglich der Ökosystemleistungen zu dokumentieren, sondern, dass es auch wünschenswert wäre, dazu angepasste Werkzeuge zur Auswertung der gesammelten Daten und von Pflanzenkombinationen zur Verfügung zu haben (z. B. Berechnungsverfahren oder Anleitungen). Dazu sollten gegebenenfalls auch entsprechende Visualisierungs- und Auswerte-Tools entwickelt werden. Inwieweit der Einsatz von maschinellem Lernen oder KI-Tools in diesem Zusammenhang zielführend ist, wäre zu prüfen.

Die geplanten Arbeiten zu Evapotranspiration & Transpiration, Photosynthesemessungen, Anpassung eines Messkonzepts und Messungen zur Luftschadstoffreduktion und Blattflächenbestimmungen konnten erfolgreich umgesetzt werden. Jeweils für mindestens 20 Pflanzen wurden Messungen realisiert und entsprechende Eintragungen in die neue Datenbank vorgenommen. Die Datenbank wurde erfolgreich etabliert und ist nun über einen Link (<https://imcom2.hoki.ibp.fraunhofer.de/attribute/>) zugänglich.

Hervorzuheben sind noch folgende Ergänzungsbedürfnisse: Zu den Flächenlasten von Kletterpflanzen und den Nährstoffbedürfnissen von Begrünungspflanzen allgemein sind noch weitere Recherchen und Messungen notwendig, auch zu den zoologischen Attributen. Bei den Attributen mit Bezug zu Ökosystemleistungen konnte zwar erfolgreich Messungen durchgeführt werden, hinsichtlich eines Umfanges im Arten-/Sortenbestand von ca. 1500 Pflanzen ist ein Messumfang von etwa 20 verschiedenen Pflanzen eher ein Tropfen auf den heißen Stein. Daher erfolgte eine Konzentration auf wichtige und häufig verwendete Kletterpflanzen, bei den physiologischen Messungen. Dennoch sind zahlreiche weitere Messungen zu Photosyntheseleistung, Blatttranspiration und Schadstoffbindevermögen wünschenswert. Um eine Basis für rechnerische Abschätzungen zu bieten, wurden bei den Attributen, die in Beziehung mit den Ökosystemleistungen stehen, zunächst Maximalwerte erhoben. Die erhobenen Bandbreiten von Maximalwerten geben eine Basis für die generelle Leistungsfähigkeit von Begrünungspflanzen im Einsatz bei Gebäudebegrünungen bei optimalen Randbedingungen. Vielfach aber sind die bestimmenden Parameter von Pflanzeigenschaften im Sinne der Ökosystemleistungen Schwankungen oder Tagesgängen ausgesetzt. Das betrifft vor allem wichtige Ausgangs- bzw. Basisparameter wie Temperatur, Lichtgenuss und Wettergeschehen. Für die Zukunft wären daher zusätzlich Reaktionskurven entsprechend den variablen Umweltparametern ebenfalls wünschenswert.

Es ist zu erwarten, dass der Inhalt der Datenbank von Nutzern kommentiert und diskutiert wird. Daraus kann sich ergeben, dass es wünschenswert ist weitere Attribute aufzunehmen und zu recherchieren. Im Sinne der Aktualität sollte die Datenbank weiterhin gepflegt und neu erscheinende Literatur geprüft und eingearbeitet werden

Darüber hinaus sollten weitere Messungen zur Pflanzenattributen, die mit den Ökosystemleistungen von Vegetation in Beziehung stehen durchgeführt werden, und zwar insbesondere für Kultivare und Zierpflanzen, um die Lücken im Datenbestand in diesen Bereichen zu schließen.

Für Planende und Anwendende steht jetzt ein neues umfassendes und wertvolles Basistool zur Verfügung, das weiter ergänzt werden kann. Alle Lücken konnten bei dem großen Umfang der Matrix noch nicht geschlossen werden – hier sind noch Aufgaben für die Zukunft gegeben!

8. Mitwirkende

Autorinnen und Autoren

M. Sc. Wolff, Fiona (Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG)

Dr. Mann, Gunter (Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG)

Sylvia van Meegen (Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG, Redaktion)

Nolte, Thomas (Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP)

Dr. Hofbauer, Wolfgang Karl (Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP)

Weitere Mitwirkende

Höwener, Alina (Ludwig-Maximilians-Universität München LMU)

Dr. Messerschmid, Thibaud (Ludwig-Maximilians-Universität München LMU)

Prof. Dr. Bahn, Michael (Universität Innsbruck UIBK)

M. Sc. Tissink, Maud (Universität Innsbruck UIBK)

Moser, Rupert (Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP)

Studentische Hilfskräfte

Besinger, Leander (Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP / Technische Universität München TUM)

Wan, Jicheng (Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP / Technische Universität München TUM)

Weiß, Phillip (Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP / Technische Universität München TUM)

Projektpartner

Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG

Fachliche Betreuung

Dipl.-Ing. Verena Kluth

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn

1. Danksagung

Zunächst möchte sich das Projektteam herzlich bedanken bei den betreuenden Personen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Bonn BBSR, Frau Dipl.-Ing. Verena Kluth und Lukas Schäfer, für die unermüdliche und verständnisvolle Betreuung.

Besonderer Dank gebührt auch Dr. Thibaud Messerschmid mit Mitarbeiterin Alina Höwener (Ludwig-Maximilians-Universität München LMU) für die kostenneutrale Unterstützung des Projektes mit Photosynthesemessungen sowie Prof. Dr. Michael Bahn mit Mitarbeiterin Maud Tissink (Universität Innsbruck UIBK) für die kostenneutrale zur Verfügung Stellung eines Planimeters.

Großen Dank für motivierte und tatkräftige Mitarbeit an Fiona Wolff!

2. Literaturverzeichnis

- Askari, S.H.; De-Ville, S.; Hathway, E.A.; Stovin, V., 2021: Estimating Evapotranspiration from Commonly Occurring Urban Plant Species Using Porometry and Canopy Stomatal Conductance. *Water* 2021,13, 2262: 15 pp.
- Bartfelder, F; Köhler, M., 1987: Experimentelle Untersuchungen zur Funktion der Fassadenbegrünung. FU-Berlinforschung 3. Herausgeber: Technische Universität Berlin, Fachbereich Landschaftsentwicklung. Berlin: 1-612.
- Bauer, H., 1978: Photosynthesis of Ivy Leaves (*Hedera helix*) after Heat Stress. *Physiologia Plantarum* 44: 400-406.
- Bauer, H.; Bauer, U., 1980: Photosynthesis in leaves of the juvenile and adult phase of ivy (*Hedera helix*). *Physiologia Plantarum* 49: 366-372.
- Besinger, L.A., 2024: Weiterentwicklung eines Messkonzepts und der Auswertungsmethode zur Quantifizierung der Feinstaubaufnahme durch Pflanzen. Master Thesis. Technical University of Munich: 70 pp.
- Betzler, F., 2017: Green Density Factor (GDF) & Green Cooling Factor (GCF). In: Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (FBB): Jahrbuch Bauwerksbegrünung 2017. Saarbrücken: 24-25.
- Blanusa, T.; Vaz Monteiro, M.M.; Fantozzi, F.; Vysini, E.; Li, Y.; Cameron, R.W.F., 2013: Alternatives to *Sedum* on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'? *Building and Environment* 59: 99-106.
- Brickell, C.D.; Alexander, C.; Cubey, J.J.; David, J.C.; Hoffman, M.H.A.; Leslie, A.C.; Malécot, V.; Xiaobai, J.; et al., 2016: International code of nomenclature for cultivated plants. Ninth Edition. International Society for Horticultural Science ISHS, Leuven: 210 pp.
- Buchheister, C., 2020: Grüne Städte braucht das Land. Studie zeigt wie Gebäudebegrünungen das Stadtklima verbessern. *GebäudeGrün* 4/2020: 4-7.
- BuGG Projektgruppe 12-2021 - Bundschuh, J.; Gössner, D.; Küsters, P.; Lingen, K.; Mann, G.; Niebert, T.; Reim, M.; Richter, M.; Schenk, D.; Wolff, F., 2022: BuGG-Positionspapier „Gebäudebegrünung als Klimafolgen-anpassungsmaßnahme“. Zugriff: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Positionspapier-GebGr-Klimafolgenanpassungsmassnahme/BuGG_Positionierungspapier_U_20220126.pdf [abgerufen am: 04.10.2023]
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJ) 2010: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 10. Oktober 2016 (BGBl. I S. 2244) geändert worden ist (39. BImSchV).
- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung BMZ, o. J.: Hintergrund: Das Zeitalter der Städte. Aufgerufen am 04.10.2023. <https://www.bmz.de/de/themen/stadtentwicklung/hintergrund-18138> [].
- Burmeister, C; Mendzigall, K.; Pavlik, D.; Krüger, A.; Reinbold, A.; Schubert-Frisius, M.; Teichmann, C.; Henning, J.; Stadler, S.; Winkler, M.; Völker, V.; Weber, B.; Willen, L.; Kerschbaumer, A.; Niesel, A.; Banzhaf, S.; Jäkel, I., 2023: PALM-4U Anwendungskatalog für die kommunale Praxis. Grundlagen für die Operationalisierung von PALM-4U – Praktikabilität und Verstetigungsstrategie. Ein Produkt des ProPolis Verbundes: 139 pp.

