

Autorinnen und Autoren

Susanne Herfort
Kerstin Pflanz
Christel Kappis
Gunter Mann
Steffi Tschuikowa
Felicitas Bechstein
Virginia Maß

BBSR-
Online-Publikation
29/2021

Gründachpflege

Gründachpflege

Nachhaltige Sicherstellung der positiven Wirkungen von Dachbegrünungen
durch fachgerechte Pflege und Wartung

Gefördert durch:



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
F O R S C H U N G S F Ö R D E R U N G

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Auftrag des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-17.37

Projektlaufzeit: 09/2017–12/2020

Impressum

Herausgeber

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

Fachbetreuer

Dr. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung im Bauwesen“
zb@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP)
Susanne Herfort (Projektleitung)
susanne.herfort@iasp.hu-berlin.de
Kerstin Pflanz, Christel Kappis, Gunter Mann, Steffi Tschuikowa, Felicitas Bechstein, Virginia Maß

Redaktion

Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP), Berlin
Susanne Herfort/Kerstin Pflanz/Christel Kappis

Stand

September 2021

Gestaltung

Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP), Berlin

Bildnachweis

Titelbild: Susanne Herfort (Dach des METRO Großmarktes in Berlin-Friedrichshain)
Alle Abbildungen: Susanne Herfort, außer:
Benjamin Herfort, S. 88, 89
Dominik Joswig, S. 80
OpenStreetMap-Mitwirkende, S. 10
Kerstin Pflanz, S. 81, 82, 83, 84, 85

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

Herfort, Susanne; Pflanz, Kerstin; Kappis, Christel; Mann, Gunter; Tschuikowa, Steffi; Bechstein, Felicitas; Maß, Virginia: Gründachpflege: Nachhaltige Sicherstellung der positiven Wirkungen von Dachbegrünungen durch fachgerechte Pflege und Wartung
BBSR-Online-Publikation 29/2021, Bonn, November 2021.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Abstract	7
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangssituation	8
1.2 Untersuchungsgegenstand	9
2 Problemstellung	11
2.1 Stand der Forschung / Baupraxis	11
2.2 Extensive Dachbegrünungen	13
2.2.1 Extensive Dachbegrünungen unterteilt nach der Bauweise	14
2.2.2 Extensive Dachbegrünungen unterteilt nach der Substrathöhe und der Vegetation	14
2.2.3 Extensive Dachbegrünungen unterteilt nach der Funktion der Begrünung bzw. des Daches	18
2.3 Intensive Dachbegrünungen	22
2.4 Forschungslücke	24
3 Zielstellung	26
4 Forschungsdesign	27
4.1 Arbeitshypothesen	27
4.2 Methodisches Vorgehen	28
4.3 Projektteam	30
4.4 Arbeitspakete	30
5 Bestandsaufnahmen von Dachbegrünungen	31
5.1 Klimatische Bedingungen	31
5.2 Auswahl von extensiven Dachbegrünungen	34
6 Ursachenforschung für den unterschiedlichen Vegetationszustand	36
6.1 Untersuchung des Pflegezustandes	36
6.2 Physikalisch-chemische Untersuchungen der Substrate	40
6.3 Temperaturuntersuchungen auf extensiven Dachbegrünungen	46
7 Praxisuntersuchungen zur Optimierung der Pflege und Wartung	52
7.1 Düngerversuche	53
7.1.1 Düngerversuche in Berlin	53
7.1.2 Düngerversuche in Stuttgart	56
7.1.3 Dünger für die extensive Dachbegrünung	60
7.2 Bewässerung	63
7.3 Pflegegänge	63

8	Ergebnisse	68
8.1	Konzeption zur Unterhaltungspflege	68
8.2	Konzeption zur Wartung	69
8.3	Mängel der Dachbegrünung und Schäden	69
8.4	Pflegeaufwand und Nutzen der Dachbegrünung	78
8.5	Entwicklung einer Gründachpflege-App	80
9	Zusammenfassung	86
10	Ausblick	87
11	Verzeichnisse	91
11.1	Literaturverzeichnis	91
11.2	Abbildungsverzeichnis	93
11.3	Tabellenverzeichnis	97
12	Anhang	98
Anlage 1	Checkliste für die Objektbegehung	99
Anlage 2	Pflegedaten	103
Anlage 3	Untersuchte Dachbegrünungen in Berlin	104
Anlage 4	Untersuchte Dachbegrünungen in Hamburg	108
Anlage 5	Untersuchte Dachbegrünungen in München	110
Anlage 6	Untersuchte Dachbegrünungen in Stuttgart	112
Anlage 7	Objektangaben	115
Anlage 8	Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate der untersuchten Dachbegrünungen	118
Anlage 9	Ausgewählte Stoffparameter der Substrate der untersuchten Dachbegrünungen	121
Anlage 10	Aufgenommene Klimadaten im Rahmen des Versuchszeitraumes	124
	Danksagung	128

Kurzfassung

Jährlich werden 7,2 Mio. m² Dachfläche in Deutschland begrünt (BUNDESVERBAND GEBÄUDEGRÜN E.V. (BuGG), 2020). Dadurch können viele positive ökologische und ökonomische Effekte sowohl für das Stadtklima als auch für das Bauwerk erreicht werden. Für eine hohe Nachhaltigkeit der Begrünung ist vor allem eine entsprechende Pflege und Wartung notwendig, die zwar in den einschlägigen Normen und Richtlinien gefordert, jedoch aus unterschiedlichen Gründen nicht richtlinienkonform umgesetzt wird.

Ziel des Projektes war es, die Ursachen für Vegetationsausfälle aufgrund fehlender bzw. falscher Pflege in Abhängigkeit von unterschiedlichen Dachbegrünungssystemen und Regionen wissenschaftlich zu ermitteln und praktikable Lösungsvorschläge für die Erhaltung bzw. Wiederherstellung einer funktionierenden Dachbegrünung abzuleiten. Dazu wurden Untersuchungen zur Pflege und Wartung anhand von insgesamt 74 extensiven Dachbegrünungen in Hamburg, Berlin, Stuttgart und München durchgeführt.

Außerdem erfolgten wissenschaftliche Untersuchungen zu verschiedenen Düngemitteln und ihren Auswirkungen auf den Deckungsgrad der Vegetation sowie deren Artenvielfalt. Die Substratqualität wurde auf den extensiven Dachbegrünungen ebenfalls untersucht und bewertet.

Es wurden letztlich anschauliche Hinweise zur einfachen, aber fachgerechten Pflege erarbeitet, die in dieser Form bisher nicht vorliegen.

Die anwendungsorientierten Arbeitshilfen sind im Internet, in Form einer webbasierten App abrufbar unter <https://pflege-dachbegruenung.de> und als Drucksache mit dem Titel „Hinweise zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen“ (HERFORT, S.; PFLANZ, K., 2021) für jedermann schnell und einfach zugänglich. Praxisnahe Seminare sollen in Zukunft die richtige Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen unterstützen.

Abstract

Every year 7.2 million m² of roof area are planted in Germany (BUNDESVERBAND GEBÄUDEGRÜN E.V. (BUGG), 2020). As a result, many positive ecological and economic effects can be achieved both for the urban climate and for the building. For a high sustainability of the greening is above all an appropriate care and maintenance necessary, which is required in the relevant standards and guidelines, but for various reasons is not implemented in accordance with the directive.

The aim was to scientifically determine the causes of vegetation losses due to lack of or incorrect maintenance depending on different green roof systems and regions and to derive practical solutions for the maintenance or restoration of a functioning green roof. For this purpose, studies on care and maintenance were carried out on the basis of a total of 74 extensive green roofs in Hamburg, Berlin, Stuttgart and Munich.

Scientific studies were also carried out with various fertilizers and the degree of vegetation cover and biodiversity were determined. The substrate quality was also examined and assessed on the extensive green roofs.

Ultimately, clear instructions for simple, but professional maintenance were developed, which have not yet existed.

The application-oriented work aids are available on the Internet in the form of a web-based app at <https://pflege-dachbegruenung.de> and as printed matter with the title "Instructions for the care and maintenance of extensive green roofs" (HERFORT, S.; PFLANZ, K., 2021) quickly and easily accessible for everyone. Practical seminars should support the correct care and maintenance of extensive green roofs in the future.

1 Einleitung

Für viele Städte sind Ausführungen von Dachbegrünungen mittlerweile zur Selbstverständlichkeit geworden. Sie sorgen für ein positiveres Stadtklima und können, je nach Ausführungsart, auch eine hohe Biodiversität aufweisen. Zudem treten sie dem Verlust an Vegetationsfläche durch den steigenden Flächenverbrauch entgegen. Unterstützt werden diese Baumaßnahmen zur zusätzlichen Begrünung auf Dächern oftmals durch kommunale Förderprogramme und durch Zuschüsse beim Niederschlagswasserentgelt.

Bei der Betrachtung aller Baumaßnahmen in Deutschland wird deutlich, dass der Wohnungsbau mit einem Anteil von fast 57 % des gesamten Bauvolumens (2019) den größten Sektor ausmacht (DEUTSCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG BERLIN, 2020). Der gewerbliche Hochbau mit ca. 20 % Bauvolumen könnte in der Zukunft ebenfalls ein potenzieller Anwender von Dachbegrünungen sein. Der öffentliche Hochbau mit einem Bauvolumen von 5 % stellt eher eine Nische dar, wobei öffentliche Gebäude mit Dachbegrünungen eine besondere Vorbildfunktion einnehmen würden und daher nicht zu vernachlässigen sind.

1.1 Ausgangssituation

Nach Angaben des Bundesverbandes GebäudeGrün (BUNDESVERBAND GEBÄUDEGRÜN E.V. (BUGG) (2020)) wurden in Deutschland in den letzten Jahren jährlich mindestens 5 Mio. bis 7,2 Mio. m² Dachfläche begrünt, was positiv zu bewerten ist, wobei das Potenzial aber wesentlich höher liegt und aufgrund der weiter steigenden Investitionen in der Baubranche ausgebaut werden muss. 85 % der Dachbegrünungen werden extensiv gebaut. Diese zeichnen sich durch eine relative Dünnschichtigkeit und eine geringe Tragfähigkeit des Systems sowie einen relativ niedrigen Pflegeaufwand aus (detailliert im Kapitel 2.2 beschrieben). 15 % der Systeme sind intensiv begrünt. Hierbei handelt es sich um Systeme mit einem höheren Vegetationsaufbau und einem größeren Pflegeaufwand (siehe Kapitel 2.3).

Positiv anzumerken ist, dass der Trend zu begrünten Dächern aufgrund der immer weiter fortschreitenden vegetationstechnischen Lösungen anhält. Somit können durch Dachbegrünungen die Gebäudeoberflächen vor mechanischen und thermischen Belastungen geschützt werden, und insbesondere im Sommer heizt sich die oberste Etage nicht so stark auf. Dachbegrünungen können demzufolge wie eine Klimaanlage fungieren. Seit 2014 werden Dachbegrünungen auch als Wärmedämmmaßnahme durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) im Programm „Energieeffizient Sanieren“ gefördert (HERFORT, 2014).

Begrünte Dächer sind aber vor allem in der Lage, Niederschläge aufzunehmen und zu speichern. Die Retentionsfähigkeit von Dachbegrünungen kann durch zusätzlich eingebaute Module erhöht werden. Die große Bedeutung von Dachbegrünungen für die Regenwasserrückhaltung liegt auch darin, dass der Wasserabfluss vom Dach nach einer Regenwasserspitze deutlich verzögert, in einer geringeren Intensität und gleichmäßiger erfolgt. Somit kann einer Überlastung der Kanalisation und möglichen Überschwemmungen entgegen gewirkt werden.

Aufgrund der zusätzlichen Verdunstung, die von Dachbegrünungen ausgeht, reduzieren sie zudem den städtischen Hitzeinsel-Effekt und sind somit eine sehr gute Klimaanpassungsmaßnahme. Dachbegrünungen stellen aber auch einen wertvollen Lebensraum für das urbane Pflanzen- und Tierreich dar, der aufgrund der Bebauung verlorengegangen ist. Darüber hinaus können begrünte Dächer den städtischen Lärm absorbieren und Schadstoffe aus der Luft aufnehmen.

Ebenso wie öffentliche Grünflächen in der Stadt müssen extensive Dachbegrünungen regelmäßig gepflegt und gewartet werden, um die Funktionalität der Begrünung, aber auch um die Gebäudesubstanz bestmöglich erhalten zu können. Eine vernachlässigte Pflege kann zu Fehlentwicklungen in der Vegetation bis hin zur Ausbildung von Fehlstellen in der Vegetation führen. Dies wiederum kann das Freilegen des Substrates und der Dachhaut begünstigen und diese in ihrer Funktion beeinträchtigen. Aber auch die Ausbildung von unerwünschter Vegetation kann Schäden auf dem Dach verursachen, wenn zum Beispiel Gehölzsämlinge nicht regelmäßig entfernt werden und diese die Chance haben, sich fest auf dem Dach zu etablieren und die Dachlast dadurch erhöhen.

Die Pflege der extensiven Dachbegrünungen, die einzig in der Verantwortung der Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümer liegt, wird bei öffentlichen Gebäuden leider nicht immer fachgerecht ausgeschrieben und durchgeführt. Aber auch bei privaten Gebäuden müssen stets regelmäßige Pflegegänge durchgeführt werden, wofür die Privatpersonen selbst verantwortlich sind.

Eine Vernachlässigung der Pflege von Dachbegrünungen bedeutet immer, dass Schäden, wenn auch erst Jahre später, auf der Dachoberfläche auftreten können (z. B. Dachundichtigkeiten), die sich zu Lasten der Gebäudequalität auswirken und zu zusätzlichen Kosten führen.

Zu berücksichtigen ist auch, dass für die Pflege von Dachbegrünungen eine besondere Fachkunde erforderlich ist. Wenn die Pflege nicht von gärtnerisch geschultem Fachpersonal vorgenommen wird, können Pflegegänge womöglich nicht immer optimal ausgeführt werden und sowohl ökonomische als auch ökologische Nachteile an Bauwerk und Begrünung entstehen.

Dieses Forschungsprojekt sowie die Erarbeitung einer Pflege-App und einer übersichtlichen Pflege-Broschüre sollen helfen, die Pflegearbeiten auf dem Dach fachgerecht für jedermann zu unterstützen.