- Caemmerer von, S.; Farquhar, G.D., 1981: Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas-exchange of leaves. *Planta* 153: 376–87.
- Carter, G.A.; Teramura, A.H., 1988: Vine photosynthesis and relationships to climbing mechanics in a forest understory. *American Journal of Botany* 75(7): 1011–1018.
- Castellanos, A., 1991: Photosynthesis and gas exchange of vines. In: Putz, F.E., Mooney, H.A. (Hrsg.): *The biology of vines*. Cambridge University Press, Cambridge: 181–204.
- Chen, L.; Liu, C.; Zou, R.; Yang, M.; Zhang, Z., 2016: Experimental examination of effectiveness of vegetation as bio-filter of particulate matters in the urban environment. *Environmental Pollution* 208: 198–208.
- Chung, P.-W., 2021: The effects of rooting volume, greywater irrigation and reduced sunlight on climbing plants for indirect green façades in urban environments. Dissertation. University of Melbourne, Melbourne: 171 pp.
- Cifre, J.; Bota, J.; Escalona, J.M.; Medrano, H.; Flexas, J., 2005: Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.). An open gate to improve water-use efficiency? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 159–170.
- Citree 2024. Gehölze für urbane Räume. Planungsdatenbank. Aufgerufen am 27.08.2024. <https://citree.de/>
- COACCH, 2018: The Economic Cost of Climate Change in Europe: Synthesis Report on State of Knowledge and Key Research Gaps. In: Watkiss, P.; Troeltzsch, J.; McGlade, K., Hrsg.: Policy brief by the COACCH – CO-designing the Assessment of Climate Change costs – project: 26 pp.
- D'Arco, M.; Blanusa, T.; Speranza, M., 2018: The influence of the gas exchange and transpiration of C3 and CAM-facultative species on the green roof's cooling performance. *Acta Horticulturae* 1215: 61–66.
- Diekmann, M., 1995: Use and improvement of Ellenberg's indicator values in deciduous forests of the Boreo-nemoral zone in Sweden. *Ecography* 18(2): 178–189.
- Diekmann, M. 2003): Species indicator values as an important tool in applied plant ecology – a review. *Basic and Applied Ecology* 4: 493–506.
- Diekmann, M.; Lawesson, J.E., 1999: Shifts in ecological behaviour of herbaceous forest species along a transect from Northern Central to North Europe. *Folia Geobotanica* 34: 127–141.
- DIN 1986-100 | 2016-12: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke – Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056. Beuth Verlag, Berlin.
- Dzierzanowski, K.; Popek, R.; Gawrońska, H.; Saebø, A.; Gawroński, S.W., 2011: Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation* 13: 1037–1046.
- Ellenberg, H., 1948: Unkrautgesellschaften als Maß für den Säuregrad, die Verdichtung und andere Eigenschaften des Ackerbodens. *Ber. Über Landtechnik* 4: 130–146.
- Ellenberg, H., 1950: Unkrautgemeinschaften als Zeiger für Klima und Boden. *Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie* 1: 1–141.
- Ellenberg, H.; Stählin, A. 1952: Wiesen und Weiden und ihre standörtliche Bewertung. *Landwirtschaftliche Pflanzensoziologie* 2: 1–143.
- Ellenberg, H.; Weber, H. E.; Düll, R.; Wirth, V.; Werner, W.; Paulissen, D., 2001: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*, 3. durchgesehene Auflage, 18. Jg. Göttingen.

- Ertsen, A.C.D.; Alkemade, J.R.M.; Wassen, M.J., 1998: Calibrating Ellenberg indicator values for moisture, acidity, nutrient availability and salinity in the Netherlands. *Plant Ecology* 135: 113-124.
- Fischer, M.A.; Oswald, K.; Adler, W., 2008: Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. 3. Aufl. Land Oberösterreich, Biologiezentrum der Oberöstr. Landesmuseen, Linz: 1392 pp.
- Flohr, S., 2010: Untersuchungen zum Fangvermögen von Mittel- und Feinstaub (PM10 und PM2.5) an ausgesuchten Pflanzenarten unter Berücksichtigung der morphologischen Beschaffenheit der Blatt und Achsenoberflächen und der Einwirkung von Staubaufgaben auf die Lichtreaktion der Photosynthese. Dissertation, Universität Duisburg-Essen.
- Flohr, S.; Pfan, H., 2007: Grundlagen der Staubfilterung durch Vegetation. In: Endlicher, W.; Gorbachevskaya, O.; Kappis, C.; Langner, M. (Hrsg.): Tagungsband zum Workshop über den wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen am 1. Juni 2007 in Berlin/Adlershof. *Berliner Geographische Arbeiten* 109: 27-32.
- Galet, P., 2015: Dictionnaire Encyclopédique des Cépages et de leur Synonymes Édition Libres et Solidaire, Paris.
- Genty, B.; Briantais, J.M.; Baker, N.R., 1989: The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim Biophys Acta* 990: 87-92.
- Gerosa, G.; Mereu, S.; Finco, A.; Marzuoli, R., 2012: Stomatal Conductance Modelling to Estimate the Evapotranspiration of natural and Agricultural Ecosystems. In: Irmak, A., Hrsg.: *Evapotranspiration – Remote Sensing and Modeling*. *IntchOpen*: 403-420.
- Gohlke, R., 2021: Deutsche Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Überblick zur Gebäudebegrünung in Forschung und Lehre. *GebäudeGrün* 3/2021: 18-23.
- Gorbachevskaya, O.; Herfort, S., 2012: Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. Herausgeber: Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e. V. (FBB), Saarbrücken.
- Gorbachevskaya, O.; Schreiter, H.; Kappis, C., 2007: Wissenschaftlicher Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential von Pflanzen (qualitativ und quantitativ) – Ergebnisse der Literaturstudie. In: Endlicher, W.; Gorbachevskaya, O.; Kappis, C.; Langner, M. (Hrsg.): Tagungsband zum Workshop über den wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen am 1. Juni 2007 in Berlin/Adlershof. *Berliner Geographische Arbeiten* 109: 71-81.
- Grant, G., 2006: Extensive Green Roofs in London. *Urban Habitats* 4(1): 51-65.
- Grundström, M.; Pleijel, H., 2014: Limited effect of urban tree vegetation on NO₂ and O₃ concentrations near a traffic route. *Environmental Pollution* 189: 73-76.
- Gunkel, R., 2004: Fassadenbegrünung: Kletterpflanzen und Klettergerüste. Ulmer, Stuttgart: 159 pp.
- Hägele, F., 2019: Schallabsorption begrünter Innen- und Außenoberflächen. Bachelorarbeit. Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, Valley.
- Haimann, R., 2017: Jetzt kommt die schlaue Häuserwand. Neue Technik schützt die Fassade, filtert verschmutzte Luft und liefert auch noch Lebensmittel. *Die Welt* Ausgabe vom 11.11.2017: 45.
- Haimerong; Kubota, F., 2003: The effects of drought stress and leaf ageing on leaf photosynthesis and electron transport in photosystem 2 in sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) cultivars. *Photosynthetica* 41(2): 253-258.
- Hansen, R.; Stahl, F.; Duthweiler, S. 2016: Die Stauden und ihre Lebensbereiche. Ulmer, Stuttgart: 292 pp.

- Haynes, A.; Popek, R.; Boles, M.; Paton-Walsh, C.; Robinson, S.A., 2019: Roadside Moss Turfs in South East Australia Capture More Particulate Matter Along an Urban Gradient than a Common Native Tree Species. *Atmosphere* 2019, 10, 224: 16 pp.
- Heinrich, J.; Schwarze, P.E.; Stilianakis, N.; Momas, I.; Medina, S.; Totlandsdal, A.I.; Bree von, L.; Kuna-Dibbert, B.; Krzyzanowski, M., 2005: Studies on health effects of transport-related air pollution. In: Krzyzanowski, M.; Kuna-Dibbert, B.; Schneider, J. (Hrsg.): Health effects of transport-related air pollution. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen: 125-183.
- Heinze, W.; Schreiber, D., 1984: Eine neue Kartierung der Winterhärtezonen für Gehölze in Mitteleuropa. *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft* 75: 11-56.
- Hejnák, V.; Hniličková, H.; Hnilička, F., 2015: Physiological response of juvenile hop plants to water deficit. *Plant Soil Environ.* 61(7): 332-338.
- Herfort, S.; Pflanz, K., 2021: Hinweise zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen. Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin IASP, Hrsg., Zukunft Bau Forschungsförderung, Bonn.
- Herfort, S.; Tschuikowa, S.; Ibañez, A., 2012: CO₂-Bindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen. Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte IASP, Berlin: 38 pp.
- Herzog, D.; Faßbender, E.; Hofbauer, W.; Keller, S.; Schwarz, S.; Giglmeier, S., 2021: Kommunen und Gebäudebegrünung. Hemmen Wissenslücken die Umsetzung? *Gebäudegrün* 3/2021: 24-26.
- Hill, M.O.; Mountford, J.O.; Roy, D.B.; Bunce, R.G.H., 1999: Ellenberg's indicator values for British plants. *ECOFACT Volume 2 Technical Annex*. Institute of Terrestrial Ecology. Huntingdon.
- Hniličková, H.; Hnilička, F.; Svoboda, P.; Kořen, J.; Martinová, J., 2009: The impact of water deficit on selected physiological characteristics of juvenile Hop plants (*Humulus lupulus* L.). Conference paper VIII. Alps-Adria Scientific Workshop. *Cereal Research Communications* 37, Suppl.: 301-304.
- Horch, P.; Baumann, N.; Abt, I.; Wirz, R.; Brenneisen, S., 2015: Erfolgreiche Kiebitzbruten auf extensiv begrünten Flachdächern. Das Beispiel der Flachdächer der Firma ALSO Schweiz AG, Emmen, mit weiterführenden Massnahmen und Tipps für die Umsetzung. Schweizerische Vogelwarte und Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW, Hrsg., Sempach und Wädenswil: 18 pp.
- Huchzermeier, E.; Hofbauer, W.K.; Leistner, P., 2022: Retentionsverhalten von Bauwerksbegrünung. Vergleich extensiver Systeme. *Der Bausachverständige* 4/2022: 37-38.
- Hüfing, G.; Jäger-Katzmann, S.; Pendl, M.; Tributsch, I., 2009: "Ein Pflanzenmantel für ein ausgeglichenes Klima" Ein Leitfaden für die Fassadenbegrünung. "die umweltberatung" Wien, Wiener Volkshochschulen GmbH, Wien: 40 pp.
- Inauen, N.; Körner, C.; Hiltbrunner, E., 2013: Hydrological consequences of declining land use and elevated CO₂ in alpine grassland, *Journal of Ecology* 101: 86-96.
- Isermann, M., 2007: Diversity of bryophytes in an urban area of NW Germany. *Lindbergia* 32: 75-81
- Jardin Suisse 2024. Unternehmerverband Gärtner Schweiz. Artikelstamm für Gehölze und Stauden. Aufgerufen am 27.08.2024. <https://jardinsuisse.ch/de/service/dienstleistungen/artikelstamm/>
- Jeong, N.R.; Kim, J.-H.; Han, S.W.; Kim, J.-C.; Kim, W.Y., 2021: Assessment of the Particulate Matter Reduction Potential of Climbing Plants on Green Walls for Air Quality management. *J. People Plants Environ.* 24(4): 377-387.
- Kadereit, J.W.; Körner, C.; Nick, P.; Sonnewald, U., 2021: Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. 38. Auflage. Springer Spektrum, Heidelberg: 1155 pp.