1.2 Untersuchungsgegenstand

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojektes wurde der vegetative Zustand von langjährig bestehenden extensiven Dachbegrünungen in Abhängigkeit von der durchgeführten Pflege und Wartung untersucht. Es sollte ermittelt werden, ob die Empfehlungen der FLL-Dachbegrünungsrichtlinien (FLL - FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V., 2018) und der FLL-Pflegehinweise (FLL - FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V., 2002) hinsichtlich der Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen in der Praxis Anwendung finden. Vor allem die von der FLL empfohlene Düngung während der Pflegedurchführung wurde hinterfragt. Parallel dazu wurden Düngeversuche mit verschiedenen Düngemitteln und unterschiedlichen Stickstoffkonzentrationen durchgeführt.

Die Untersuchungen wurden in vier Städten Deutschlands vorgenommen. Bei den ausgewählten Städten handelt es sich um Hamburg, Berlin, Stuttgart und München, die sich sowohl geografisch als auch klimatisch unterscheiden (Abbildung 1). Insbesondere die Niederschläge und die monatlichen Temperaturen weichen in den vier ausgewählten Städten stark voneinander ab. Es wurde untersucht, inwiefern sich diese örtlichen und klimatischen Gegebenheiten auf die Pflanzenentwicklung auswirken.

Des Weiteren wurde die These vertreten, dass für ein ausgewogenes Pflanzenwachstum neben dem notwendigen Pflege- und Wartungsaufwand auch die Substrateigenschaften eine große Rolle für ein optimales Pflanzenwachstum spielen. Daher wurden die Substrate anhand ausgewählter physikalischer und chemischer Parameter, die für die Pflanzenphysiologie eine besondere Bedeutung haben, in Anlehnung an die FLL-Dachbegrünungsrichtlinien näher untersucht. Insbesondere die Wasserspeicherefähigkeit und das Luftporenvolumen, aber auch die Nährstoffgehalte der Substrate standen dabei im Vordergrund.



Abbildung 1 Untersuchungsgegenstand in Deutschland (Quelle: © OpenStreetMap-Mitwirkende, modifiziert Susanne Herfort)

2 Problemstellung

Extensive Dachbegrünungen werden vom Menschen nur dann tatsächlich wahrgenommen, wenn die Möglichkeit besteht, sie direkt zu begehen, oder wenn diese von höheren Gebäuden eingesehen werden können. Ansonsten sind extensive Dachbegrünungen in der Regel nur dem Facility-Management bzw. dem Pflege- und Wartungspersonal zugänglich und genießen nicht das Ansehen wie intensive Dachbegrünungen oder städtisches Grün und Parkanlagen, die vom Menschen stark genutzt werden.

Es ist nur wenigen Gebäudeeigentümerinnen und Gebäudeeigentümern bekannt, wie sich ein optimales Pflanzenwachstum auf den extensiven Dachbegrünungen entwickeln sollte und in welchem Rahmen die extensiven Dachbegrünungen tatsächlich gepflegt und gewartet werden müssen. Veröffentlichungen zu diesem Thema sind ebenfalls rar. Zumeist ist den Eigentümerinnen und Eigentümern auch der aktuelle Zustand der Dachbegrünung nicht bekannt, und das Interesse an einer fachgerechten Ausführung der Pflege hat keine hohe Priorität.

Unterstützend für die Zustandsbeurteilung von extensiven Dachbegrünungen können frei zugängliche Luftbilddaufnahmen sein, dennoch ersetzen diese nicht die Pflege- und Wartungsgänge. Die Aufnahmen sind dahingehend von Bedeutung, dass durch sie eine erste Beurteilung des Pflanzenzustands auf diesen Dächern erfolgen kann. In vielen Fällen erscheint der Pflanzenzustand aufgrund der extremen Braunfärbung der Dachbegrünungen tatsächlich nicht optimal. Das gab den Anlass zu vermuten, dass entweder eine ungenügende Pflege oder aber andere ungünstige Bedingungen vor Ort die Ursache für den nicht optimalen Bewuchs der extensiven Dachbegrünungen ist.

Aufgrund der Fragestellung, ob es sich hierbei um ein regionales oder gesamtdeutsches Problem handelt, wurden die Untersuchungen, wie oben aufgeführt, an regional und klimatisch differenzierten Standorten durchgeführt.

2.1 Stand der Forschung / Baupraxis

Der große Boom der Errichtung von Dachbegrünungen in Deutschland erfolgte in den 1970er Jahren und hält bis heute an. In den 1980er Jahren wurden zudem viele Altbauten mit Schrägdächern im Nachhinein begrünt. Mittlerweile haben sich extensive Dachbegrünungen fest in Bebauungsplänen etabliert, so dass bei Neubauten eine Dachbegrünung fast immer mit eingeplant wird. Extensive Dachbegrünungen sind preiswert und unterscheiden sich von intensiven Dachbegrünungen wie folgt:

1. Die „Extensivbegrünung“ (Abbildung 2) hat einen niedrigen Begrünungsaufbau und ist meist mit geringer Pflege verbunden. Die Nutzung der Extensivbegrünung durch den Menschen erfolgt nur selten.
2. Dem gegenüber steht die „Intensivbegrünung“ (Abbildung 11). Sie hat einen höheren Begrünungsaufbau mit gartenähnlichem Charakter. In der Regel wird sie durch den Menschen intensiv genutzt und umfasst einen höheren Pflegeaufwand.

Der Übergang zwischen Extensiv- und Intensivbegrünung ist fließend und wird als „Einfache Intensivbegrünung“ bezeichnet.

Extensive Dachbegrünungen machen, wie oben erwähnt, mit 85 % den Großteil der Dachbegrünungen in Deutschland aus und sollen im Fokus des Forschungsprojektes stehen. Die restlichen 15 % sind Dachbegrünungen mit intensivem Charakter.

Bezüglich der Bauweise von extensiven Dachbegrünungen haben sich diese in den letzten 30 Jahren rasant weiterentwickelt, und mittlerweile gibt es verschiedenste Unterscheidungskriterien. In der Literatur werden ausführlich der Systemaufbau, aber auch die Fehlervermeidung bei der Ausführung diskutiert (ALTHAUS & UHLIG, 2004; ERNST, 2002; KÖHLER ET AL., 2012; KOLB & SCHWARZ, 2016; KRUPKA, 1992). Dennoch sollen zum besseren Verständnis die prägnanten Unterscheidungsmerkmale von Extensivbegrünungen hier noch einmal kurz charakterisiert werden.



Abbildung 2 Extensive Dachbegrünung der ECE Group Services G.m.b.H. & Co. KG in Hamburg (© Susanne Herfort)

2.2 Extensive Dachbegrünungen

Die Begrünung hat zum Ziel, den Eingriffen in den Naturhaushalt entgegenzuwirken und zusätzliche Lebensräume für Flora und Fauna zu schaffen und somit als Klimaanpassungsmaßnahme zu fungieren. Des Weiteren spielen Extensivbegrünungen eine wichtige Rolle hinsichtlich der Regenwasserbewirtschaftung. Durch die Speicherung und das zeitverzögerte Abfließen des Regenwassers werden vor allem bei Starkregenereignissen kommunale Entwässerungssysteme entlastet.

Bei extensiven Dachbegrünungen kommen vorwiegend leicht zu pflegende Pflanzen zum Einsatz, die niedrige Ansprüche an die Umgebung haben und somit für den Dachbereich bestens geeignet sind. Zu diesen Pflanzen zählen insbesondere Sedum, Moose, Gräser und Kräuter. Die Vegetation ist meist niedrigwüchsig und kann sich weitestgehend selbst erhalten, so dass nur eine minimale Pflege notwendig ist. Aufgrund des Wechsels der Jahreszeiten und der klimatischen Veränderungen sind Bestandsumbildungen bei Extensivbegrünungen möglich.

Der Aufbau von Extensivbegrünungen ist dünn-schichtig und von geringem Gewicht (bis ca. 190 kg/m²) – im Gegensatz zu intensiven Dachbegrünungen, die mehr als 300 kg/m² aufweisen. Vorzugsweise werden Flachdächer extensiv begrünt, wobei auch die Begrünung von Dächern mit einer Neigung bis 45 Grad möglich ist. Extensive Dachbegrünungen zeichnen sich wie folgt aus (Tabelle 1):

Tabelle 1 Hauptmerkmale von extensiven Dachbegrünungen

Dachneigung:	0° bis 45°
Pflanzen:	Sedum, Moose, Gräser, Kräuter
Aufbauhöhe:	ca. 4–20 cm
Gewicht:	ab 30 kg/m ² –ca. 190 kg/m ²
Pflegeaufwand:	niedrig bis mittel im Vergleich zu intensiven Dachbegrünungen
Einsatzbereiche:	u. a. Minderungsmaßnahme bei der Eingriffs-Ausgleichs-Regelung, Element der Regenwasserbewirtschaftung, Solar-Gründächer

Extensivbegrünungen können, wie oben beschrieben, verschieden sein und sich je nach den gestellten Ansprüchen des Bauherren voneinander unterscheiden, wie zum Beispiel in den folgenden Parametern:

- Bauweise: einschichtig oder mehrschichtig,
- eingesetzte Pflanzenmischungen/Vegetationsformen und Substrathöhe,
- Ausbringungsart der Vegetation (Sprossenaussaat, Pflanzung bzw. Einsatz von vor-kultivierten Vegetationsmatten),
- Gewicht im wassergesättigten Zustand
- Funktionalität wie z. B.:
 - Leichtdach mit sehr geringem Gewicht,
 - Retentionsdach als Element der Regenwasserbewirtschaftung (in Abhängigkeit von der Substratdicke und der maximalen Wasserkapazität der Substrate sowie den eingebauten Dränageelementen),
 - Biodiversitätsdach zur Erhöhung der biologischen Vielfalt,
 - Solar-Gründach zur zusätzlichen Energiegewinnung.

2.2.1 Extensive Dachbegrünungen unterteilt nach der Bauweise

Eine extensive Dachbegrünung wird generell nach dem Schichtaufbau klassifiziert, wobei dieser vor Ort nicht immer erkennbar und insbesondere bei älteren Dächern oftmals nicht bekannt ist. Hierbei unterscheidet man:

- einschichtige Bauweise,
- mehrschichtige Bauweise.

Der Unterschied zwischen den zwei verschiedenen Bauweisen besteht vor allem darin, dass bei der einschichtigen Bauweise die Vegetationstragschicht auch dränende Eigenschaften aufweist. Bei der mehrschichtigen Bauweise wird zusätzlich zur Vegetationstragschicht eine Drän-schicht eingebaut. Dies hat insbesondere einen Vorteil in Regionen, in denen es oft und stark regnet. Somit kann das überschüssige Wasser schnell abgeleitet und Staunässe vermieden werden.

2.2.2 Extensive Dachbegrünungen unterteilt nach der Substrathöhe und der Vegetation

Extensivbegrünungen werden zudem oftmals hinsichtlich des Pflanzeneinsatzes und der dadurch bedingten Substratstärke (Tabelle 2) unterteilt in:

- Moos-Sedum-Begrünung (Abbildung 3),
- Sedum-Moos-Kraut (Abbildung 4),
- Sedum-Kraut-Gras-Begrünung (Abbildung 5),
- Gras-Kraut-Sedum-Begrünung (Abbildung 6).

Diese unterschiedlichen Formen der Begrünung weisen geringe bis mittlere Substrathöhen und eine maximale Wasserkapazität bis ca. 60 % auf und eignen sich für die einfache und schnelle Begrünung großer Dachflächen sehr gut. Es sollte jedoch insbesondere beim Einsatz von Gräsern und Kräutern darauf geachtet werden, dass das Substrat eine ausreichende maximale Wasserkapazität hat.

Tabelle 2 Technische Daten von extensiven Dachbegrünungen

Parameter	Moos-Sedum-Dach	Sedum-Moos-Kraut-Dach	Sedum-Kraut-Gras-Dach	Gras-Kraut-Sedum-Dach
Substrathöhe (nach FLL 2018)	4–8 cm	6–10 cm	10–15 cm	15–20 cm
Vegetationsform	Moos-Sedum	Sedum-Moos-Kräuter	Sedum-Kräuter-Gräser	Gräser- Kräuter-Sedum
Bevorzugte Ausbringungsart	Vorkultivierte Vegetationsmatte oder Sprossenansaat	Ansaat mit Saatgut und Sprossen	Ansaat mit Saatgut und Sprossen	Pflanzung und/oder Ansaat mit Saatgut und Sprossen
Gewicht (wasser-gesättigt) (nach Angaben von verschiedenen Herstellern)	30–80 kg/m ²	70–90 kg/m ²	90–150 kg/m ²	150–190 kg/m ²
Wasserrückhaltung im Jahresmittel (nach FLL 2018)	ca. 45 %	ca. 50 %	ca. 50–55 %	ca. 55–60 %
Wasserspeicher-fähigkeit (nach Angaben von verschiedenen Herstellern)	ca. 14–23 l/m ²	ca. 21–28 l/m ²	ca. 28–45 l/m ²	ab ca. 45 l/m ²



Abbildung 3 Moos-Sedum-Begrünung (© Susanne Herfort)



Abbildung 4 Sedum-Moos-Kraut-Begrünung (© Susanne Herfort)



Abbildung 5 Sedum-Kraut-Gras-Begrünung (© Susanne Herfort)



Abbildung 6 Gras-Kraut-Sedum-Begrünung (© Susanne Herfort)

2.2.3 Extensive Dachbegrünungen unterteilt nach der Funktion der Begrünung bzw. des Daches

Extensive Dachbegrünungen können weiterhin aufgrund des Gewichtes bzw. hinsichtlich der zu erfüllenden Funktion unterteilt werden in:

- Leichtdach,
- Retentionsdach,
- Biodiversitätsdach,
- Solar-Gründach.

Das **Leichtdach** (Abbildung 7) zeichnet sich vor allem durch eine extrem dünnsschichtige Bauweise aus (Substratdicke ca. 4–6 cm). Somit können insbesondere Dächer mit sehr niedrigen Tragfähigkeiten begrünt werden. Hier kommen nur geringe Substratdicken zum Einsatz. Folglich können auf diesen Dächern nur Pflanzen eingesetzt werden, die auf geringen Substratschichten wachsen, wie Moose und Sedumarten. Hinzu kommt, dass die Wasserrückhaltung dementsprechend niedrig ist.