- Kaiser, D.; Köhler, M.; Schmidt, M.; Wolff, F., 2019: Increasing Evapotranspiration on Extensive Green Roofs by Changing Substrate Depths, Construction, and Additional Irrigation. *Buildings* 8, 173: 16 pp.
- Kappis, C.; Gorbachevskaya, O.; Valbuena, R.; Schreiter, H.; Bergsträßer, A.; Riedel, H.; Waschke, B.; Endlicher, W.; Langner, M., 2007: Forschungsprojekt Nr. 06HS021. Studie zum wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen. Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte IASP, Berlin: XII + 173 pp.
- Karima, A., 2023: A splash of grey on green in our hot cities: design and performance of green walls irrigated with greywater. Doctoral thesis. University of Western Australia. Perth: 276 pp.
- Kattge, J.; Bönisch, G.; Díaz, S.; et al. (2020): TRY plant trait database – enhanced coverage and open access. *Glob Change Biol.* 26: 119– 188. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
- Kenny, S.T., 2005: Photosynthetic measurements in Hop (*Humulus*). *Acta Horticulturae* 668: 241-248.
- Kiermeier, P., 1995: Lebensbereiche der Gehölze eingeteilt nach dem Kennziffernsystem. Verlagsgemeinschaft Grün ist Leben, Pinneberg.
- Klingberg, J.; Broberg, M.; Strandberg, B.; Thorsson, P.; Pleijel, H., 2017: Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure – A case study in Gothenburg, Sweden. *Science of the Total Environment* 599-600: 1728-1739.
- Klotz, S.; Kühn, I.; Durka, W.; Briemle, G., 2002: BIOLFLOR,- eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland. Schriftenreihe für Vegetationskunde 38. Bundesanstalt für Vegetationskunde, Naturschutz und Landschaftspflege, Bonn-Bad Godesberg: 334 pp.
- Koch, N., 2020: Schadstoffreduktion durch Bauwerksbegrünung 1. Masterarbeit. Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart, Valley.
- 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* 9, 157: 18 pp.
- Köhler, M.; Schmidt, M.; Grimme, F.M.; Laar, M.; Paiva, V.L. de A.; Tavares, S., 2002: Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics. *Environmental Management and Health* 13(4): 382-391.
- Körner, O.; Fanourakis, D.; Hwang, M.C.-R.; Hyldgaard, B.; Tsaniklidis, G.; Nikoloudakis, N.; Larsen, D.H.; Ottosen, C.-O.; Rosenquist, E., 2021: Incorporating cultivar-specific stomatal traits into stomatal conductance models improves the estimation of evapotranspiration enhancing greenhouse climate management. *Biosystems Engineering* 208: 131-151.
- Kraus, F.; Fritthum, R.; Robausch, E.; Scharf, B.; Preiss, J.; Enzi, V.; Steinbauer, G.; Oberbichler, C.; Lichtblau, A.; Haas, S.; Dyk, G.; Korjenic, A.; Tudiwer, D.; Jesner, L., 2019: Leitfaden Fassadenbegrünung. Herausgeber: MA 22 - Wiener Umweltschutzabteilung - Bereich Räumliche Entwicklung; ÖkoKaufWien - Arbeitsgruppe 25 Grün- und Freiräume (Hrsg.), Wien.
- Krause, P.; Meier, L.; Leistner, P.; Eitle, A.; Bender, E.; Fischer, L.K.; Müller, H., 2023: Entwicklung und Erprobung eines urbanen Grünfassadensystems für Mensch, Flora und Fauna. *Bauphysik* 45(1): 44-54.
- Kreuzer, J., 1993: Kreuzer's Gartenpflanzenlexikon. Band 3: Sommerblumen, Blumenzwiebeln und -knollen, Beet- und Balkonpflanzen. Bernhard Thalacker, Braunschweig.
- Kreuzer, J., 1995: Kreuzer's Gartenpflanzenlexikon. Band 1: Laubgehölze und Nadelgehölze. Bernhard Thalacker, Braunschweig.
- Kreuzer, J., 1996: Kreuzer's Gartenpflanzenlexikon. Band 6: Rosen und Kletterpflanzen. Bernhard Thalacker, Braunschweig.

- Krieger, S.; Kortmann, K.; Kott, K.; Schöneich, C., 2021: Wohnen. In: Statistisches Bundesamt (Destatis); Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB); Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (BiB) (Hrsg.): Datenreport 2021. Ein Sozialbericht für die Bundesrepublik Deutschland. Bonn: 259- 269.
- Kühn, I.; Klotz, S., 2002: Floristischer Status und gebietsfremde Arten. Schriftenreihe für Vegetationskunde 38: 47-56.
- Kwon, K.-J.; Urrintuya, O.; Kim, S.-Y.; Yang, J.-C.; Sung, J.-W.; Park, B.-J., 2020: Removal Potential of Particulate Matter of 12 Woody Plant Species for Landscape Planting. Journal of People, Plants, and Environment 23(6): 647–654. <https://doi.org/10.11628/ksppe.2020.23.6.647>
- Landolt, E.; Bäumler, B.; Erhardt, A.; Hegg, O.; Klötzli, F.; Lämmli, W.; Nobis, M.; Rudmann-Maurer, K.; Schweingruber, F.H.; Theurillat, J.-P.; Urmi, E.; Vust, M.; Wohlgemuth, T., 2010: Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. 2. Auflage. Haupt Verlag, Bern.
- Lawesson, J.E., 2003: pH optima for Danish forest species compared with Ellenberg reaction values. Folia Geobotanica 38: 403-418.
- Lee, J.K.; Kim, D.Y.; Park, S.H.; Woo, S.Y.; Nie, H.; Kim, S.H., 2021: Particulate Matter (PM) Adsorption and Leaf Characteristics of Ornamental Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Cultivars and Two Common Indoor Plants (*Hedera helix* L. and *Epipremnum aureum* Lindl. & Andre). Horticulturae 8(26): 1-16.
- Leistner, P.; Kaufmann, A.; Koehler, M.; Würth, M.; Hofbauer, W.K.; Dittrich, S.; Maier, S.; Gordt, A.; Jäger, M., 2018: Bauphysik urbaner Oberflächen. Bauphysik 40: 358–368.
- Leuzinger, S.; Hartmann, A.; Körner, C., 2011: Water relations of climbing ivy in a temperate forest. Planta 233: 1087-1096.
- Li, D.; Xie, X.; Liu, X.; Cheng, C.; Guo, W.; Zhong, C.; Atak, A., 2022: Effects of short-term high temperature on gas exchange in Kiwifruits (*Actinidia* spp.). Biology 11, 1686, <https://doi.org/10.3390/biology11111686>: 15 pp.
- Linhart, L.; Moretti, B.; Herrera, J.C.; Forneck, A., 2023: Maximum stomatal conductance rather than stomatal sensitivity to drought differentiates the PIWI grapevine cultivar Souvignier gris from Muscaris and Donauriesling. OENO One 57(2): 129-138.
- LMU/IBP (unveröffentlicht): Messwerte zur Nettophotosyntheserate von Begrünungspflanzen gemessen an der und mit Unterstützung der Ludwig-Maximilians-Universität München LMU 2023.
- Mahabadi, M.; Althaus, C.; Bartel, Y.-C.; Bott, P.; Brandmeier, T.; Brandwein, T.; Engelen, P.; Golu, F.U.; Henze, M.; Köhler, M.; Köthner, K.B.; Labenda, A.; Laue, H.; Mann, G.; Meyer-Ricks, W.; Pfoser, N.; Preß, J.; Van Steenis, N.; Zühlke, H., 2018: Fassadenbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- und Fassadenbegrünungen. 3. überarbeitete und ergänzte Ausgabe. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. FLL (Hrsg.), Bonn
- Mann, G., 2021: Zukunftsorientierte Stadtentwicklung mit Dach- und Fassadenbegrünungen. Gefahrstoffe 81(7-8): 289-293.
- Mann, G.; Gohlke, R.; Wolff, F., 2022: BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2022. Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung Deutschland. Herausgeber: Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG). Berlin.
- Maronga, B.; Banzhaf, S.; Burmeister, C.; Esch, T.; Forkel, R.; Fröhlich, D.; Fuka, V.; Gehrke, K.F.; Geletič, J.; Giersch, S.; Gronemeier, T.; Groß, G.; Heldens, W.; Hellsten, A.; Hoffmann, F.; Inagaki, A.; Kadasch, E.; Kanani-Sühring, F.; Ketelsen, K.; Khan, B.A.; Knigge, C.; Knoop, H.; Krč, P.; Kurppa, M.; Maamari, H.; Matzarakis, A.; Mauder, M.; Pallasch, M.; Pavlik, D.; Pfafferoth, J.; Resler, J.; Rissmann, S.; Russo, E.; Salim, M.; Schrempf, M.; Schwenkel, J.; Seckmeyer, G.; Schubert, S.; Sühring, M.; Tils, R. von; Vollmer, L.; Ward,