Abbildung 7 Leichtdach (© Susanne Herfort)

Das **Retentionsdach** (Abbildung 8) ermöglicht durch eine Dränageschicht mit zusätzlich angelegten Stauräumen eine erhöhte Aufnahme und Speicherung von Regenwasser, um die Pflanzen zu bewässern. Das Retentionsdach hat als Besonderheit den Einbau einer sogenannten „Drossel“, um den maximalen Wasserabfluss über ein Anstauenelement zu steuern und über mehrere Stunden oder Tage reguliert abzugeben. Die Statik von Retentionsdächern ist gesondert zu betrachten. Hier sind Ausführungen für Extensivbegrünungen und Intensivbegrünungen, je nach Substratschichtdicke, möglich. Ein gefälleloses Dach ist jedoch Voraussetzung für den Einbau eines Retentionsdaches.



Abbildung 8 Retentionsdach (© Susanne Herfort)

Das **Biodiversitätsdach** (Abbildung 9) weist unterschiedliche Oberflächen und Substrathöhen (ca. 8–15 cm, mit Anhögelungen bis zu 30 cm) sowie verschiedene Gestaltungselemente auf. Durch eine gezielte und vielfältige Auswahl an Pflanzen bevorzugen insbesondere Insekten und Vögel diese Art der Dachbegrünung. Das Biodiversitätsdach kann ebenfalls intensiven Charakter aufweisen, zum Beispiel durch die Anhäufung von Substrathügeln und das Bepflanzen mit höherwüchsigen Stauden oder Sträuchern, wobei die Statik besonders berücksichtigt werden muss. Totholz und Nisthilfen als Verstecke für Vögel und Insekten, aber auch Vogeltränken und Sandlinsen sind ebenfalls auf diesen Dächern vorzufinden.

Die Pflege von Biodiversitätsgründächern ist etwas aufwendiger als bei normalen Kraut-Gras-Sedum-Dächern, da hier die zusätzlich aufgebrachten Materialien auf dem Dach Berücksichtigung finden müssen.



Abbildung 9 Biodiversitätsdach (© Susanne Herfort)

Das **Solar-Gründach** (Abbildung 10) ist eine Kombination einer Photovoltaikanlage mit einer extensiven Dachbegrünung. Hierbei kommen meist niedrigwüchsige Pflanzen wie Sedumarten zum Einsatz, aber auch Kraut-Gras-Sedum-Begrünungen sind oftmals vorzufinden. Eine Begrünung wirkt sich positiv auf eine Solaranlage aus, da durch die Verdunstungskühle der Vegetation die Leistungsfähigkeit der Solaranlage erhöht wird und zudem das Gründach die Dachabdichtung vor thermischer und mechanischer Beanspruchung schützt. Des Weiteren gibt es Photovoltaikanlagen, die durch das Gewicht des Gründachaufbaus auflastgehalten sind, so dass keine Durchdringung der Dachhaut notwendig ist.

Die Pflege der Solar-Gründächer ist dahingehend komplex, da verschiedene Aufbauten von Photovoltaikanlagen eine zugängliche Pflege nicht immer ermöglichen. Es sollten vor allem niedrigwüchsige Pflanzen in Kombination mit einer Photovoltaikanlage Berücksichtigung finden, um die Gründachpflege zu erleichtern. Eine Broschüre zum „Solar-Gründach“ kann gesondert über den BuGG als Fachinformation bezogen werden (MANN & MOLLENHAUER, 2020).



Abbildung 10 Solar-Gründach (© Susanne Herfort)

2.3 Intensive Dachbegrünungen

Intensive Dachbegrünungen (Tabelle 3, Abbildung 11) in Form von Dachgärten – z. B. als Aufenthaltsflächen oder als lukrative, auf eine wirksame Optik des Daches ausgerichtete Begrünung – spielen eine immer bedeutendere Rolle bei der Begrünung von Dächern und deren Nutzung. Die Vegetation kann aus mehrjährigen Stauden und Sträuchern sowie Bäumen und Rasenflächen bestehen. Auch Spiel- und Wasserflächen sind oftmals auf Dächern mit intensivem Charakter vorzufinden. Die Bewässerung der Pflanzen erfolgt meist vollautomatisch. In der Regel werden Flachdächer oder Tiefgaragen intensiv begrünt und als Dachgarten genutzt. Sie dienen zudem auch als Pausenort für Angestellte und Besucher von Firmen und öffentlichen Einrichtungen. Intensiv begrünte Dächer von Hausgemeinschaften sind heutzutage keine Seltenheit mehr, die oftmals vor dem Bau des Hauses durch die Bewohnerinnen und Bewohner mitgeplant werden können. Begehbare Flächen wie Wege oder Terrassen sowie Fahrbeläge können ebenfalls Berücksichtigung finden. Die Pflege und die Wartung der Intensivbegrünungen sind ähnlich anspruchsvoll wie die von gestalteten Gärten, die in der Regel von geschultem Fachpersonal aus dem Garten- und Landschaftsbau übernommen werden. Die Pflege von Intensivbegrünungen wurde, wie oben angemerkt, in diesem Projekt nicht untersucht.

Tabelle 3 Hauptmerkmale von intensiven Dachbegrünungen

Dachneigung:	0° bis 5°
Pflanzen:	Stauden, Sträucher, Bäume, Rasen sowie Obst- und Gemüsekulturen
Aufbauhöhe:	ca. 25–100 cm
Gewicht:	ca. 300 kg/m ² –1.200 kg/m ²
Pflegeaufwand:	hoch im Vergleich zu extensiven Dachbegrünungen
Einsatzbereiche:	u. a. zusätzliche Flächen für Erholung und Sport, aber auch für Gärtnern in der Stadt (Urban Farming)



Abbildung 11 Intensive Dachbegrünung der Wiegmann Klinik in Berlin (© Susanne Herfort)

2.4 Forschungslücke

Die Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen – Dachbegrünungsrichtlinien – (FLL - FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V., 2018) dienen als Handlungsempfehlung für die Planung, den Bau und die Instandhaltung von Dachbegrünungen. In diesen Richtlinien ist auch das Kapitel „Instandhaltungsleistungen zur Entwicklung und Unterhaltung von Vegetation (Entwicklungs- und Unterhaltungspflege), Wartungsarbeiten“ enthalten. Darin sind die wichtigsten Maßnahmen für eine notwendige Pflege und Wartung von intensiven und von extensiven Dachbegrünungen aufgeführt. Aufgrund der oben angeführten vielfältigen Beispiele für die extensive Dachbegrünung wird deutlich, dass Sachverstand beim pflegenden Personal für das Funktionieren der Begrünung und des Schutzes der Gebäudeoberfläche unbedingt erforderlich ist.

Es wird in den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien deutlich gemacht, dass direkt nach dem Einbau der extensiven Dachbegrünung eine Fertigstellungspflege erfolgen muss, um den Anwuchserfolg zu gewährleisten. Diese Arbeiten werden von Fachbetrieben des Garten- und Landschaftsbaus ausgeübt und dauern in der Regel etwa 12 Monate. Im Anschluss an die Fertigstellungspflege, wenn ein bestimmter Deckungsgrad der Vegetation erreicht ist und die fachmännische Abnahme der Dachbegrünung erfolgen kann, setzt die Entwicklungspflege ein, die zum Ziel hat, den funktionsfähigen Zustand der Dachbegrünung zu erreichen. Im Anschluss daran erfolgt die Unterhaltungspflege. Für die Pflege der extensiven Dachbegrünungen sind Pflegegänge zu festgesetzten Terminen notwendig. Laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien können 2 bis 4 Pflegegänge pro Jahr erforderlich werden.

Die Unterhaltungspflege, die in diesem Projekt Gegenstand sein soll, beinhaltet laut FLL folgende Punkte:

- Versorgung mit Nährstoffen (Empfehlung: 5 g Stickstoff/m² und Jahr mit einem umhüllten NPK-Langzeitdünger),
- Bewässerung stärker geneigter, sonnenexponierter Dachflächen,
- Entfernen von Gehölzsämlingen und anderem unerwünschtem Aufwuchs,
- Rückschnitt zur Abmagerung,
- Nachsaat bei größeren Fehlstellen mit Saatgut oder Sprossenteilen von Sedumarten,
- Nachpflanzen bei größeren Fehlstellen,
- Nachfüllen von Substrat bei Erosionen,
- Pflanzenschutz,
- Freihalten der technischen Einrichtungen von Bewuchs,
- Freihalten der Rand-/Sicherheitsstreifen und Bodenbeläge von Laub und funktionsbeeinträchtigendem Bewuchs (Moose, Sedum und polsterartig wachsende Kräuter und Stauden sollen toleriert werden).

Die Empfehlungen in den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien sind jedoch nur grob umrissen und nicht detailliert genug dargestellt. In den Richtlinien fehlen anschauliche Beispiele aus der Praxis, auch dahingehend, welche Folgen nicht gepflegte Dachbegrünungen für das Gebäude haben können. Eine weiterführende Broschüre zum Thema Pflege und Wartung von begrüntem Dächern (BOHLEN ET AL., 2002) beschreibt über die FLL-Dachbegrünungsrichtlinien hinaus, wie eine optimale Pflege und Wartung von begrüntem Dächern erfolgen kann. In dieser

Broschüre sind ebenfalls anschauliche Praxisbeispiele zu gepflegten und ungepflegten Gründächern, zu unerwünschtem Bewuchs sowie zu Schadensfällen enthalten.

Des Weiteren bestehen große Wissenslücken der Hauseigentümerinnen und Hauseigentümer bezüglich der fachgerechten Pflege und hierbei v. a. bezüglich der Beauftragung bzw. der Durchführung von Düngemaßnahmen im Rahmen der Pflege der Dachbegrünungsflächen. Oftmals wird mit dem Begriff „Extensivbegrünung“ verbunden, dass keine Pflege und Düngung notwendig sei. Weiterhin werden Düngemaßnahmen nicht durchgeführt, da die Sorge besteht, dass der Dünger ausgewaschen wird und ins Abwasser gelangt. Aufgrund jahrelanger Forschungsarbeiten sowie der Weiterentwicklung von umhüllten NPK-Langzeitdüngern kann jedoch ausgeschlossen werden, dass Düngemittel bei korrekter Anwendung ausgewaschen werden. Die positiven Auswirkungen einer Düngung bei Sedumvegetationsmatten wurden zudem detailliert untersucht (CLARK & ZHENG, 2014). In einem vorherigen Düngerversuch wurden Düngergaben von 5, 7,5, 10, 15, 20, 30 und 60 g/m² Stickstoff bei einer Sedumvegetation angewandt, wobei die Gabe von 15 g/m² Stickstoff optimal erschien (CLARK & ZHENG, 2013) und über der Empfehlung der FLL liegt. Daher scheint es nur folgerichtig zu sein, wenn die Nährstoffversorgung, insbesondere bei extensiven Dachbegrünungen in Deutschland, weiterhin untersucht wird.

In den Dachbegrünungsrichtlinien wird, wie oben angeführt, darauf verwiesen, dass im Bedarfsfall eine mögliche Düngung von 5 g Stickstoff pro m² und Jahr erfolgen sollte, aber wie dieser Bedarfsfall ermittelt werden kann, wird nicht erläutert. Hier sind Fachkenntnisse bezüglich der Beurteilung der Vitalität der Vegetation bzw. anderer Untersuchungsmethoden gefragt.

Neben den Pflegegängen und der Düngung spielt für ein optimales Pflanzenwachstum auch die Substratqualität eine entscheidende Rolle. Die FLL-Dachbegrünungsrichtlinien empfehlen unter anderem, dass das Substrat einer einschichtigen Extensivbegrünung eine maximale Wasserkapazität von 20 bis 65 Vol.-% und bei einer mehrschichtigen Extensivbegrünung zwischen 35 und 65 Vol.-% aufweisen soll. Hier stellt sich die weiterführende Frage, ob die Substrate mit dieser Spanne bezüglich der maximalen Wasserkapazität für alle Standorte in Deutschland gleichermaßen geeignet sind oder ob nicht in regenreicheren Gebieten dränfähigere und in regenärmeren Gebieten wasserspeicherfähigere Substrate verwendet werden sollten. Dies gilt es zu hinterfragen. Auch für bestimmte chemische Parameter der Substrate wie z. B. pH-Wert, Salzgehalt und pflanzenverfügbare Nährstoffe gibt es laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien Anforderungen, die bezüglich der dauerhaften Etablierung der Dachbegrünung Berücksichtigung finden müssen.

3 Zielstellung

Das Forschungsprojekt hatte das Ziel, die tatsächlich geleistete Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen zu untersuchen. Es sollte festgestellt werden, ob insbesondere durch eine regelmäßige Pflege und Wartung von Dachbegrünungen in der Unterhaltungspflege der Erhalt der vielfältigen Funktionalität der Gebäudebegrünung gewährleistet werden kann. Im Fokus standen dabei insbesondere die Problematik der Düngung und das Entfernen der unerwünschten Vegetation. Inwiefern die Substratqualität einen Einfluss auf die Vegetationsentwicklung hat, sollte ebenfalls im Rahmen des Projektes untersucht werden.

Dass extensive Dachbegrünungen eine Reihe positiver energetischer Effekte aufweisen können, ist bekannt und wissenschaftlich belegt (FASKEL, 1981; KOLB UND KLEIN, 1986; HÄMMERLE, 2000; MINKE UND GROSS, 2009; KÖHLER UND MALORNY, 2009; SCHAFACZEK UND ZIERKELBACH, 2013). Seit dem 1. Juni 2014 fördert auch die KfW-Bank Dachbegrünungen als wärmedämmende Maßnahme (HERFORT, 2014), was deutlich macht, dass die Errichtung von Dachbegrünungen mehr denn je von großer Bedeutung als Klimaanpassungsmaßnahme ist. Inwiefern sich jedoch nicht gepflegte und gepflegte Dachbegrünungen diesbezüglich unterscheiden, war bisher kein Forschungsgegenstand. Daher ist es auch ein Bestandteil des Projektes, den Temperaturverlauf von einer Dachbegrünung mit 100 %iger Pflanzendeckung und fehlender Pflanzendeckung zu vergleichen und aufzuzeigen, ob es hier gravierende Temperaturschwankungen in Abhängigkeit vom Pflanzendeckungsgrad gibt, die sich negativ auf die Dachoberfläche auswirken könnten.

Es bestand jedoch vor allem das Ziel, leichtverständliche und anschauliche Pflegeanleitungen in Abhängigkeit vom Vegetationssystem und den Standortbedingungen für extensive Dachbegrünungen zu entwickeln. Grundlage für die Erarbeitung der Pflegeanleitung sind wissenschaftliche Untersuchungen im Forschungsprojekt in den Jahren 2018 und 2019 auf extensiven Dachbegrünungen in den Großstädten Hamburg, Berlin, Stuttgart und München.

Die im Projekt entwickelten anwendungsorientierten Arbeitshilfen sind im Internet, als web-basierte Gründach-Pflege-App und als Drucksache in Form einer Broschüre für jedermann schnell und einfach verfügbar und sollen stets aktualisiert werden. Praxisnahe Seminare sollen die fachgerechte Pflege in Zukunft unterstützen.

Die Broschüre sowie die Gründach-Pflege-App sind für alle Interessenten gedacht, die mit der Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen beauftragt sind. Sie richtet sich sowohl an Fachleute aus dem Garten- und Landschaftsbau als auch an die Nicht-Fachleute, die zur Aufgabe haben, grundlegende Pflegemaßnahmen durchzuführen. Dennoch sollte der Anspruch sein, wie auch bei allen anderen gärtnerischen Tätigkeiten in Städten und Gemeinden, für die Pflege und Wartung von Dachbegrünungen stets geschultes Fachpersonal einzusetzen.

4 Forschungsdesign

In dem Forschungsprojekt wurde der Fragestellung nachgegangen, welche Auswirkungen die Qualität der Pflegemaßnahmen, insbesondere die Düngergabe, aber auch die vorherrschende Substratqualität auf die Vegetationsentwicklung und den Pflanzendeckungsgrad sowie die unerwünschte Vegetation einer extensiven Dachbegrünung haben. Die weitere Frage hinsichtlich des Vegetationszustandes bestand darin, welche Art von unerwünschter Vegetation tolerierbar ist und welche Pflanzen unbedingt entfernt werden müssen, damit die ökologischen Funktionen der Begrünung nachhaltig wirken und es zu keiner Schädigung am Bauwerk kommt.

4.1 Arbeitshypothesen

Es wurden in den Städten Hamburg, Berlin, Stuttgart und München verschiedene extensive Dachbegrünungen, die sich in der Unterhaltungspflege befinden, sowohl hinsichtlich der Pflegeintensität und der Pflegemaßnahmen, aber auch hinsichtlich der Pflanzenvitalität und der Substratqualität untersucht.

Insbesondere um die Fragestellung bezüglich einer notwendigen Düngergabe zu beantworten, wurden zusätzlich Düngerversuche mit unterschiedlichen Düngern und Düngergaben durchgeführt.

Es bestand weiterhin die Forschungsfrage, ob nur die Pflege von extensiven Dachbegrünungen oder ob zusätzlich auch die Substratqualität und die klimatischen Bedingungen die Qualität der Begrünung beeinflussen. Es sollte hinterfragt werden, ob in Zukunft auch darüber geforscht werden müsste, welcher Systemaufbau mit welchem konkreten Substrat in welcher Region Deutschlands in Abhängigkeit von den vorherrschenden klimatischen Bedingungen sinnvoll erscheint.

4.2 Methodisches Vorgehen

Um die Ursachen für Vegetationsausfälle auf extensiven Dachbegrünungen zu ermitteln, wurde folgende Herangehensweise gewählt:

- Die Auswahl der Städte Berlin, Hamburg, München und Stuttgart erfolgte aufgrund folgender Kriterien:
 - hohes Begrünungspotential hinsichtlich extensiv begrünter Dachflächen,
 - Großstadt über 500.000 Einwohner,
 - unterschiedliche klimatische Bedingungen (Niederschlag, Temperaturen, Sonnenscheindauer) aufgrund der geografischen Lage.
- Die Auswahl der extensiven Dachbegrünungen in den oben genannten Städten erfolgte durch die Mitglieder des BuGG, durch die öffentliche und private Hand sowie durch Recherchen von Dachbegrünungen, die über Luftbildaufnahmen ermittelt wurden.
- In jeder Stadt sollten ca. 16 extensive Dachbegrünungen, die mindestens 5 Jahre alt sind und somit der Unterhaltungspflege zugeordnet werden können, untersucht werden.
- Als einen ersten Schritt der Untersuchungen wurde die Besichtigung der extensiven Dachbegrünung vorgenommen und der Vegetationszustand ermittelt. Parallel dazu wurden bestimmte Daten zum Aufbau der Dachbegrünung vom Gebäudeeigentümer erfragt.
- Des Weiteren wurden Fragen hinsichtlich der Pflegehäufigkeit und der konkreten Pfllegetätigkeiten gestellt. Im Fokus dabei standen das Entfernen des unerwünschten Bewuchses und die durchgeführten Düngemaßnahmen.
- Von den Dächern, die eine Substratschicht und keine Vegetationsmatte enthielten, wurden zusätzlich Substratproben entnommen, die hinsichtlich ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften untersucht wurden, um deren Auswirkungen auf die Pflanzenvitalität beurteilen zu können.
- Es wurden die Pfllegetätigkeiten und der Zustand der Vegetation miteinander in Beziehung gesetzt und beurteilt sowie Schlussfolgerungen für weiterer Pflegemaßnahmen abgeleitet.
- Die Ergebnisse der Substratuntersuchungen ermöglichten die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den Substrateigenschaften und der auf diesen Substraten festgestellten Pflanzenentwicklung. Schlussfolgerungen bezüglich der notwendigen Substratqualität sollten abgeleitet werden.
- Es wurde letztendlich untersucht, in welchem Maße die erfolgten Pflegemaßnahmen und die Substrateigenschaften unter den jeweiligen klimatischen Bedingungen die Qualität der Dachbegrünung beeinflussen.

Um den Ausgangszustand der untersuchten Dachbegrünungen zu erfassen, wurde ein Fragenkatalog ausgearbeitet, der die extensive Dachbegrünung und die Pflegeaktivität beschreibt. Dieser Fragenkatalog ist in der Tabelle 4 in Stichpunkten aufgeführt und in der Anlage 1 im Anhang detailliert dargestellt.

Tabelle 4 Fragenkatalog zur Zustandsaufnahme der untersuchten extensiven Dachbegrünungen

Allgemeine Angaben zum konkreten Objekt, Adressdaten
Adresse des Objektes mit der Dachbegrünung
Ausführender Betrieb der Pflege und Wartung
Daten zur Dachbegrünung
Baujahr der Dachbegrünung
Vegetationstragschicht
Substratdicke (cm)
Dachhöhe (m)
Zugang zum Dach
Technische Dachaufbauten vorhanden
Daten zur Vegetation
Vegetation (beim Einbau=Zielvegetation)
Vegetation (aktuell=Istzustand)
Zustand der Vegetation
Deckungsgrad der Vegetation
Schäden
Unerwünschte Vegetation
Daten zur Pflege und Wartung
Pflege und Wartung in den letzten 5 Jahren und Pflegemaßnahmen
Düngung und Dünger

4.3 Projektteam

Das Projektteam bestand aus wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des IASP sowie aus Studentinnen und Studenten, die im Rahmen des Projektes ihre Graduierungsarbeiten anfertigten. Des Weiteren wurde das Projekt durch den Bundesverband GebäudeGrün e. V. (BuGG), insbesondere durch Herr Dr. Mann unterstützt. In der Projektgruppe 7 des Bundesverbandes GebäudeGrün, die sich mit dem Thema „Pflege und Wartung von Dachbegrünungen“ beschäftigt, wurde tiefgründig über dieses Thema diskutiert.

Das Projekt wurde zudem von der Firma ICL Deutschland Vertriebs GmbH mit den Düngemitteln „Landscaper Pro Full Season“, „Osmocote Exact Standard“ und „Osmocote Exact High K“ sowie von der Firma Optigrün International AG mit dem Düngemittel „Optigrün Opticote“ unterstützt.

4.4 Arbeitspakete

Das Projekt war in folgende sieben Arbeitspakete unterteilt:

1. Dachauswahl und Bestandsaufnahmen von Dachbegrünungen in verschiedenen Regionen Deutschlands bezüglich des Pflegeaufwandes und der klimatischen Bedingungen
2. Ursachenforschung für den unterschiedlichen Vegetationszustand, Ableitung von Lösungswegen bezüglich der notwendigen Pflege und Sanierung
3. Praxisuntersuchungen zur Optimierung der Pflege und Wartung (Düngung, Bewässerung, Pflegegänge) an ausgewählten neuen Objekten (u. a. multifaktorieller Versuch) und an Objekten, die kaum Pflege erhielten
4. Entwicklung von optimalen, kostengünstigen Pflege- sowie Rekultivierungs-/Sanierungskonzepten
5. Sichtung bestehender Unterlagen, Erstellen neuer Arbeitshilfen (inkl. Bilderdatenbank) und einer APP oder einer Datenbank
6. Sensibilisierung von Firmen, Verbänden und Immobilienbesitzern zum Thema Pflege und Wartung
7. Ableitungen von Empfehlungen für Hauseigentümer und Immobilienbesitzer, um eine nachhaltige Begrünung und damit auch eine Wertsteigerung des Gebäudes zu erlangen.

5 Bestandsaufnahmen von Dachbegrünungen

Das Regelwerk der FLL, die Dachbegrünungsrichtlinien, enthält viele Hinweise zur Pflege und Wartung von Dachbegrünungen, die jeder Eigentümer von Gebäuden mit Dachbegrünungen anwenden sollte. Im Rahmen des Forschungsprojektes galt es zu untersuchen, wie die Städte (von Norden nach Süden) Hamburg, Berlin, Stuttgart und München die Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen tatsächlich umsetzen. Diese Städte wurden ausgewählt, weil sie sich vor allem geografisch und klimatisch stark voneinander unterscheiden, was bei der Beurteilung der Qualität der Dachbegrünung im Rahmen der Untersuchungen berücksichtigt werden muss.

5.1 Klimatische Bedingungen

Die Untersuchungen zu den Pflegemaßnahmen der extensiven Dachbegrünungen fanden von Mai 2018 bis November 2019 statt. Hierbei mussten aufgrund der extremen klimatischen Verhältnisse dieser beiden Jahre sowohl die Temperaturen als auch die Niederschläge Berücksichtigung finden, um keine falschen Schlussfolgerungen bezüglich einer womöglich mangelnden Pflege der Dachbegrünungen zu ziehen.

In der Abbildung 12 die Monatstemperaturen der untersuchten Städte Hamburg, Berlin, Stuttgart und München in den Versuchsjahren 2018 und 2019 dargestellt (Deutscher Wetterdienst, 2019). Die Versuchsjahre zeichneten sich vor allem durch hohe Temperaturen und geringe Niederschläge aus, aber nicht jede Region war gleichermaßen davon betroffen.

Es wird deutlich, dass insbesondere in den Sommermonaten in Berlin die Temperaturen am höchsten und in Hamburg die Temperaturen am niedrigsten waren. In den Wintermonaten wurden hingegen in Hamburg die höchsten und in München die niedrigsten Temperaturen gemessen.

In der Abbildung 13 sind die Niederschlagsmengen der Versuchsjahre 2018 und 2019 im Vergleich zum 30jährigen Mittelwert (1981-2010) dargestellt (Deutscher Wetterdienst, 2019).

Es zeigt sich zum einen, dass die 30jährigen Mittelwerte der Niederschlagsmengen in den untersuchten Städten sehr unterschiedlich sind. Die Dachbegrünungen in Berlin müssen prinzipiell mit den geringsten Niederschlägen auskommen, wohingegen in München fast doppelt so viele Niederschläge wie in Berlin fallen. Die Niederschlagsmengen (30jähriges Mittel) in Hamburg und Stuttgart sind ähnlich und liegen zwischen denen von München und Berlin.

Zum anderen wird deutlich, dass in Berlin in den Versuchsjahren 2018 und 2019 sowohl die höchsten Sommertemperaturen vorherrschten als auch die geringsten Niederschlagsmengen zu verzeichnen waren, was bei der Beurteilung der Dachbegrünungen Berücksichtigung fand.

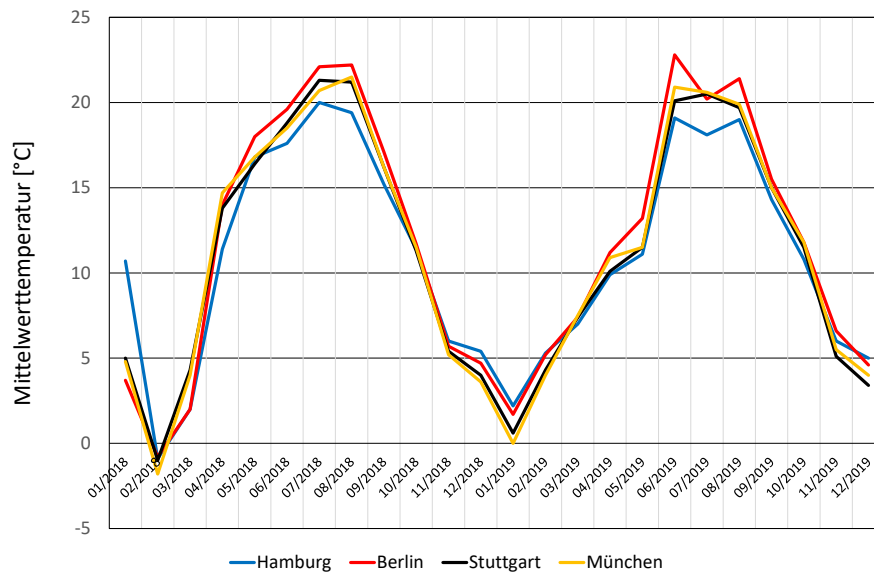


Abbildung 12 Monatliche Temperaturen der Versuchsjahre 2018 und 2019, (Deutscher Wetterdienst, 2019), bearbeitet: © Susanne Herfort

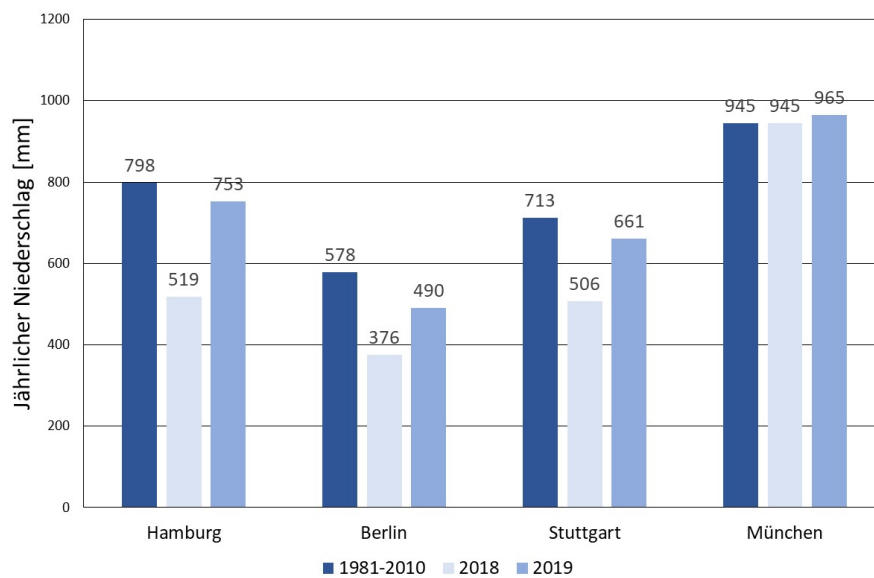


Abbildung 13 Niederschlagsmengen der Jahre 2018 und 2019 im Vergleich zum 30jährigen Mittel (1981-2010), (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019), bearbeitet: © Susanne Herfort

Die vorherrschenden klimatischen Bedingungen in den Versuchsjahren können wie folgt zusammengefasst werden:

Hamburg

Für Hamburg galt, dass die durchschnittlichen Temperaturen der Jahre 2018 und 2019 jeweils um 1,3 K im Vergleich zum 30jährigen Mittelwert (1981 bis 2010) höher lagen. Im Jahr 2018 fielen zudem nur 65 % (519 mm) und im Jahr 2019 95 % (753 mm) der Niederschläge des 30jährigen Mittels, sodass die Vegetation insbesondere im Jahr 2018 mit sehr geringen Niederschlägen auskommen musste.