- S.; Witha, B.; Wurps, H.; Zeidler, J.; Raasch, S., 2020: Overview of the PALM model system 6.0. Geoscientific Model Development 13: 1335–1372.
- McDonnell, M.J.; Hahs, A.K., 2015: Adaption and Adaptedness of Organisms to Urban Environments. Annu. Rev. Ecol. Syst. 46: 261-280.
- Miranda, T.; Ebner, M.; Traiser, C.; Roth-Nebelsick, A., 2013: Diurnal pattern of stomatal conductance in the large-leaved temperate liana *Aristolochia macrophylla* depends on spatial position within the leaf lamina. Annals of Botany 111: 905-915.
- Mitchell, R.; Maher, B. A.; Kinnersley, R., 2010: Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: Temporal and inter-specific magnetic analyses. Environmental Pollution 158: 1472-1478.
- Molisch, H., 1929: Die Lebensdauer der Pflanze. Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien 71: 1-20.
- Mollenhauer, F.; Mann, G.; Westerholt, D., 2023: BuGG-Fachinformation. Positive Wirkungen von Gebäudebegrünungen. Herausgeber: Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG). Berlin.
- Nadal, M.; Flexas, J., 2019: Variation in photosynthetic characteristics with growth form in a water-limited scenario: Implications for assimilation rates and water use efficiency in crops. Agricultural Water Management 216: 457-472.
- NaturaDB. 2024. Aufgerufen am 27.08.2024. <https://www.naturadb.de/>
- Nowak, D.J.; McHale, P.J.; Ibarra, M.; Crane, D.; Stevens, J.C.; Luley, C.J., 1998: Modeling the effects of urban vegetation and air pollution. In: Gryning, S.-E./Chaumerliac, N., Hrsg.: Air Pollution and Its Application XII, Plenum Press, New York: 399-407.
- Oberndorfer, E.; Lundholm, J.; Bass, B.; Coffman, R.R.; Doshi, H.; Dunnett, N.; Gaffin, S.; Köhler, M.; Liu, K.K.Y.; Rowe, B., 2007: Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. BioScience 57(19): 823-833.
- Omassa, K.; Tobe, K.; Kondo, T., 2002: Absorption of Organic and Inorganic Air Pollutants by Plants. In: Omassa, K.; Saji, H.; Youssefian, S.; Kondo, N., Hrsg.: Air Pollution and Plant Biotechnology. Prospects for Phytomonitoring and Phytoremediation. Springer, Tokyo: 155-178.
- Pandey, S.K.; Singh, H., 2011: A Simple, Cost-Effective Method for Leaf Area Estimation. Journal of Botany 2011, 658240: 6 pp.
- Paull, N.; Krix, D.; Torpy, F.; Irga, P., 2020: Can Green Walls Reduce Outdoor Ambient Particulate Matter, Noise Pollution and Temperature? International Journal of Environmental Research and Public Health 17:, 5084: 19 pp.
- Pelko, C., 2019: Vertikaler Garten in Wien – Monitoring der Fassadenbegrünung am Amtsgebäude der MA 31. Materarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien.
- Petrie, P.R.; Trought, M.C.T.; Howell, G.S., 2000: Influence of leaf ageing, leaf area and crop load on photosynthesis, stomatal conductance, and senescence of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) leaves. Vitis 39(1): 31-36.
- Pfoser, N., 2016: Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt
- Pietragalla, J.; Pask, A., 2012: Chapter 2. Stomatal Conductance. In: Pask, A.J.T.; Pietragalla, J.; Mullan, D.M.; Reynolds, M.P., Hrsg.: Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping. International Maize and Wheat Improvements Center CIMMYT. Mexico: 15-17.
- Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet. 2024. Mehrmals aufgerufen von 01.01.2024-09.09.2024. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>

- Pokorný, J.; Pulkrábek, J.; Štranc, P.; Bečka, D., 2011: Photosynthetic activity of selected genotypes of hops (*Humulus lupulus* L.) in critical periods for yield formation. *Plant Soil Environ.* 57(6): 264-270.
- Pons, T.L.; Flexas, J.; Caemmerer von, S.; Evans, J.R.; Genty, B.; Ribas-Carbo, M.; Brugnoli, E., 2009: Estimating mesophyll conductance to CO₂: methodology, potential errors, and recommendations. *Journal of experimental Botany* 60(8): 2217-2234.
- Popek, R.; Fornal-Pieniak, B.; Dąbrowski, P.; Chyliński, F., 2023: The Role of Spontaneous Flora in the Mitigation of Particulate Matter from Traffic Roads in an Urbanised Area. *Sustainability* 2023, 15, 7568: 16 pp.
- Popek, R.; Przybysz, A.; Gawrońska, H.; Klamkowski, K.; Gawroński, S.W., 2018: Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus of roadside woody plants growing in the urban conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 163: 56-62.
- ProPolis, 2024: Grundlagen für die Operationalisierung vom PALM-4U – Praktikabilität und Verfestigungsstrategie. Aufgerufen am 01.10.2025: <https://www.uc2-propolis.de/>
- Pugh, T. A. M.; MacKenzie, A. R.; Whyatt, J. D.; Hewitt, C. N., 2012: Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environ. Sci. Technol.* 46: 7692-7699.
- Raunkiær, C., 1905: Types biologiques pour la géographie botanique. *Bulletin Academy of Royal Science (Denmark)* 5: 347-437.
- Revelle, R.; Suess, H.E., 1957: Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades. *Tellus* 9: 18-27.
- Roloff, A.; Bärtels, A., 2018: *Flora der Gehölze. Bestimmung, Eigenschaften, Verwendung.* 5. Auflage. Ulmer, Stuttgart: 911 pp.
- Sabir, A.; Yazar, K., 2015: Diurnal Dynamics of Stomatal Conductance and Leaf Temperature of Grapevines (*Vitis vinifera* L.) in Response to Daily Climatic Variables. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 14(4): 3-15.
- Sæbø, A.; Popek, R.; Nawrot, B.; Hanslin, H.M.; Gawronska, H.; Gawronski, S.W., 2012: Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment* 427-428: 347-354.
- Salinitro, M.; Alessandrini, A.; Zappi, A.; Tassoni, A., 2019: Impact of climate change and urban development on the flora of a southern European city: analysis of biodiversity change over a 120-year period. *Scientific Reports* (2019) 9:9464: 10 pp.
- Sanjuan, C.; Bull, M., 2016: Green envelopes provide an opportunity to improve air quality in selected areas. In: Scheuermann, R.; Armour, T.; Pauli, M.; Law, A. (Hrsg.): *Cities Alive. Green Building Envelope.* Arup Deutschland GmbH, Berlin: 82-91.
- Schaffers, A.P.; Šýkora, K.V., 2000: Reliability of Ellenberg indicator values for moisture, nitrogen and soil reaction: a comparison with field measurements. *Journal of Vegetation Science* 11: 225-244.
- Scharf, B., 2012: Beitrag zum Klimaschutz oder teure Dekoration? *Garten + Landschaft* 5/2012: 24-27.
- Schröder, R.; Jeschke, D.; Kiehl, K., 2020: Wildpflanzen für Dachbegrünungen. Wie extensive Dachbegrünung regionaltypische Biodiversität fördern kann. *GebäudeGrün* 4/2020: 21-24.
- Schmidt P.A.; Schulz, B., Hrsg., 2017: *Fitschen Gehölzflora.* 13., vollständig neu bearbeitete Auflage. Quelle & Meyer, Wiebelsheim.
- Sternberg, T.; Viles, H.; Cathersides, A.; Edwards, M., 2010: Dust particle absorption by ivy (*Hedera helix* L.) on historic walls in urban environments. *Science of the Total Environment* 409: 162-168.

- Teramura, A.H.; Gold, W.G.; Forseth, I.N., 1991: Physiological ecology of mesic, temperate woody vines. In: Putz, F.E., Mooney, H.A. (Hrsg.): The biology of vines. Cambridge University Press, Cambridge: 245-285.
- Thomsit-Ireland, F., 2018: Overcoming the barriers to green walls in urban areas of the UK. Dissertation. Universität Reading, Reading: 241 pp.
- Thönessen, M.; Hellack, B., 2005: Staubfilterung durch Gehölzblätter. Anreicherung und Vermeidung von Stäuben bei Wildem Wein und Platane. Stadt + Grün 12: 10-15.
- Thönessen, M., 2007: Staubfilterung durch Gehölzblätter. Beispiele aus Düsseldorf, Essen und Köln. In: Endlicher, W.; Gorbachevskaya, O.; Kappis, C.; Langner, M. (Hrsg.): Tagungsband zum Workshop über den wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterpotenzial (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen am 1. Juni 2007 in Berlin-Adlershof. Berliner Geographische Arbeiten 109: 13 – 26.
- Turland, N.J.; Wiersema, J.H.; Barrie, F.R.; Greuter, W.; Hawksworth, D.L.; Herendeen, P.S.; Knapp, S.; Kusber, W.-H.; Li, D.-Z.; Marhold, K.; May, T.W.; McNeill, J.; Monroe, A.M.; Prado, J.; Price, M.J.; Smith, G. F. (eds.), 2018: International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017. Regnum Vegetabile 159. Glashütten: Koeltz Botanical Books. DOI <https://doi.org/10.12705/Code.2018>
- United Nations UN, 2018: Department of Economic and Social Affairs. Population Dynamics. World Urbanization Prospects 2018. Country Profiles. Switzerland. Aufgerufen am 09.09.2014. <https://population.un.org/wup/Country/Profiles/>
- USDA – Agricultural Research Service des U. S. Department of Agriculture, o. J.: USDA Plant Hardiness Zone Map. Zugriff: <https://planthardiness.ars.usda.gov/> [abgerufen am 4. Oktober 2023].
- Villa, F.; Bagstad, K.J.; Viogt, B.; Johnson, G.W.; Athanasiadis, J.N.; Balbi, S., 2014: The misconception of ecosystem disservices: How a catchy term may yield the wrong messages for science and society. Ecosystem Services 10: 52-53.
- Wagenitz, G., 2003: Wörterbuch der Botanik. Die Termini in ihrem historischen Zusammenhang. 2., erweiterte Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin: 532 pp.
- Wan, J., 2024: Estimating the ecological potential from the evapotranspiration of various plant species and varieties for facade and roof greening. Master Thesis. Technical University of Munich: 42 pp.
- Wassmann-Takigawa, F.; Amrein-Gerber, H.-R., 2020: Beispiel für ein nachhaltiges Biodiversitätsgründach. Artenvielfalt auf dem Gründach. GebäudeGrün 4/2020: 15-20.
- WHO global air quality guidelines, 2021: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY NC SA 3.0 IGO
- Widrechner, M.P.; Daly, C.; Keller, M.; Kaplan, K., 2012: Horticultural Applications of a Newly Revised USDA Plant Hardiness Zone Map. HortTechnology 22(1): 6-19.
- Wilhelm, X., 2017: Klimaanpassung durch städtisches Grün und Wasser. GI - Gebäudetechnik in Wissenschaft & Praxis 138(2): 138-144.
- Winkel, T.; Rambal, S., 1993: Influence of Water Stress on Grapevines Growing in the Field: from Leaf to Whole-Plant Response. Aust. J. Plant Physiol. 20: 143-157.
- Wong, N.H.; Tan, C.L.; Kolokotsa, D.D.; Takebayashi, H., 2021: Greenery as a mitigation and adaption strategy to urban heat. Nature Reviews 2: 166-181.