Berlin

Berlin war durch die klimatischen Extreme noch stärker betroffen. Hier lagen die durchschnittlichen Temperaturen im Jahr 2018 um 1,8 K und im Jahr 2019 um 1,9 K höher als der 30jährige Durchschnittswert (1981 bis 2010). Insbesondere die Sommermonate waren die heißesten der vier untersuchten Städte. Es fielen im Jahr 2018 65 % und im Jahr 2019 85 % der Niederschläge des 30jährigen Mittels, so dass beide Jahre mit 376 mm bzw. 490 mm extrem trocken waren und die Vegetation diesem Trockenstress ausgesetzt war.

Stuttgart

In Stuttgart lagen die durchschnittlichen Jahrestemperaturen ebenfalls höher als der langjährige Mittelwert (1981 bis 2010). Im Jahr 2018 lag die Jahrestemperatur um 2,0 K und im Jahr 2019 um 1,4 K über dem langjährigen Mittelwert. Auch hier fielen geringe Niederschläge in den Jahren 2018 (506 mm) und 2019 (661 mm). Im Jahr 2018 waren es 71 % und im Jahr 2019 92 % der durchschnittlichen Niederschläge und bedeutete v. a. im Jahr 2018 für die Vegetation Trockenstress.

München

In München lagen die Jahrestemperaturen in den Jahren 2018 und 2019 ebenfalls über dem langjährigen Mittelwert (1981 bis 2010) (1,6 K bzw. 1,3 K höher) und waren mit denen in Stuttgart vergleichbar. Es fielen 100 % (2018) und 102 % (2019) der Niederschläge in Bezug auf den 30jährigen Mittelwert und mit 945 mm bzw. 965 mm wurde München ausreichend mit Niederschlägen versorgt. Die Pflanzen erfuhren keinen Trockenstress.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Niederschlagsverteilung der Städte ist bei den untersuchten extensiven Dachbegrünungen für die Beurteilung der Qualität der Vegetation die Wasserspeicher- und Wasserhaltefähigkeit der Substrate, die im Kapitel 6.2 untersucht wird, von entscheidender Bedeutung. Schon an dieser Stelle kann bereits darauf verwiesen werden, dass in der Zukunft grundsätzlich bei der Planung und dem Einbau von extensiven Dachbegrünungen die vorherrschenden klimatischen Bedingungen in der Region noch stärkere Berücksichtigung finden müssen.

5.2 Auswahl von extensiven Dachbegrünungen

In den Städten Hamburg, Berlin, Stuttgart und München wurden in einem ersten Schritt mögliche zu untersuchende extensive Dachbegrünungen sowohl über die Mitglieder des BuGG und der öffentlichen Hand als auch über frei zugängliche Luftbilddaufnahmen (<https://www.google.com/maps>) in der Satellitenansicht eruiert. Dabei wurden Flachdächer gesucht, die mindestens 5 Jahre alt sind und eine extensive Flachdachbegrünung aufwiesen.

In einem zweiten Schritt wurde versucht, an die Eigentümer der Dachbegrünungen heranzutreten und eine Erlaubnis für die Begehung und die Untersuchung zu erlangen. Dies war aus verschiedenen Gründen nicht immer gestattet. Die Begehbarkeit der Flachdächer war ebenfalls nicht immer gegeben, so dass von diesen Dachbegrünungen Abstand genommen werden musste.

Es wurden insgesamt 74 extensive Dachbegrünungen hinsichtlich der Pflege und Wartung untersucht. Das Datum der jeweiligen Begehung der Objekte ist in der Fotodokumentation (Anlage 3 bis Anlage 6 im Anhang) aufgeführt.

Parallel zu den Untersuchungen zur Pflege und Wartung wurden von den Dachbegrünungen, die eine obere Substratschicht aufwiesen, die Substratdicke gemessen und anschließend Substratproben entnommen, die dann im physikalisch-chemischen Labor des IASP hinsichtlich des pH-Wertes, des Salzgehaltes, des Stickstoffgehaltes sowie der Wasser- und Luftkapazität (pF 0,0 bis 2,0) untersucht wurden.

Die Anzahl der untersuchten Dachbegrünungen in den verschiedenen Städten mit der Einteilung in private und öffentliche Gebäude ist in der Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5 Umfang der untersuchten extensiven Dachbegrünungen in Hamburg, Berlin, Stuttgart und München

Stadt	Anzahl der untersuchten Dachbegrünungen auf privaten Gebäuden	Anzahl der untersuchten Dachbegrünungen auf öffentlichen Gebäuden	Summe der untersuchten Dachbegrünungen
Hamburg	8	4	12
Berlin	8	20	28
Stuttgart	13	9	22
München	6	6	12

Es wurden vor allem Moos-Sedum-Begrünungen und Sedum-Kraut-Gras-Begrünungen untersucht (Abbildung 14). Der Anteil an pflegeaufwendigeren Kraut-Gras-Sedum-Begrünungen war gering, da diese nicht so stark verbreitet sind.

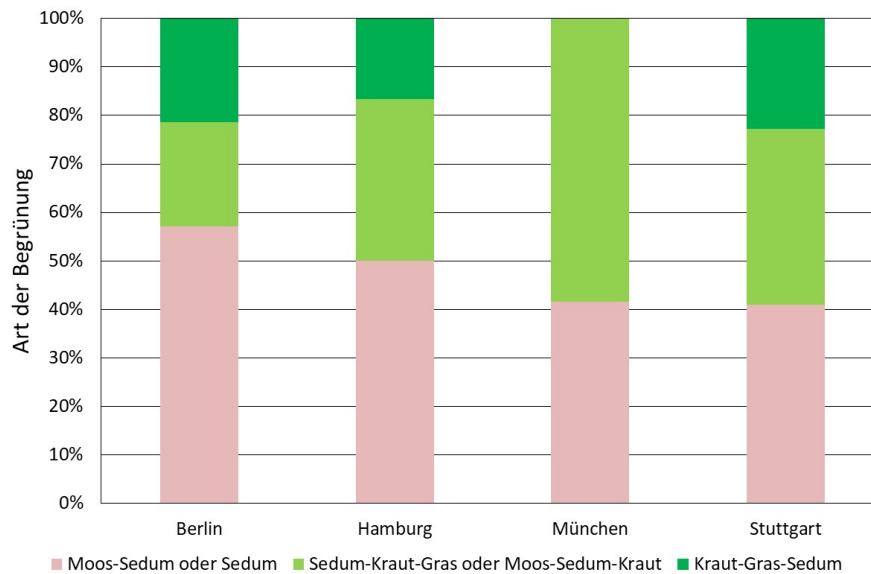


Abbildung 14 Untersuchte extensive Dachbegrünungen

Der exakte Schichtaufbau der extensiven Dachbegrünung konnte in den Untersuchungen nicht mit aufgenommen werden, da Unterlagen zu den Dachbegrünungen nur in den seltensten Fällen bereitgestellt werden konnten. Somit konnte nicht ermittelt werden, ob es sich um einen einschichtigen oder mehrschichtigen Aufbau handelte. Es war ebenfalls nicht ersichtlich, ob die Dachbegrünungen Niederschlagswasser durch eine zusätzliche Retentionsschicht speichern können.

Positiv hervorzuheben ist bei einer Dachbegrünung in Berlin das Hinterlegen aller Unterlagen zur Dachbegrünung (technischer Aufbau und alle wichtigen Daten) in einer wasserfesten Schutzhülle direkt am Zugang zum Dach, so dass das Pflegepersonal alle Fachinformation vor Ort jeder Zeit vorfinden kann. Dies wäre als Standard wünschenswert.

6 Ursachenforschung für den unterschiedlichen Vegetationszustand

Die Ursachenforschung für den unterschiedlichen Vegetationszustand der verschiedenen Dächer, der in der Regel von sehr gut bis befriedigend war, ist sehr komplex. Hierbei wurden die Dachbegrünungen, wie oben erwähnt, hinsichtlich der bisher geleisteten Pflegemaßnahmen, aber auch hinsichtlich der Substratqualität und der klimatisch vorherrschenden Bedingungen vorzugsweise in den Sommermonaten der Jahre 2018 und 2019 untersucht. Dazu wurden Befragungen der Objekteigentümer zu den Pflegegängen durchgeführt. Die wichtigsten Fragestellungen betrafen die Anzahl der Pflegegänge (mit konkreten Angaben zu den Arbeitsgängen) sowie das Entfernen von unerwünschter Vegetation und die Düngung. Der Fragebogen ist beispielhaft in der Anlage 1 im Anhang wiedergegeben.

6.1 Untersuchung des Pflegezustandes

Es wurde festgestellt, dass eine regelmäßige Pflege und Wartung der Dachbegrünungen in den untersuchten Städten meistens 1- bis 2mal im Jahr erfolgt, wobei insbesondere in München am häufigsten gepflegt wird (Abbildung 15). Der Anteil an einer nur einmaligen jährlichen Pflege bzw. fehlender Pflege ist in Berlin am Beispiel der untersuchten Dachbegrünungen am größten.

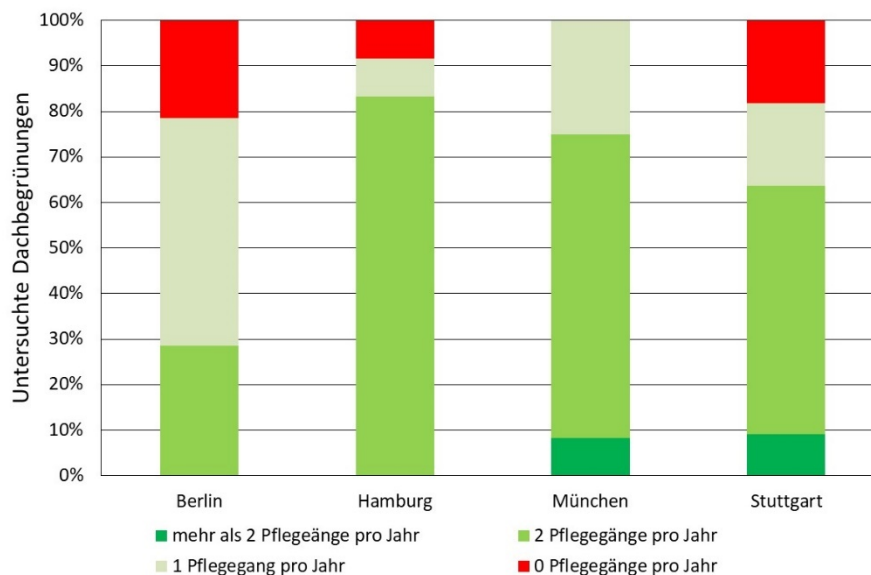


Abbildung 15 Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich der Anzahl der Pflegegänge pro Jahr

Das gezielte Entfernen von unerwünschtem Bewuchs wird meistens vor allem hinsichtlich der Baumsämlinge getätigt. Kräuter und Gräser, die nicht der Zielvegetation entsprechen (zum Beispiel Löwenzahn oder Quecke), bleiben auf der Dachbegrünungsfläche und werden meistens durch einen Mähvorgang geschnitten und selten mit der Hand entfernt. Das Mähen der Flächen auf Gras-Kraut-Sedum-Begrünungen erfolgt oft unabhängig vom Blühaspekt, so dass blühende Gräser/Kräuter unter Umständen den Insekten nicht mehr zur Verfügung stehen können. Dies beruht auf den vollen Terminkalendern der pflegenden Firmen. Die untersuchten Gründächer wiesen relativ wenig Beikraut auf, was für den regelmäßigen Pflegegang spricht (Anlage 2 im Anhang).

Hervorzuheben ist, dass die untersuchten Extensivbegrünungen in der Regel nicht gedüngt wurden (siehe Anlage 2 im Anhang). Vor allem in Hamburg und in Berlin wird sehr selten bzw. gar nicht gedüngt. Die Befragten gaben teilweise an, dass die Dachbegrünungen aufgrund des extensiven Charakters keine Düngergaben benötigen. Die FLL-Dachbegrünungsrichtlinien waren den Befragten nicht bekannt. Zudem stellt das Düngen einen zusätzlichen Kostenfaktor in der Pflege dar. Wenn dennoch gedüngt wird, dann nur von Fachpersonal mit Kenntnissen zur extensiven Dachbegrünung wie zum Beispiel in München und Stuttgart.

Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt bei der Beurteilung des gesamten Erscheinungsbildes der Dachbegrünungen in den Jahren 2018 und 2019 waren die Trockenstresssymptome, die die Dachbegrünungen aufgrund der extremen klimatischen Bedingungen aufwiesen (Abbildung 16). Vor allem die Dachbegrünungen in Berlin, aber auch in Hamburg und Stuttgart waren vom Trockenstress stark beeinträchtigt (siehe dazu auch Anlage 3 bis Anlage 6 im Anhang).

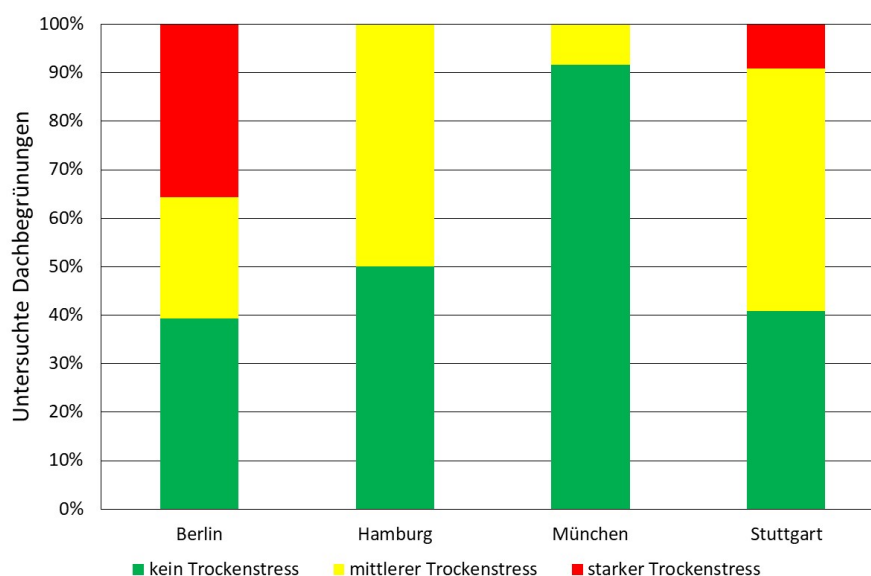


Abbildung 16 Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich der Trockenstresssymptome

Der Deckungsgrad der Pflanzen wurde aufgenommen, um gezielte Maßnahmen zur Pflege ableiten zu können. Hier zeigte sich, dass die Dächer in Folge des Trockenstresses in der Begrünung Lücken aufwiesen (Abbildung 17), wobei dies vom Vegetationssystem unabhängig war.

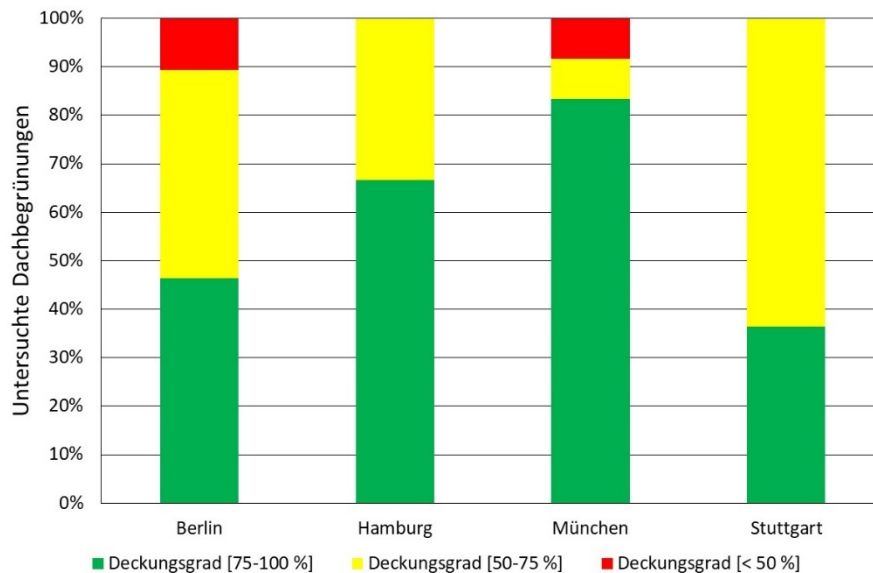


Abbildung 17 Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich des Pflanzendeckungsgrades

Es wurde zudem auf vereinzelten Dachbegrünungen mit niedrigem Pflanzendeckungsgrad Substratverwehungen festgestellt.

Der Pflanzenschutz scheint keine Rolle bei der extensiven Dachbegrünung zu spielen. Bei den Untersuchungen konnte kein Schädlingsbefall auf den Dachbegrünungen festgestellt werden.

Die Befragungen zeigten, dass das Freihalten der Kiesstreifen sowie das Reinigen der Abflüsse i. d. R. regelmäßig durchgeführt werden, so dass mögliche Gebäudeschäden durch verunreinigte Abflüsse kein Problem darstellen. Es gab selten Dachbegrünungen, die verschmutzte Abläufe aufwiesen, so dass sichergestellt werden kann, dass es zu keiner unerwünschten Staunässe auf den Dächern kommt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Umfragen sind in der Tabelle 6 dargestellt. Die einzelnen Objektdaten befinden sich in der Anlage 7 im Anhang.

Tabelle 6 Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Pflegemaßnahmen

Pflegemaßnahme	Laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien	Ergebnis der Befragung
Pflegegänge	2- bis 4mal pro Jahr	Pflegegänge werden meistens durchgeführt, in der Regel 1- bis 2mal pro Jahr
Düngergabe	5 g N/m ² pro Jahr	Es wird sehr selten gedüngt.
Zusätzliche Bewässerung	bei Bedarf bei Schrägdächern	Es wird sehr selten bewässert.
Entfernung von Gehölzsämlingen	unbedingt	Gehölzsämlinge werden durch Mähen entfernt, manchmal aber auch übersehen und stehengelassen.
Rückschnitt	zur Abmagerung	Rückschnitt erfolgt von trockenem Gras (wegen Brandlast) oder gar nicht.
Nachsaat und Nachpflanzungen	bei Fehlstellen	Nachsaat und Nachpflanzungen erfolgen in der Regel nicht.
Nachfüllen von Substrat	bei Erosionen	Das Nachfüllen von Substrat ist selten notwendig, wird aber, wenn erforderlich, in der Regel nicht getätigt.
Pflanzenschutz	wenn erforderlich	Pflanzenschutz spielt bei extensiven Dachbegrünungen keine Rolle.
Freihalten der technischen Einrichtungen	unbedingt	Das Freihalten der technischen Einrichtungen wird meistens durchgeführt.
Freihalten der Rand-/Sicherheitsstreifen	unbedingt	Das Freihalten der Rand-/Sicherheitsstreifen wird meistens durchgeführt.

Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die FLL-Richtlinien bezüglich der Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen zwar angewendet werden, dass aber insbesondere bezüglich der Düngung starker Aufklärungsbedarf besteht, um eine höhere Biomasse und Vitalität der Vegetation und damit einen höheren Deckungsgrad der Dachbegrünungen zu erzielen.

6.2 Physikalisch-chemische Untersuchungen der Substrate

Parallel zu den Pflegemaßnahmen wurden die Substrate jeder Dachbegrünung untersucht, da diese für die Qualität des Pflanzenwachstums ebenfalls mit verantwortlich sind. Hier galt es festzustellen, ob die in den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien festgesetzten Parameter zur Substratqualität eingehalten wurden. Folgenden Parameter wurden erfasst:

- Substrathöhe auf dem Dach,
- Wasserspeicherfähigkeit/Luftporenvolumen,
- pH-Wert,
- Salzgehalt,
- Stickstoffgehalt.

Die Substrathöhen lagen je nach Begrünungssystem zwischen 4 cm und 22 cm in Abhängigkeit von der Vegetation (Anlage 9 im Anhang). Die Untersuchungen zur maximalen Wasserkapazität und zur Wasserhaltefähigkeit in Abhängigkeit von der Saugspannung wurden im Bodenkunde der Humboldt-Universität zu Berlin am Albrecht Daniel Thaer-Institut in Anlehnung an die DIN EN 13041:2012-01 durchgeführt. Dabei spielt insbesondere die Porengrößenverteilung der Substrate in Feinporen, Mittelporen und Grobporen hinsichtlich der maximalen Wasserkapazität und der Wasserhaltefähigkeit eine wichtige Rolle.

Die Probenahme erfolgte mit 100 ml-Stechzylindern, wie sie in der Bodenkunde üblich sind. Für die Bestimmung der maximalen Wasserkapazität wurden die Bodenproben in den Zylindern mindestens 24 Stunden in Wasser gesättigt, anschließend kurz abgetropft und ausgewogen.

Die Untersuchungen erfolgten zwischen einem pF-Wert von 0,0 und 2,0 in der Sandbox von Eijkelkamp (Abbildung 18).

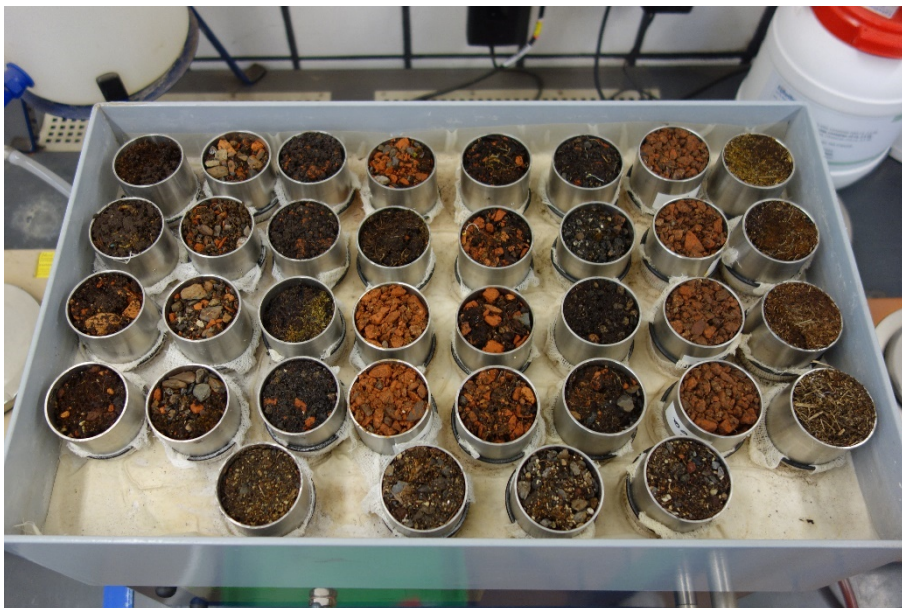


Abbildung 18 Sandbox von Eijkelkamp mit probengefüllten Stechzylindern (© Susanne Herfort)

Der dimensionslose pF-Wert (=log cm Wassersäule) (AMELUNG ET AL., 2018) beschreibt dabei die Energie, mit der das Bodenwasser entgegen der Schwerkraft im Boden (Substrat) gehalten wird. Die maximale Wasserkapazität wird bei einem pF-Wert von 0,0 gemessen. Die Feldkapazität beschreibt die Wassermenge, die ein Boden zwei bis drei Tage gegen die Schwerkraft halten kann und wird bei einem pF-Wert von 1,8 bestimmt. Die Differenz der maximalen Wasserkapazität und der Feldkapazität entspricht dabei dem Luftporenvolumen (WESSOLEK ET AL., 2009).

In den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien werden folgende Parameter bezüglich des Wasser- und Lufthaushaltes von Vegetationssubstraten für Extensivbegrünungen gefordert (Tabelle 7):

Tabelle 7 Anforderungen an die max. Wasserkapazität und Luftkapazität von Vegetationssubstraten für mehrschichtige und einschichtige Extensivbegrünungen laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien

Eigenschaften	Mehrschichtige Extensivbegrünung [Vol.-%]	Einschichtige Extensivbegrünung [Vol.-%]
max. Wasserkapazität [Vol.-%]	35–65	20–65
Luftkapazität bei max. Wasserkapazität [Vol.-%]	≥ 10	≥ 10

Es zeigte sich, dass die Substrate, unabhängig von der Stadt, sehr unterschiedliche maximale Wasserkapazitäten und Luftkapazitäten aufwiesen (Tabelle 8). Dies zeigte auch die im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeitete Bachelorarbeit von KELLER (2018), in der 19 extensive Dachbegrünungen in Berlin untersucht wurden. In der Bachelorarbeit von KELLER (2018) wurde deutlich, dass die Dachbegrünungen in Berlin mit einer maximalen Wasserkapazität (pF 0,0) von über 50 Vol.-% und einer Wasserkapazität bei pF 2,0 von über 18 Vol.-% ein wesentlich vitaleres Pflanzenwachstum aufwiesen als Dachbegrünungen mit einer niedrigeren maximalen Wasserkapazität. Des Weiteren wies KELLER darauf hin, dass es anzustreben ist, die Dachbegrünungen weiter auszubauen, da die untersuchten Dachbegrünungen bei Starkregenereignissen im Durchschnitt 196,9 l/m² Regenwasser aufnehmen können und somit eine Schutzmaßnahme gegen Überflutungen darstellen.

Tabelle 8 Maximale Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in Hamburg, Berlin, Stuttgart und München

Eigenschaften	Hamburg	Berlin	Stuttgart	München
max. Wasserkapazität [Vol.-%]	33–62	26–65	22–58	31–66
Luftkapazität bei max. Wasserkapazität [Vol.-%]	0–34	5–46	4–55	9–36

In der Abbildung 19 sind exemplarisch für drei Dachbegrünungen aus dem Versuchsjahr 2018 aus Berlin die Wasserkapazitäten bei zunehmenden Saugspannungen der Substrate dargestellt, wobei Substrat A eine sehr hohe maximale Wasserkapazität, Substrat B eine mittlere maximale Wasserkapazität und Substrat C eine sehr niedrige maximale Wasserkapazität aufweist. Die Luftkapazität bei maximaler Wasserkapazität des Substrates A liegt bei 10 Vol.-%, des Substrates B bei 23 Vol.-% und des Substrates C bei 33 Vol.-%. Alle Substrate erfüllten die Kriterien der FLL-Dachbegrünungsrichtlinien.