Yan, J.; Zhao, L.; Zhang, Y.; Liu, M.; Yang, Y.; Liu, Z.; Zhang, L., 2022: Effects of microclimatic factors on stomatal conductance of plants in vertical greenery systems in humid subtropical areas. *Sustainable Cities and Society* 85, 104056: 1-21.

3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Das Stadthaus in Freiburg ist ein gelungenes Beispiel zur Umsetzung von Fassadenbegrünungen im innerstädtischen Bereich.....	8
Abbildung 2 Zusammenfassende Darstellung der Leistung eines Quadratmeters extensiver Dachbegrünung.....	9
Abbildung 3 Zusammenfassende Darstellung der Leistung eines Quadratmeters bodengebundener Fassadenbegrünung.	10
Abbildung 4 Aufgeschlüsselte Bestandteile der wissenschaftlichen Benennung der Kultursorte 'Snowdrift' vom Englischen Thymian.	23
Abbildung 5 Bestimmung der (Evapo-)Transpiration mittels Lysimetermethode und Porometer: Um eine möglichst große Verdunstungsleistung der Pflanzen zu erreichen, wurden sie bei schönem, wolkenfreiem Wetter im Freien exponiert.	40
Abbildung 6 Strahlengriffel-Pflanzen kurz vor der Durchführung der Porometermessungen.	41
Abbildung 7 Messreinrichtung zur Erfassung der Feinstaubreduktion durch bodengebundene Vertikalbegrünung. links: Aufbau der Messeinrichtung; rechts: Messeinrichtung im Betrieb 1. Plexiglashaube 2. Löcher in der Plexiglashaube (verschließbar) zur Versorgung der Messeinrichtung 3. Ventilator innerhalb der Plexiglashaube 4. Gurte der Seilwinde zum Anheben der Haube mittels Hebestange, die durch die Versorgungsöffnungen geführt wird 5. Messgerät (Partikelzähler) 6. Messgegenstände (Eimer mit Substrat bzw. mit Substrat und Pflanzen) 7. Holzbalken zur Stabilisierung der Plexiglaskammer 8. Dichtband um den Übergang von der Plexiglashaube zur Edelstahlwanne abzudichten 9. Edelstahlwanne auf der die Plexiglashaube aufsitzt.....	41
Abbildung 8 Bestimmung der Feinstaubabscheidung an der Dreispitzigen Jungfernebe (<i>Parthenocissus tricuspidata</i>).	44
Abbildung 9 Datenbank-Struktur.....	56
Abbildung 10 Die Einstiegsseite in die Datenbank "Attribute". In die Suchzeile ist die Abfrage nach "Parthenocissus", Jungfernebe, bereits eingegeben. Die Einstiegsseite ist bewusst einfach gehalten.	58
Abbildung 11 Ergebnis der Abfrage „Parthenocissus“	59
Abbildung 12 Beim Anklicken eines Ergebnisses, z. B. <i>Parthenocissus tricuspidata</i> , Dreispaltige Jungfernebe, öffnet sich ein Insert mit Attributen zur Pflanze.....	60
Abbildung 13 Beim Anklicken des Buttons „MEHR INFO...“ im Insert, erweitert sich das Insert und die weiteren erfassten Attribute zur Pflanze erscheinen.	61
Abbildung 14 Links Scannen von Blättern von <i>Hedera hibernica</i> mittels eines Kopierers und rechts ein kopiertes Ergebnis für einen Teil der Blätter einer Pflanze von <i>Ipomoea batatas</i>	71

4. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Für die Evapotranspirations- und Transpirationsmessungen herangezogenen Pflanzen, Ergebnisse zu den Messungen zur stomatären Leitfähigkeit der Blätter der Kletterpflanzen, maximale Werte und Vergleichswerte aus der Literatur.....	64
Tabelle 2: Liste der im Rahmen der Anpassung und Optimierung von Messkonzepten zur Feinstaubreduktion herangezogenen Pflanzen, bei den Messungen zur Feinstaubreduktion durch Kletterpflanzen, ermittelte Werte, unterschieden in die Feinstaubpartikelklassen (particulate matter PM) PM10 und PM2.5, sowie Vergleichswerte aus der Literatur.....	67
Tabelle 3: Liste der für die Blattflächenbestimmungen herangezogenen Pflanzen sowie die bei den Blattflächenbestimmungen, ermittelte Werte mit der „Flächen-Gewichts“-Methode. Die ermittelten Blattflächen geben das geometrische Mittel zweier repräsentativer Pflanzenexemplare der jeweiligen Art/Sorte wieder, die bei den Messungen zur Transpiration und zur Feinstaubreduktion verwendet wurden.	71
Tabelle 4: Für Photosynthesemessungen herangezogene Pflanzen, gemessene Werte für die Photosyntheseleistung (A_{max}), sowie Vergleichswerte aus der Literatur.....	73

Anlagen

Anlage 1 - Zeitschrift GebäudeGrün 3/2021 Pressemitteilung



Die wichtigsten Eigenschaften verschiedener Pflanzen zur Dach- und Fassadenbegrünung sollen bei dem BBSR-Forschungsprojekt erfasst werden.

Projekt zur Dokumentation von Pflanzenressourcen

Das gemeinsame Projekt „Green Follows Function – Attribute“ wird gefördert durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR, Zukunft Bau.

Der Bundesverband Gebäude-Grün BuGG und das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP bemühen sich seit Jahren, Informationen zu unterschiedlichen Begrünungsformen zusammenzutragen. Wichtige Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen sind zum Beispiel: Gaswechsel, Verdunstungsleistung und Minderung von Luftschadstoffen. Entsprechend der gewünschten Nutzenanwendung sollen die richtigen Pflanzen mit Schwerpunkt heimischer Vegetation ausgewählt werden können. Dabei stellt sich heraus, dass es wünschenswert ist, bestehende Listen auf der Basis von botanisch-wissenschaftlichem Wissen zu überarbeiten. Zahlreiche wichtige Attribute sind bisher unzurei-

chend erfasst. Grundlage dafür ist die Kenntnis der nutzbaren Pflanzen und deren Attribute. Dazu wurde aktuell das o.g. gemeinsame Projekt gestartet. Das Projekt hat den Schwerpunkt Pflanzen-Ressourcen und ihre Attribute zu dokumentieren. Zusätzlich sollen Ergänzungen zu wichtigen Attributen (Messungen zum Beispiel zu Evapotranspiration und Gaswechsel) gewonnen werden, zunächst beschränkt auf ausgewählte Pflanzen. Insgesamt wird ein erster Rahmen gesteckt, und die gewonnenen Daten und Ergebnisse werden in einer SQL-Datenbank verfügbar gemacht. Der Datenbestand wird Planern ermöglichen, Pflanzenarten besser für die gewünschten Nutzeffekte auswählen zu können sowie Modellrechnungen durchzuführen.

wolfgang.hofbauer@ibp.fraunhofer.de

Anlage 2 - Kurzbeschreibung des Projekts im Kapitel „4.5 Forschung und Lehre“ im BuGG-Marktreport 2021, Seite 80

Aktivitäten weiterer Forschungseinrichtungen

Das 1929 gegründete Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP forscht, entwickelt, prüft und berät national sowie international auf den Gebieten der Bauphysik an den Standorten Stuttgart und Holzkirchen. Insgesamt sechs laufende Forschungsprojekte beziehen die Dach- und Fassadenbegrünung als Forschungsbereiche ein. Die Verbesserung der Datengrundlage für die Vertikal- und Extensivdach-Begrünung ist das Ziel des Projekts „Green Follows Function Attribute“, das in Zusammenarbeit mit dem BuGG durchgeführt wird. Außerdem ermöglicht es die Entwicklung stattdauphysikalischer Modelle am IBP, die stadtweiten positiven Effekte von Dach- und Fassadenbegrünungen zu simulieren. In einem weiteren Projekt soll das Leistungsportfolio zur Beurteilung von Gründachkonstruktionen hinsichtlich Wasserretentionsvermögen und stadtklimatischer Wirkung für Simulationstools erweitert werden. Im Projekt „ProPolis: Grundlagen für die Operationalisierung von PALM-4U“ wird ein praxistaugliches Stadtklimamodell erstellt, mit dem die Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen auf das Stadtklima berechnet werden können, damit zukünftig stadtklimatologische Aspekte angemessen in der Stadtplanung berücksichtigt werden. Die Eignung und Wirksamkeit von naturbasierten Lösungen und blau-grüner Infrastruktur zur Steigerung der Klimaresilienz in drei Pilotstädten wird im Projekt

„Morgenstadt Global Smart Cities“ untersucht. Die Abkürzung „BUOLUS“ steht für das Verbundprojekt „Bauphysikalische Gestaltung urbaner Oberflächen für nachhaltige Lebens- und Umweltqualität in Städten“. Ziel des Vorhabens ist es, das bauphysikalische Wirkpotenzial urbaner Oberflächen (u. a. Grünflächen) ganzheitlich zu bewerten, um den kommunalen Bedarf nach Flächeneffizienz und sozialer Akzeptanz zu unterstützen.



Abb. 53: Beim Projekt „Green Follows Function Attribute“ des Fraunhofer Instituts in Zusammenarbeit mit dem BuGG werden verschiedene Eigenschaften von Dach- und Fassadenbegrünungspflanzen gesammelt. Quelle: BuGG

Eintrag in der Tabelle 21: Aktuelle Forschungsvorhaben zur Gebäudebegrünung im BuGG-Marktreport 2021, Seite 83

Green Follows Function Attribute - Verbesserung der Datengrundlage für die Vertikal- und Extensivdach-Begrünung	2021 - 2023	BBSR	Dach/Fassade
---	-------------	------	--------------

Link zum BuGG-Marktreport 2022 als PDF:

https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Marktreport/BuGG-Marktreport_Gebaeudegruen_2022.pdf

Anlage 3 - Eintrag in der Tabelle 25: Aktuelle Forschungsvorhaben zur Gebäudebegrünung im BuGG-Marktreport 2022, Seite 98

Green Follows Function Attribute - Verbesserung der Datengrundlage für die Vertikal- und Extensivdach-Begrünung		2021 - 2023	BBSR	Dach/Fassade
---	--	-------------	------	--------------

Link zum BuGG-Marktreport 2022 als PDF:

https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Marktreport/BuGG-Marktreport_Gebaeudegruen_2022.pdf

Link zur neuen Datenbank:

<https://imcom2.hoki.ibp.fraunhofer.de/attribute/>

Anlage 4 – Bild vom Poster auf dem Weltkongress Gebäudegrün 2023 in Berlin, gefolgt von einem digitalen Ausschnitt des Posters.

GREEN FOLLOWS FUNCTION ATTRIBUTE

Verbesserung der Datengrundlage für die Vertikal- und
Extensivdach-Begrünung SWD-10.08.18.7-20.15

Wolfgang Karl Hofbauer¹, Fiona Wolff², Gunter Mann²

¹ Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
² Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG

BuGG und IBP arbeiten seit Jahren daran, Informationen zu Vertikal- und Horizontal-Begrünungen zusammenzutragen.

Wichtige Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen sind Gaswechsel, Verdunstungsleistung und Minderung von Luftschadstoffen.

Für Planungen, Abschätzungen und Modellierung werden diese Daten dringend benötigt. Aus diesem Grund möchten BuGG und IBP mithilfe dieses Mangels zu beheben und in einem mit Mitteln der Zukunft Bau Forschungsförderung durchgeführten Projekt die nötigen Daten bereitzustellen. Verarbeitende und Planende sollen in die Lage versetzt werden, für die gewünschte Nutzwendungsleistung geeignete, bevorzugt heimische Pflanzen auszuwählen zu können. Grundlage dafür ist die Kenntnis der nutzbaren Pflanzen und deren Attribute.

Unser Motto:
Die richtige Pflanze, am richtigen Platz, für den richtigen Zweck!

In einem öffentlich geförderten Forschungsvorhaben werden

1. Pflanzen-Ressourcen und ihre Attribute mit den Daten aus bestehenden Listen zu einer einheitlichen Gesamtplanzenliste in einer Datenbank zusammengeführt.
2. Messungen an jeweils bis zu 25 verschiedenen Pflanzen (inklusive „Referenzpflanzen“ mit bereits bekannten Attributen), zunächst beschränkt auf bodengebundene Schling- und Kletterpflanzen oder Pflanzen für die extensive Dachbegrünung (Substratstärke bis 15 cm) durchgeführt. Die Messungen umfassen:
 - die Bestimmung der (Evapo-)Transpiration (Lyimeter, Porometer)
 - Gaswechsel: CO₂ – Photosyntheseleistung (Messkavität)
 - Messkonzept zur Feinstaubbindung und NO_x Aufnahme, Anpassung und Optimierung eines bestehenden Messkonzepts




Ziele
Reinierend auf Auswertung bestehender Arbeiten, neuen Messungen, Pflanzenverfügungen und botanischen Fachwissen wird ein erster Rahmen gestellt. Die gewonnenen Daten und Ergebnisse werden in eine open source SQL-Datenbank eingegeben. Der Datenbestand wird Planenden ermöglichen, Pflanzenverfügbarkeit hinsichtlich der gewünschten Nutzwendungsleistung sowie Modellrechnungen durchzuführen.



Bildquelle: BuGG

Chancen, Risiken, Stärken und Schwächen

- Unvollständige und kleine Datengrundlage
- Daten nur bedingt vergleichbar – hohe Diversität im Datenbestand
- Geringe Messkonzentration sind bereits verfügbar
- Ökologische Zeigerwerte! bieten Informationen zu heimischen Pflanzen
- Vergleichsweise wenige Messungen sind möglich
- Nicht alle gewünschten Parameter können je Pflanzenart abgedeckt werden
- Verzerrung durch Parameter (Abschlussarbeiten)
- Guter Austausch mit anderen Forschungsprojekten in DE/AT/CH

Aktueller Projektstand

- Bisher ca. 900 Pflanzenarten/Kultursorten in die Liste aufgenommen
- Schwerpunkt extensive Dachbegrünung und bodengebundene Fassadenbegrünung
- sicher mehr als 300 Quellen berücksichtigt
- im Sinne der Ökosystemleistungen sehr diverser Datenbestand
- Wertige Quellen werden bearbeitet
- Pflanzenrelevanzliste (Prioritätsartenliste) abgestimmt
- Abschlussarbeiten können starten, Messungen werden vorbereitet

Kontakt

Dr. Wolfgang Karl Hofbauer Projektleitung Tel. +49 (0)8924 643 219 Fax +49 (0)8924 643 366 e-mail: wolfgang.hofbauer@ibp.fraunhofer.de Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP Fraunhoferstraße 10 83026 Ingolstadt www.fraunhofer.de	Fiona Wolff Referentin für Projektarbeit Tel. +49 (0)891-6882970 Fax +49 (0)891-6882970 e-mail: fiona.wolff@ibp.fraunhofer.de Bundesverband GebäudeGrün e.V. Altenhofstraße 13 10117 Berlin www.gebaeudegruen.info
---	--