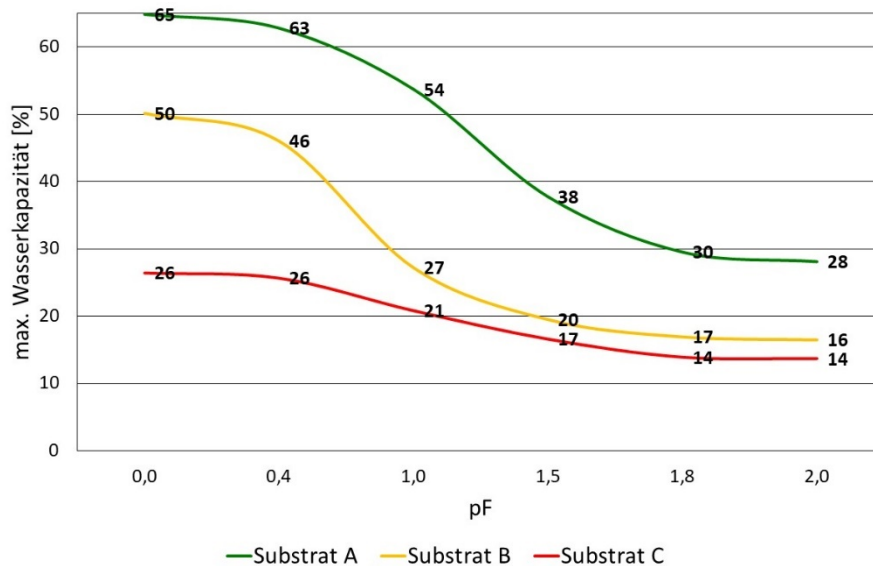


Abbildung 19 Max. Wasserkapazität von drei ausgewählten Substraten aus Berlin bezüglich einer Saugspannung zwischen pF 0,0 und 2,0

Die von KELLER untersuchten Dachbegrünungen (alle untersuchten Dachbegrünungen waren ca. 20 Jahre alt, hauptsächlich Sedumvegetation) wurden im August/September 2018 begangen und fotografiert, so dass sie bezüglich der vorherrschenden klimatischen Bedingungen miteinander vergleichbar sind. Der Zustand der Dachbegrünungen (Abbildung 20 bis Abbildung 22) und die Eigenschaften der Substrate hinsichtlich der Saugspannungskurven (Abbildung 19) könnten im Zusammenhang stehen. Es wurde ersichtlich, dass die Vegetation auf der Dachbegrünung mit einer niedrigen maximalen Wasserkapazität äußerst gering entwickelt ist. Als Pflegemaßnahmen wären in diesem konkreten Beispiel eine Nachsaat der Vegetation und eine Zusatzbewässerung zu empfehlen.



Abbildung 20 Dachbegrünung mit Substrat A (max. Wasserkapazität 65 %) aufgenommen am 16.08.2018 in Berlin (© Susanne Herfort)



Abbildung 21 Dachbegrünung mit Substrat B (max. Wasserkapazität 50 %) aufgenommen am 16.08.2018 in Berlin (© Susanne Herfort)



Abbildung 22 Dachbegrünung mit Substrat C (max. Wasserkapazität 26 %) aufgenommen am 13.09.2018 in Berlin (© Susanne Herfort)

Anhand der Versuchsergebnisse kann der Trend abgeleitet werden, dass in München dränfähigere Substrate aufgrund der höheren Jahresniederschläge als in den anderen Städten verwendet werden (Abbildung 23). In Berlin sollte aufgrund der niedrigen Jahresniederschläge generell der Anteil wasserspeicherfähigerer Substrate in extensiven Dachbegrünungen erhöht werden. Hier sollten in Zukunft bei der Substratauswahl die in der Region vorherrschenden Niederschläge berücksichtigt werden.

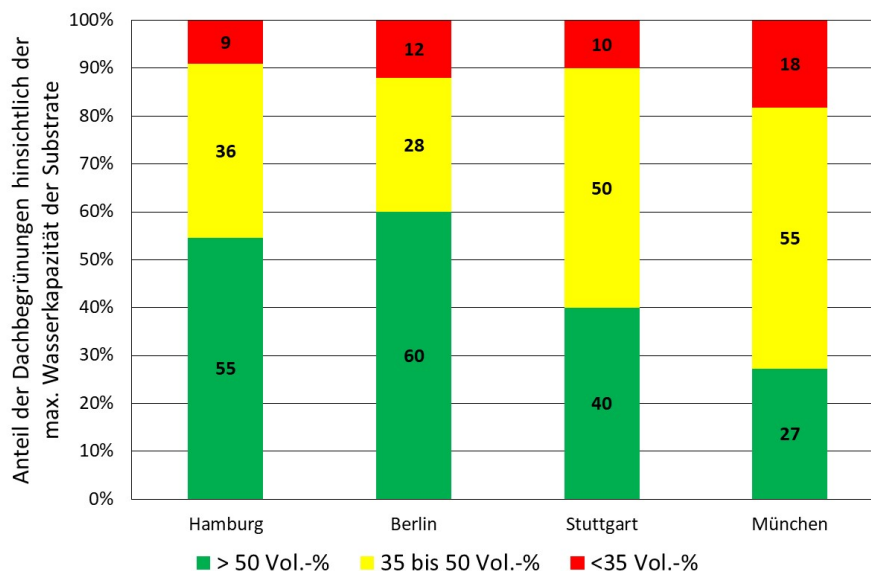


Abbildung 23 Anteil der Dachbegrünungen hinsichtlich der maximalen Wasserkapazität der Substrate

Bezüglich der untersuchten Parameter zum pH-Wert, Salzgehalt und Stickstoffgehalt werden in den FLL-Richtlinien folgende Parameter von Vegetationssubstraten für Extensivbegrünungen gefordert (Tabelle 9), wobei die Unterscheidung in mehrschichtige oder einschichtige Extensivbegrünung bei den untersuchten Parametern unerheblich ist:

Tabelle 9 Anforderungen an den pH-Wert, den Salzgehalt und den pflanzenverfügbaren Stickstoffgehalt von Vegetationssubstraten für mehrschichtige und einschichtige Extensivbegrünungen laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien

Eigenschaften	Mehrschichtige Extensivbegrünung [Vol.-%]	Einschichtige Extensivbegrünung [Vol.-%]
pH-Wert	6,0–8,5	6,0–8,5
Salzgehalt [g KCl/l]	≤ 3,5	≤ 3,5
Pflanzenverfügbare Stickstoffgehalt [mg/l]	≤ 80	≤ 80

Die Untersuchungsergebnisse waren insbesondere bezüglich des untersuchten pH-Wertes und Salzgehaltes relativ weit gestreut (Tabelle 10). Der pH-Wert der Substrate lag jedoch in der Regel in der geforderten Norm und wurde selten unterschritten. Der Salzgehalt war bei allen Substraten sehr niedrig und wurde nur an einem Standort in Hamburg überschritten. Der pflanzenverfügbare Stickstoffgehalt der Substrate wurde ebenfalls eingehalten, wobei dieser in allen vier Städten durchschnittlich zwischen 4 mg/l und 10 mg/l lag und die höheren Werte Ausreißer waren (Tabelle 10, Anlage 9). Es wurde aber deutlich, dass der Grenzwert für den pflanzenverfügbaren Stickstoff der FLL-Dachbegrünungsrichtlinien bei weitem nicht erreicht wurde, was ein Indiz dafür ist, dass nicht gedüngt wird, obwohl in den Dachbegrünungsrichtlinien ausdrücklich auf das notwendige Düngen hingewiesen wird. Die Daten zur maximalen Wasserkapazität und zur Luftkapazität der jeweiligen Substrate und Standorte sowie die dazugehörigen Stoffparameter sind in den Anlagen 8 und 9 im Anhang dargestellt.

Tabelle 10 pH-Wert, Salzgehalt und Stickstoffgehalt der untersuchten Substrate in Hamburg, Berlin, Stuttgart und München

Physikalisch-chemische Parameter	Hamburg	Berlin	Stuttgart	München
pH-Wert	4,7–8,0	5,2–7,5	5,0–7,7	5,4–7,7
Salzgehalt [g KCl/l]	0,3–6,3	0,4–2,9	0,3–2,7	0,5–2,5
Pflanzenverfügbare Stickstoffgehalt [mg/l]	1–10	1–56	2–30	2–11

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bezüglich der Vorgaben der FLL-Dachbegrünungsrichtlinien die Anforderungen, die an Substrate gestellt werden, weitestgehend eingehalten wurden. Es sollte jedoch in der Zukunft darauf geachtet werden, dass die Substrate hinsichtlich der maximalen Wasserkapazität in Abhängigkeit von den tatsächlichen Niederschlägen in der Region besser ausgewählt werden. Zudem sollten alle Dachbegrünungen regelmäßig gedüngt werden, um Mangelercheinungen und Bestandsumbildungen vorzubeugen.

6.3 Temperaturuntersuchungen auf extensiven Dachbegrünungen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde des Weiteren untersucht, welche Temperaturunterschiede es auf extensiven Dachbegrünungen gibt, wenn diese Fehlstellen in der Vegetation aufweisen. Die Fragestellung war, welchen Einfluss eine fehlende Vegetation auf die Wurzelschutzfolie bzw. die Gebäudehülle hat.

Hierzu wurden auf der extensiven Dachbegrünung am Standort des IASP Temperatur-Datenlogger der Firma Testo in die Begrünung mit sonnigem Standort eingebaut. Bei der Dachbegrünung handelte es sich um einen einschichtigen Aufbau. Auf der Wurzelschutzfolie befand sich eine 6 cm dicke Substratschicht mit Sedumvegetation.

Die Dachbegrünung (2006 erbaut) mit einer nahezu 100 %igen Pflanzendeckung wurde regelmäßig gepflegt, wies jedoch einige Fehlstellen in der Vegetation auf. Diese Fehlstellen von geringer Fläche (max. 0,1 m²) waren Gegenstand der Untersuchungen (Abbildung 24).

Es wurden sowohl auf und in der intakten Dachbegrünung Datenlogger integriert als auch auf und in den Fehlstellen (Abbildung 25).



Abbildung 24 Untersuchte Fehlstelle auf einer extensiven Dachbegrünung bezüglich des Temperaturverlaufs
(© Susanne Herfort)



Abbildung 25 Untersuchungen zum Temperaturverhalten auf einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Fehlstellen

- Legende:
- 1: Datenlogger auf dem Substrat mit Vegetation
 - 2: Datenlogger auf der Wurzelschutzfolie mit Vegetation
 - 3: Datenlogger auf dem Substrat ohne Vegetation
 - 4: Datenlogger auf der Wurzelschutzfolie ohne Vegetation

Es wurden in den Jahren 2019/2020 über einem Zeitraum von etwa 10 Monaten diesbezüglich Temperaturdaten im Abstand von 30 min aufgenommen. Hervorzuheben sind die Monate Juni 2019 und Dezember 2019. Der Juni 2019 zeichnete sich durch den heißesten Monat des Jahres 2019 aus mit einer äußerst hohen Sonnenscheindauer von durchschnittlich 9 Stunden pro Tag und einer Niederschlagsmenge von 82 mm (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019). Die Niederschlagsmenge im Juni 2019 mit 82 mm lag zwar etwas höher als der dreißigjährige Mittelwert (1981 bis 2010) von 60 mm (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2010), dieser fiel aber fast ausschließlich an nur 2 Tagen. Der höchste Wert der Lufttemperatur betrug im Juni 2019 38,1 °C (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019) (siehe Abbildung 144, Abbildung 146 und Abbildung 148 in der Anlage 10 im Anhang).

Der Monat Dezember 2019 war der kälteste Monat im Winter 2019/2020, der sich mit einer sehr geringen Sonnenscheindauer (durchschnittlich unter einer Stunde pro Tag) und einer sehr niedrigen Niederschlagsmenge von 33 mm (Deutscher Wetterdienst, 2019) auszeichnete. Dennoch handelte es sich bei dem Monat Dezember 2019 um einen sehr milden Wintermonat

mit einer minimalen Lufttemperatur von 0,9 °C (siehe Abbildung 145, Abbildung 147 und Abbildung 149 in der Anlage 10 im Anhang).

Die Globalstrahlung sowie die Windstärke wurden nicht erfasst, da die Wurzelschutzfolie auf der untersuchten Dachbegrünung nicht freilag. Diese Parameter können jedoch auch einen Einfluss auf die Materialermüdung der Wurzelschutzfolie haben, wenn diese der Sonnenstrahlung und dem Wind direkt ausgesetzt ist. Von Bedeutung ist ebenfalls der Schichtaufbau über der Wurzelschutzfolie. Je stärker der Aufbau ist, desto weniger kann die Globalstrahlung das Dachbegrünungssystem durchdringen und die Dachhaut schädigen.

Die Substratfeuchtigkeit wurde ebenfalls nicht ermittelt, wobei eine hohe Substratfeuchtigkeit im Sommer aufgrund der erzeugten Verdunstungskühle von Wasser sich durchaus positiv auf die Temperatur der Oberfläche der Wurzelschutzfolie auswirken kann.

In der Abbildung 26 wird deutlich, dass sich bereits die Temperaturschwankungen auf der Substratoberfläche mit und ohne Vegetation sehr stark voneinander unterscheiden und dass die Amplitude auf dem Substrat ohne Vegetation wesentlich größer ist als mit Vegetation.