1. in Stellung: 1.1. 2018, 1.2. 2018, 1.3. 2018, 1.4. 2018, 1.5. 2018, 1.6. 2018, 1.7. 2018, 1.8. 2018, 1.9. 2018, 1.10. 2018, 1.11. 2018, 1.12. 2018, 1.1. 2019, 1.2. 2019, 1.3. 2019, 1.4. 2019, 1.5. 2019, 1.6. 2019, 1.7. 2019, 1.8. 2019, 1.9. 2019, 1.10. 2019, 1.11. 2019, 1.12. 2019, 1.1. 2020, 1.2. 2020, 1.3. 2020, 1.4. 2020, 1.5. 2020, 1.6. 2020, 1.7. 2020, 1.8. 2020, 1.9. 2020, 1.10. 2020, 1.11. 2020, 1.12. 2020, 1.1. 2021, 1.2. 2021, 1.3. 2021, 1.4. 2021, 1.5. 2021, 1.6. 2021, 1.7. 2021, 1.8. 2021, 1.9. 2021, 1.10. 2021, 1.11. 2021, 1.12. 2021, 1.1. 2022, 1.2. 2022, 1.3. 2022, 1.4. 2022, 1.5. 2022, 1.6. 2022, 1.7. 2022, 1.8. 2022, 1.9. 2022, 1.10. 2022, 1.11. 2022, 1.12. 2022, 1.1. 2023, 1.2. 2023, 1.3. 2023, 1.4. 2023, 1.5. 2023, 1.6. 2023, 1.7. 2023, 1.8. 2023, 1.9. 2023, 1.10. 2023, 1.11. 2023, 1.12. 2023, 1.1. 2024, 1.2. 2024, 1.3. 2024, 1.4. 2024, 1.5. 2024, 1.6. 2024, 1.7. 2024, 1.8. 2024, 1.9. 2024, 1.10. 2024, 1.11. 2024, 1.12. 2024, 1.1. 2025, 1.2. 2025, 1.3. 2025, 1.4. 2025, 1.5. 2025, 1.6. 2025, 1.7. 2025, 1.8. 2025, 1.9. 2025, 1.10. 2025, 1.11. 2025, 1.12. 2025, 1.1. 2026, 1.2. 2026, 1.3. 2026, 1.4. 2026, 1.5. 2026, 1.6. 2026, 1.7. 2026, 1.8. 2026, 1.9. 2026, 1.10. 2026, 1.11. 2026, 1.12. 2026, 1.1. 2027, 1.2. 2027, 1.3. 2027, 1.4. 2027, 1.5. 2027, 1.6. 2027, 1.7. 2027, 1.8. 2027, 1.9. 2027, 1.10. 2027, 1.11. 2027, 1.12. 2027, 1.1. 2028, 1.2. 2028, 1.3. 2028, 1.4. 2028, 1.5. 2028, 1.6. 2028, 1.7. 2028, 1.8. 2028, 1.9. 2028, 1.10. 2028, 1.11. 2028, 1.12. 2028, 1.1. 2029, 1.2. 2029, 1.3. 2029, 1.4. 2029, 1.5. 2029, 1.6. 2029, 1.7. 2029, 1.8. 2029, 1.9. 2029, 1.10. 2029, 1.11. 2029, 1.12. 2029, 1.1. 2030, 1.2. 2030, 1.3. 2030, 1.4. 2030, 1.5. 2030, 1.6. 2030, 1.7. 2030, 1.8. 2030, 1.9. 2030, 1.10. 2030, 1.11. 2030, 1.12. 2030, 1.1. 2031, 1.2. 2031, 1.3. 2031, 1.4. 2031, 1.5. 2031, 1.6. 2031, 1.7. 2031, 1.8. 2031, 1.9. 2031, 1.10. 2031, 1.11. 2031, 1.12. 2031, 1.1. 2032, 1.2. 2032, 1.3. 2032, 1.4. 2032, 1.5. 2032, 1.6. 2032, 1.7. 2032, 1.8. 2032, 1.9. 2032, 1.10. 2032, 1.11. 2032, 1.12. 2032, 1.1. 2033, 1.2. 2033, 1.3. 2033, 1.4. 2033, 1.5. 2033, 1.6. 2033, 1.7. 2033, 1.8. 2033, 1.9. 2033, 1.10. 2033, 1.11. 2033, 1.12. 2033, 1.1. 2034, 1.2. 2034, 1.3. 2034, 1.4. 2034, 1.5. 2034, 1.6. 2034, 1.7. 2034, 1.8. 2034, 1.9. 2034, 1.10. 2034, 1.11. 2034, 1.12. 2034, 1.1. 2035, 1.2. 2035, 1.3. 2035, 1.4. 2035, 1.5. 2035, 1.6. 2035, 1.7. 2035, 1.8. 2035, 1.9. 2035, 1.10. 2035, 1.11. 2035, 1.12. 2035, 1.1. 2036, 1.2. 2036, 1.3. 2036, 1.4. 2036, 1.5. 2036, 1.6. 2036, 1.7. 2036, 1.8. 2036, 1.9. 2036, 1.10. 2036, 1.11. 2036, 1.12. 2036, 1.1. 2037, 1.2. 2037, 1.3. 2037, 1.4. 2037, 1.5. 2037, 1.6. 2037, 1.7. 2037, 1.8. 2037, 1.9. 2037, 1.10. 2037, 1.11. 2037, 1.12. 2037, 1.1. 2038, 1.2. 2038, 1.3. 2038, 1.4. 2038, 1.5. 2038, 1.6. 2038, 1.7. 2038, 1.8. 2038, 1.9. 2038, 1.10. 2038, 1.11. 2038, 1.12. 2038, 1.1. 2039, 1.2. 2039, 1.3. 2039, 1.4. 2039, 1.5. 2039, 1.6. 2039, 1.7. 2039, 1.8. 2039, 1.9. 2039, 1.10. 2039, 1.11. 2039, 1.12. 2039, 1.1. 2040, 1.2. 2040, 1.3. 2040, 1.4. 2040, 1.5. 2040, 1.6. 2040, 1.7. 2040, 1.8. 2040, 1.9. 2040, 1.10. 2040, 1.11. 2040, 1.12. 2040, 1.1. 2041, 1.2. 2041, 1.3. 2041, 1.4. 2041, 1.5. 2041, 1.6. 2041, 1.7. 2041, 1.8. 2041, 1.9. 2041, 1.10. 2041, 1.11. 2041, 1.12. 2041, 1.1. 2042, 1.2. 2042, 1.3. 2042, 1.4. 2042, 1.5. 2042, 1.6. 2042, 1.7. 2042, 1.8. 2042, 1.9. 2042, 1.10. 2042, 1.11. 2042, 1.12. 2042, 1.1. 2043, 1.2. 2043, 1.3. 2043, 1.4. 2043, 1.5. 2043, 1.6. 2043, 1.7. 2043, 1.8. 2043, 1.9. 2043, 1.10. 2043, 1.11. 2043, 1.12. 2043, 1.1. 2044, 1.2. 2044, 1.3. 2044, 1.4. 2044, 1.5. 2044, 1.6. 2044, 1.7. 2044, 1.8. 2044, 1.9. 2044, 1.10. 2044, 1.11. 2044, 1.12. 2044, 1.1. 2045, 1.2. 2045, 1.3. 2045, 1.4. 2045, 1.5. 2045, 1.6. 2045, 1.7. 2045, 1.8. 2045, 1.9. 2045, 1.10. 2045, 1.11. 2045, 1.12. 2045, 1.1. 2046, 1.2. 2046, 1.3. 2046, 1.4. 2046, 1.5. 2046, 1.6. 2046, 1.7. 2046, 1.8. 2046, 1.9. 2046, 1.10. 2046, 1.11. 2046, 1.12. 2046, 1.1. 2047, 1.2. 2047, 1.3. 2047, 1.4. 2047, 1.5. 2047, 1.6. 2047, 1.7. 2047, 1.8. 2047, 1.9. 2047, 1.10. 2047, 1.11. 2047, 1.12. 2047, 1.1. 2048, 1.2. 2048, 1.3. 2048, 1.4. 2048, 1.5. 2048, 1.6. 2048, 1.7. 2048, 1.8. 2048, 1.9. 2048, 1.10. 2048, 1.11. 2048, 1.12. 2048, 1.1. 2049, 1.2. 2049, 1.3. 2049, 1.4. 2049, 1.5. 2049, 1.6. 2049, 1.7. 2049, 1.8. 2049, 1.9. 2049, 1.10. 2049, 1.11. 2049, 1.12. 2049, 1.1. 2050, 1.2. 2050, 1.3. 2050, 1.4. 2050, 1.5. 2050, 1.6. 2050, 1.7. 2050, 1.8. 2050, 1.9. 2050, 1.10. 2050, 1.11. 2050, 1.12. 2050, 1.1. 2051, 1.2. 2051, 1.3. 2051, 1.4. 2051, 1.5. 2051, 1.6. 2051, 1.7. 2051, 1.8. 2051, 1.9. 2051, 1.10. 2051, 1.11. 2051, 1.12. 2051, 1.1. 2052, 1.2. 2052, 1.3. 2052, 1.4. 2052, 1.5. 2052, 1.6. 2052, 1.7. 2052, 1.8. 2052, 1.9. 2052, 1.10. 2052, 1.11. 2052, 1.12. 2052, 1.1. 2053, 1.2. 2053, 1.3. 2053, 1.4. 2053, 1.5. 2053, 1.6. 2053, 1.7. 2053, 1.8. 2053, 1.9. 2053, 1.10. 2053, 1.11. 2053, 1.12. 2053, 1.1. 2054, 1.2. 2054, 1.3. 2054, 1.4. 2054, 1.5. 2054, 1.6. 2054, 1.7. 2054, 1.8. 2054, 1.9. 2054, 1.10. 2054, 1.11. 2054, 1.12. 2054, 1.1. 2055, 1.2. 2055, 1.3. 2055, 1.4. 2055, 1.5. 2055, 1.6. 2055, 1.7. 2055, 1.8. 2055, 1.9. 2055, 1.10. 2055, 1.11. 2055, 1.12. 2055, 1.1. 2056, 1.2. 2056, 1.3. 2056, 1.4. 2056, 1.5. 2056, 1.6. 2056, 1.7. 2056, 1.8. 2056, 1.9. 2056, 1.10. 2056, 1.11. 2056, 1.12. 2056, 1.1. 2057, 1.2. 2057, 1.3. 2057, 1.4. 2057, 1.5. 2057, 1.6. 2057, 1.7. 2057, 1.8. 2057, 1.9. 2057, 1.10. 2057, 1.11. 2057, 1.12. 2057, 1.1. 2058, 1.2. 2058, 1.3. 2058, 1.4. 2058, 1.5. 2058, 1.6. 2058, 1.7. 2058, 1.8. 2058, 1.9. 2058, 1.10. 2058, 1.11. 2058, 1.12. 2058, 1.1. 2059, 1.2. 2059, 1.3. 2059, 1.4. 2059, 1.5. 2059, 1.6. 2059, 1.7. 2059, 1.8. 2059, 1.9. 2059, 1.10. 2059, 1.11. 2059, 1.12. 2059, 1.1. 2060, 1.2. 2060, 1.3. 2060, 1.4. 2060, 1.5. 2060, 1.6. 2060, 1.7. 2060, 1.8. 2060, 1.9. 2060, 1.10. 2060, 1.11. 2060, 1.12. 2060, 1.1. 2061, 1.2. 2061, 1.3. 2061, 1.4. 2061, 1.5. 2061, 1.6. 2061, 1.7. 2061, 1.8. 2061, 1.9. 2061, 1.10. 2061, 1.11. 2061, 1.12. 2061, 1.1. 2062, 1.2. 2062, 1.3. 2062, 1.4. 2062, 1.5. 2062, 1.6. 2062, 1.7. 2062, 1.8. 2062, 1.9. 2062, 1.10. 2062, 1.11. 2062, 1.12. 2062, 1.1. 2063, 1.2. 2063, 1.3. 2063, 1.4. 2063, 1.5. 2063, 1.6. 2063, 1.7. 2063, 1.8. 2063, 1.9. 2063, 1.10. 2063, 1.11. 2063, 1.12. 2063, 1.1. 2064, 1.2. 2064, 1.3. 2064, 1.4. 2064, 1.5. 2064, 1.6. 2064, 1.7. 2064, 1.8. 2064, 1.9. 2064, 1.10. 2064, 1.11. 2064, 1.12. 2064, 1.1. 2065, 1.2. 2065, 1.3. 2065, 1.4. 2065, 1.5. 2065, 1.6. 2065, 1.7. 2065, 1.8. 2065, 1.9. 2065, 1.10. 2065, 1.11. 2065, 1.12. 2065, 1.1. 2066, 1.2. 2066, 1.3. 2066, 1.4. 2066, 1.5. 2066, 1.6. 2066, 1.7. 2066, 1.8. 2066, 1.9. 2066, 1.10. 2066, 1.11. 2066, 1.12. 2066, 1.1. 2067, 1.2. 2067, 1.3. 2067, 1.4. 2067, 1.5. 2067, 1.6. 2067, 1.7. 2067, 1.8. 2067, 1.9. 2067, 1.10. 2067, 1.11. 2067, 1.12. 2067, 1.1. 2068, 1.2. 2068, 1.3. 2068, 1.4. 2068, 1.5. 2068, 1.6. 2068, 1.7. 2068, 1.8. 2068, 1.9. 2068, 1.10. 2068, 1.11. 2068, 1.12. 2068, 1.1. 2069, 1.2. 2069, 1.3. 2069, 1.4. 2069, 1.5. 2069, 1.6. 2069, 1.7. 2069, 1.8. 2069, 1.9. 2069, 1.10. 2069, 1.11. 2069, 1.12. 2069, 1.1. 2070, 1.2. 2070, 1.3. 2070, 1.4. 2070, 1.5. 2070, 1.6. 2070, 1.7. 2070, 1.8. 2070, 1.9. 2070, 1.10. 2070, 1.11. 2070, 1.12. 2070, 1.1. 2071, 1.2. 2071, 1.3. 2071, 1.4. 2071, 1.5. 2071, 1.6. 2071, 1.7. 2071, 1.8. 2071, 1.9. 2071, 1.10. 2071, 1.11. 2071, 1.12. 2071, 1.1. 2072, 1.2. 2072, 1.3. 2072, 1.4. 2072, 1.5. 2072, 1.6. 2072, 1.7. 2072, 1.8. 2072, 1.9. 2072, 1.10. 2072, 1.11. 2072, 1.12. 2072, 1.1. 2073, 1.2. 2073, 1.3. 2073, 1.4. 2073, 1.5. 2073, 1.6. 2073, 1.7. 2073, 1.8. 2073, 1.9. 2073, 1.10. 2073, 1.11. 2073, 1.12. 2073, 1.1. 2074, 1.2. 2074, 1.3. 2074, 1.4. 2074, 1.5. 2074, 1.6. 2074, 1.7. 2074, 1.8. 2074, 1.9. 2074, 1.10. 2074, 1.11. 2074, 1.12. 2074, 1.1. 2075, 1.2. 2075, 1.3. 2075, 1.4. 2075, 1.5. 2075, 1.6. 2075, 1.7. 2075, 1.8. 2075, 1.9. 2075, 1.10. 2075, 1.11. 2075, 1.12. 2075, 1.1. 2076, 1.2. 2076, 1.3. 2076, 1.4. 2076, 1.5. 2076, 1.6. 2076, 1.7. 2076, 1.8. 2076, 1.9. 2076, 1.10. 2076, 1.11. 2076, 1.12. 2076, 1.1. 2077, 1.2. 2077, 1.3. 2077, 1.4. 2077, 1.5. 2077, 1.6. 2077, 1.7. 2077, 1.8. 2077, 1.9. 2077, 1.10. 2077, 1.11. 2077, 1.12. 2077, 1.1. 2078, 1.2. 2078, 1.3. 2078, 1.4. 2078, 1.5. 2078, 1.6. 2078, 1.7. 2078, 1.8. 2078, 1.9. 2078, 1.10. 2078, 1.11. 2078, 1.12. 2078, 1.1. 2079, 1.2. 2079, 1.3. 2079, 1.4. 2079, 1.5. 2079, 1.6. 2079, 1.7. 2079, 1.8. 2079, 1.9. 2079, 1.10. 2079, 1.11. 2079, 1.12. 2079, 1.1. 2080, 1.2. 2080, 1.3. 2080, 1.4. 2080, 1.5. 2080, 1.6. 2080, 1.7. 2080, 1.8. 2080, 1.9. 2080, 1.10. 2080, 1.11. 2080, 1.12. 2080, 1.1. 2081, 1.2. 2081, 1.3. 2081, 1.4. 2081, 1.5. 2081, 1.6. 2081, 1.7. 2081, 1.8. 2081, 1.9. 2081, 1.10. 2081, 1.11. 2081, 1.12. 2081, 1.1. 2082, 1.2. 2082, 1.3. 2082, 1.4. 2082, 1.5. 2082, 1.6. 2082, 1.7. 2082, 1.8. 2082, 1.9. 2082, 1.10. 2082, 1.11. 2082, 1.12. 2082, 1.1. 2083, 1.2. 2083, 1.3. 2083, 1.4. 2083, 1.5. 2083, 1.6. 2083, 1.7. 2083, 1.8. 2083, 1.9. 2083, 1.10. 2083, 1.11. 2083, 1.12. 2083, 1.1. 2084, 1.2. 2084, 1.3. 2084, 1.4. 2084, 1.5. 2084, 1.6. 2084, 1.7. 2084, 1.8. 2084, 1.9. 2084, 1.10. 2084, 1.11. 2084, 1.12. 2084, 1.1. 2085, 1.2. 2085, 1.3. 2085, 1.4. 2085, 1.5. 2085, 1.6. 2085, 1.7. 2085, 1.8. 2085, 1.9. 2085, 1.10. 2085, 1.11. 2085, 1.12. 2085, 1.1. 2086, 1.2. 2086, 1.3. 2086, 1.4. 2086, 1.5. 2086, 1.6. 2086, 1.7. 2086, 1.8. 2086, 1.9. 2086, 1.10. 2086, 1.11. 2086, 1.12. 2086, 1.1. 2087, 1.2. 2087, 1.3. 2087, 1.4. 2087, 1.5. 2087, 1.6. 2087, 1.7. 2087, 1.8. 2087, 1.9. 2087, 1.10. 2087, 1.11. 2087, 1.12. 2087, 1.1. 2088, 1.2. 2088, 1.3. 2088, 1.4. 2088, 1.5. 2088, 1.6. 2088, 1.7. 2088, 1.8. 2088, 1.9. 2088, 1.10. 2088, 1.11. 2088, 1.12. 2088, 1.1. 2089, 1.2. 2089, 1.3. 2089, 1.4. 2089, 1.5. 2089, 1.6. 2089, 1.7. 2089, 1.8. 2089, 1.9. 2089, 1.10. 2089, 1.11. 2089, 1.12. 2089, 1.1. 2090, 1.2. 2090, 1.3. 2090, 1.4. 2090, 1.5. 2090, 1.6. 2090, 1.7. 2090, 1.8. 2090, 1.9. 2090, 1.10. 2090, 1.11. 2090, 1.12. 2090, 1.1. 2091, 1.2. 2091, 1.3. 2091, 1.4. 2091, 1.5. 2091, 1.6. 2091, 1.7. 2091, 1.8. 2091, 1.9. 2091, 1.10. 2091, 1.11. 2091, 1.12. 2091, 1.1. 2092, 1.2. 2092, 1.3. 2092, 1.4. 2092, 1.5. 2092, 1.6. 2092, 1.7. 2092, 1.8. 2092, 1.9. 2092, 1.10. 2092, 1.11. 2092, 1.12. 2092, 1.1. 2093, 1.2. 2093, 1.3. 2093, 1.4. 2093, 1.5. 2093, 1.6. 2093, 1.7. 2093, 1.8. 2093, 1.9. 2093, 1.10. 2093, 1.11. 2093, 1.12. 2093, 1.1. 2094, 1.2. 2094, 1.3. 2094, 1.4. 2094, 1.5. 2094, 1.6. 2094, 1.7. 2094, 1.8. 2094, 1.9. 2094, 1.10. 2094, 1.11. 2094, 1.12. 2094, 1.1. 2095, 1.2. 2095, 1.3. 2095, 1.4. 2095, 1.5. 2095, 1.6. 2095, 1.7. 2095, 1.8. 2095, 1.9. 2095, 1.10. 2095, 1.11. 2095, 1.12. 2095, 1.1. 20

GREEN FOLLOWS FUNCTION ATTRIBUTE

Verbesserung der Datengrundlage für die Vertikal- und Extensivdach-Begrünung SWD-10.08.18.7-20.15

Wolfgang Karl Hofbauer¹, Fiona Wolff², Gunter Mann²

¹ Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP,

² Bundesverband GebäudeGrün e.V. BuGG



BuGG und IBP arbeiten seit Jahren daran, Informationen zu Vertikal- und Horizontal-Begrünungen zusammenzutragen.

Wichtige Attribute im Sinne der Ökosystemleistungen sind Gaswechsel, Verdunstungsleistung und Minderung von Luftschadstoffen.

Für Planungen, Abschätzungen und Modellierung werden diese Daten dringend benötigt. Aus diesem Grund möchten BuGG und IBP mithilfe diesen Mangel zu beheben und in einem mit Mitteln der Zukunft Bau Forschungsförderung durchgeführten Projekt die nötigen Daten bereitstellen. Verarbeitende und Planende sollen in die Lage versetzt werden, für die gewünschte Nutzenanwendung geeignete, bevorzugt heimische Pflanzen auswählen zu können. Grundlage dafür ist die Kenntnis der nutzbaren Pflanzen und deren Attribute.

Unser Motto:

Die richtige Pflanze, am richtigen Platz, für den richtigen Zweck!

In einem öffentlich geförderten Forschungsvorhaben werden

1. Pflanzen-Ressourcen und ihre Attribute mit den Daten aus bestehenden Listen zu einer einheitlichen Gesamtpflanzenliste in einer Datenbank zusammengeführt.
2. Messungen an jeweils bis zu 25 verschiedenen Pflanzen (inklusive „Referenzpflanzen“ mit bereits bekannten Attributen), zunächst beschränkt auf bodengebundene Schling- und Kletterpflanzen oder Pflanzen für die extensive Dachbegrünung (Substratstärke bis 15 cm) durchgeführt. Die Messungen umfassen
 - die Bestimmung der (Evapo-)Transpiration (Lysimeter, Porometer)
 - Gaswechsel: CO₂ – Photosyntheseleistung (Messküvette)
 - Messkonzept zur Feinstaubreduktion und NO_x Aufnahme, Anpassung und Optimierung eines bestehenden Messkonzeptes



Ein bestehendes Messkonzept zur Abschätzung der Feinstaubreduktion durch Pflanzen soll ausgebaut und für die Messung von bodengebundener Fassadenbegrünung angepasst werden. Bildquellen: © Fraunhofer IBP

Ziele

Basierend auf Auswertung bestehender Arbeiten, neuen Messungen, Praxiserfahrungen und botanischem Fachverstand wird ein erster Rahmen gesteckt. Die gewonnenen Daten und Ergebnisse werden in eine open-Source SQL-Datenbank eingepflegt. Der Datenbestand wird Planenden ermöglichen, Pflanzenarten gezielter hinsichtlich der gewünschten Nutzeffekte auszuwählen sowie Modellrechnungen durchzuführen.



Bildquelle: © BuGG

Chancen, Risiken, Stärken und Schwächen

- Unvollständige und kleine Datengrundlage
- Daten nur bedingt vergleichbar – hohe Diversität im Datenbestand
- Einige Messkonzepte sind bereits verfügbar
- Ökologische Zeigerwerte¹ bieten Informationen zu heimischen Pflanzen
- Vergleichsweise wenige Messungen sind möglich
- Nicht alle gewünschten Parameter können je Pflanzenart abgedeckt werden
- Verzögerung durch Pandemie (Abschlussarbeiten)
- Guter Austausch mit anderen Forschungsprojekten in DE/AT/CH

Aktueller Projektstand

- Bisher ca. 900 Pflanzenarten/Kultursorten in die Liste aufgenommen
- Schwerpunkt extensive Dachbegrünung und bodengebundene Fassadenbegrünung
- Bisher mehr als 300 Quellen berücksichtigt
- Im Sinne der Ökosystemleistungen sehr diverser Datenbestand
- Weitere Quellen werden bearbeitet
- Pflanzenreferenzliste (Prioritätsartenliste) abgestimmt
- Abschlussarbeiten können starten, Messungen werden vorbereitet

Kontakt

Dr. Wolfgang Karl Hofbauer
Projektleitung

Tel. +49 (0)8024 643 219
Fax +49 (0)8024 643 366

wolfgang.hofbauer@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstraße 10
83626 Valley
www.fraunhofer.de

Fiona Wolff
Referentin für Projektarbeit

Tel. +49 (0)681-9880570

fiona.wolff@bugg.de

Bundesverband GebäudeGrün e.V.
Albrechtstraße 13
10117 Berlin
www.gebaeudegruen.info

¹ H. Ellenberg, H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner, D. Paulißen: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18, 2. Auflage, 1992



Das Projekt wird mit Mitteln der Zukunft Bau Forschungsförderung durchgeführt.