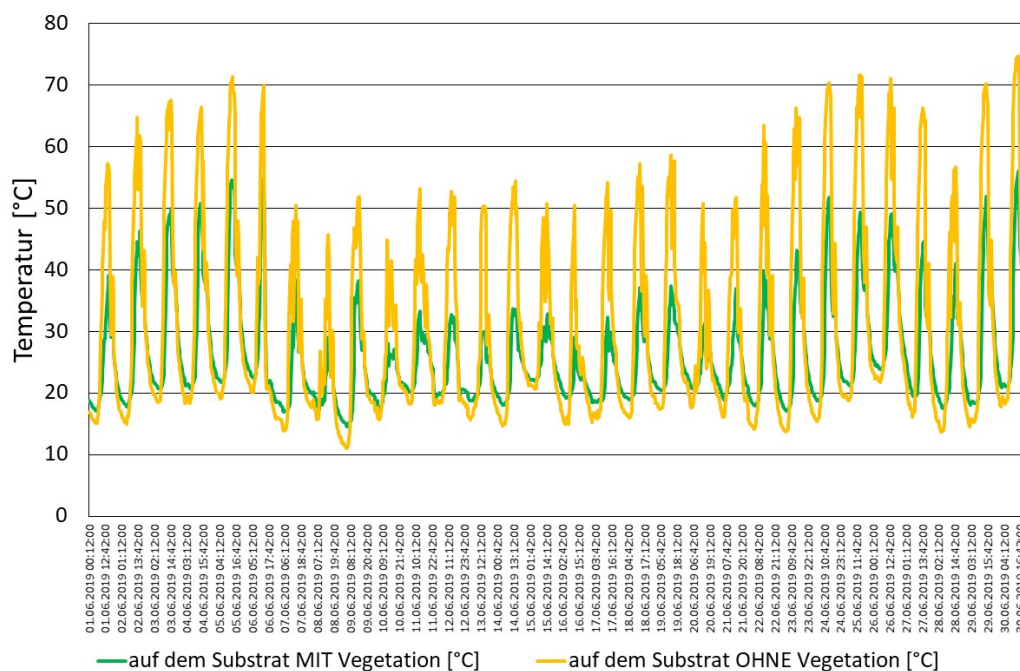


Abbildung 26 Temperaturverlauf im Juni 2019 auf dem Substrat einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation

Des Weiteren zeigt die Abbildung 27, dass die fehlende Vegetation auch Auswirkungen auf die Temperaturen über der Wurzelschutzfolie hat. Sie schwankten im Juni 2019 auf der Folie ohne Vegetation zwischen 14 °C und 42 °C (Differenz: 28 K, ähnlich wie die aufgezeichneten Lufttemperaturen der Klimamessstation des Deutschen Wetterdienstes am Alexanderplatz), hingegen auf der Folie mit Vegetation gab es geringere Schwankungen im Bereich von 17 °C bis 31 °C (Differenz: 14 K) und die Folienoberfläche heizte sich nicht so stark auf.

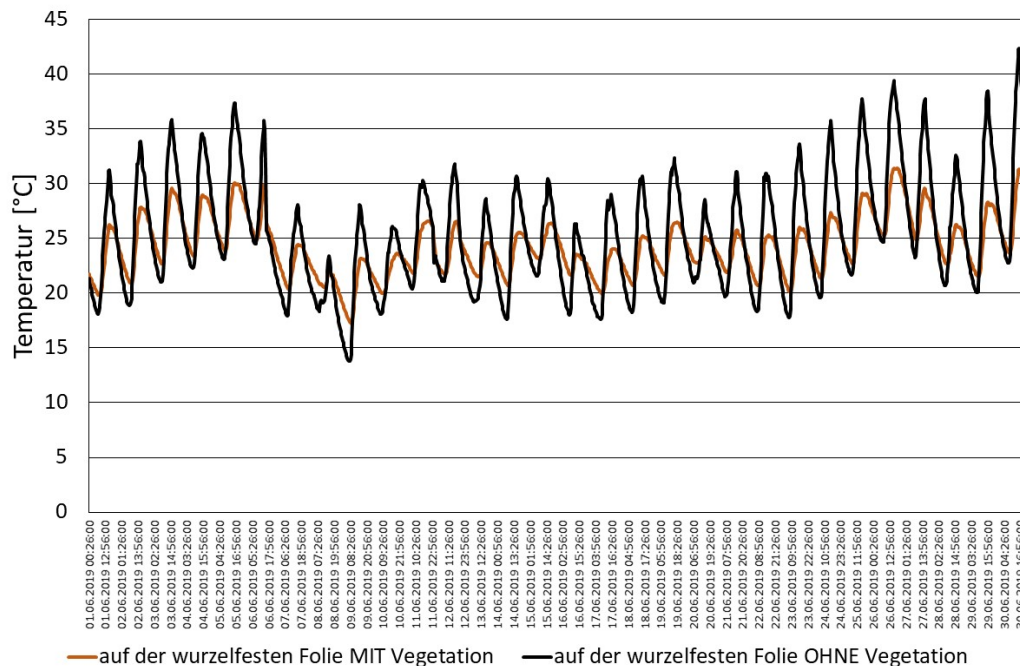


Abbildung 27 Temperaturverlauf im Juni 2019 auf der wurzelfesten Folie einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation

Es wird deutlich, dass die Wurzelschutzfolie den großen Lufttemperaturschwankungen weniger stark ausgesetzt ist, wenn eine flächendeckende Vegetation vorhanden ist.

In der Anlage 10 im Anhang (Abbildung 150) ist der Temperaturverlauf für die heißeste Woche im Sommer 2019 in Berlin auf einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation dargestellt (24. Juni 2019 bis 30. Juni 2019). Es zeigt, dass einer Materialermüdung der Wurzelschutzfolie, die ab 50 °C eintritt (bei dauerhafter Umgebungstemperatur), durch eine hohe Pflanzendeckung entgegengewirkt werden kann und somit auch die Bauwerks Oberfläche besser abgedichtet ist.

Im Winter des Jahres 2019 wurden auf dem Substrat ohne Vegetation Temperaturen zwischen 11 °C und -3 °C (Differenz: 14 K) gemessen, was sich mit den erhobenen Daten der Klimamessstation des Deutschen Wetterdienstes nahezu deckt. Die Temperaturen auf dem Substrat mit Pflanzendeckung lagen zwischen 1 °C und 9 °C (Differenz: 8 K) (Abbildung 28).

Die Temperaturdifferenz auf der Oberfläche der Wurzelschutzfolie mit intakter Vegetation betrug im Dezember 2019 6 K (zwischen 2 °C und 8 °C) (Abbildung 29). Es konnten im Dezember 2019 keine Temperaturdaten mit den Datenloggern aufgezeichnet werden, die sich auf der Wurzelschutzfolie ohne Vegetation befanden, da diese defekt gingen.

In der Anlage 10 im Anhang (Abbildung 151) ist nochmals die kälteste Woche im Winter 2019 in Berlin auf einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation dargestellt (24. Dezember bis 31. Dezember 2019), die verdeutlichen soll, dass die Vegetation die großen Temperaturschwankungen im Winter abpuffern kann und somit die wurzelfeste Folie bzw. die Gebäudeoberfläche vor niedrigen Temperaturen schützt.

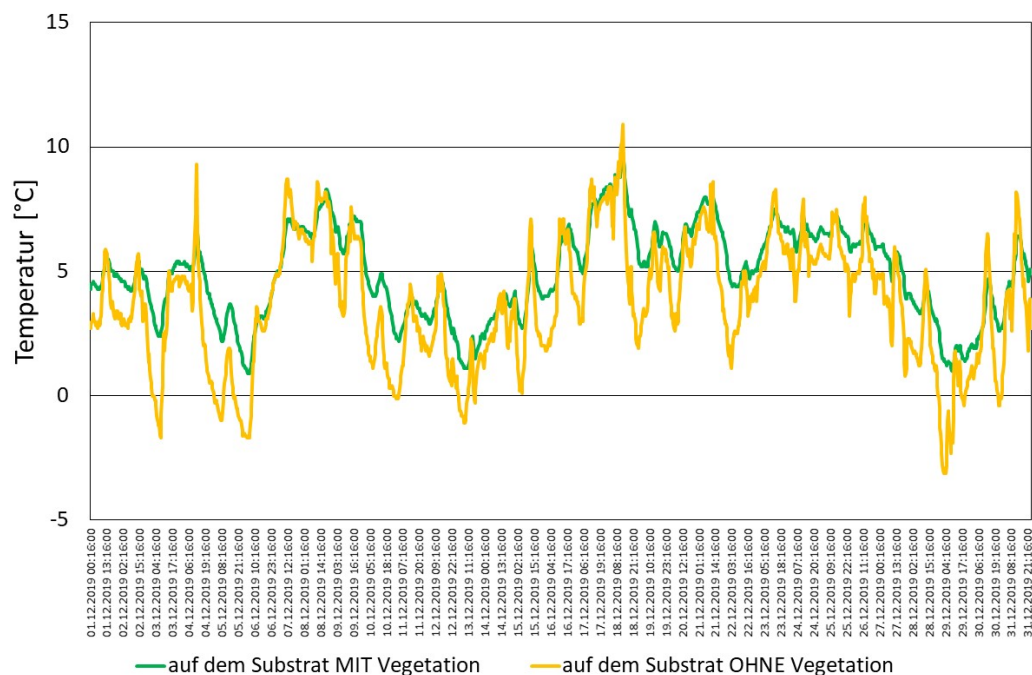


Abbildung 28 Temperaturverlauf im Dezember 2019 auf dem Substrat einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation

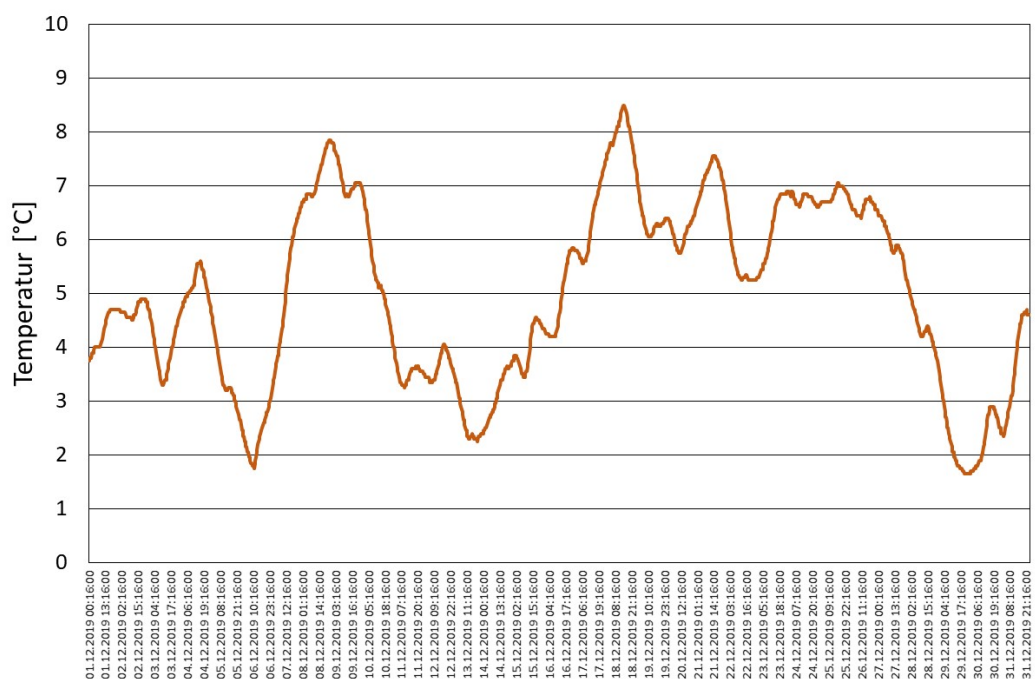


Abbildung 29 Temperaturverlauf im Dezember 2019 auf der wurzelfesten Folie einer extensiven Dachbegrünung mit Vegetation

Auch wenn die Daten bezüglich des Temperaturverlaufs auf der wurzelfesten Folie ohne Vegetation nicht ausgewertet werden konnten, so kann davon ausgegangen werden, dass im Winter bei fehlender Vegetation ebenfalls größere Temperaturschwankungen auf der wurzelfesten Folie zu verzeichnen sind als mit Vegetation. Eine Materialermüdung der Folie kann bei fehlender Vegetation durchaus auftreten, wenn Dauerfrost vorherrscht. Die wurzelfeste Folie sollte daher Lufttemperaturen von unter -20°C nicht ausgesetzt sein. Eine flächendeckende Vegetation kann die Wurzelschutzfolie vor niedrigen Temperaturen schützen, auch wenn im Winter aufgrund des Zurückgehens der Vegetation die Pflanzendeckung nicht so ausgeprägt ist wie im Sommer.

Ein ausreichender thermischer Schutz der wurzelfesten Folie kann sowohl im Sommer als auch im Winter nur durch eine intakte Dachbegrünung erreicht werden. Daher ist es unerlässlich, regelmäßige Pflegegänge durchzuführen und beim Feststellen von Vegetationslücken auf dem Substrat diese schnellstmöglich durch Nachsäen oder Nachpflanzen zu schließen.

Bei Substratverwehungen oder größeren Lücken im Substrat müssen diese zunächst mit extensivem Dachsubstrat verfüllt werden, bevor nachgesät oder nachgepflanzt werden kann.

7 Praxisuntersuchungen zur Optimierung der Pflege und Wartung

Es hat sich in den Untersuchungen zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen in den verschiedenen Städten gezeigt, dass Pflegegänge zwar regelmäßig erfolgen, dass aber Düngemaßnahmen von den zu pflegenden Firmen/Personen weitestgehend vernachlässigt werden. Oftmals wird nach wie vor von den Hauseigentümern damit argumentiert, dass bekannt sei, dass extensive Dachbegrünungen pflegearm seien und diesbezüglich keine Düngung notwendig ist. Die FLL-Dachbegrünungsrichtlinien mit den Hinweisen zur Düngung sind zudem fachfremden Firmen, die die Dachbegrünungen pflegen, nicht bekannt. Galabau-Firmen, die regelmäßig Dachbegrünungen pflegen und die FLL-Dachbegrünungsrichtlinien kennen, empfehlen den Eigentümern eher gelegentlich eine Düngung vorzunehmen als fachfremde Firmen. Dabei können keine Unterschiede zwischen privaten und öffentlichen Gebäuden festgestellt werden.

Um die positiven Wirkungen einer Düngung für extensive Dachbegrünungen und somit für ein vitaleres Pflanzenwachstum nochmals aufzuzeigen (obwohl in der Literatur einschlägige Forschungsergebnisse zu diesem Thema veröffentlicht sind), wurden konkrete Düngerversuche in Berlin und Stuttgart geplant und durchgeführt. Des Weiteren wurde recherchiert, welche Düngemittel für extensive Dachbegrünungen eingesetzt werden können, um dem Anwender bei der Wahl des Düngers behilflich zu sein.

Bezüglich des Einsatzes einer Zusatzbewässerung wurden ebenfalls Empfehlungen erarbeitet, die in den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien nicht Gegenstand sind. Hierbei wurde auf zusätzliche Fachliteratur zurückgegriffen. Auf praktische Versuche bezüglich einer Zusatzbewässerung von extensiven Dachbegrünungen in Trockenperioden musste verzichtet werden, da zum Einen die wenigsten extensiven Dachbegrünungen über einen Wasseranschluss auf dem Dach verfügten und zum Anderen aufgrund von Befragungen es ökonomisch für die untersuchten Dachbegrünungen nicht vertretbar gewesen wäre, extensive Dachbegrünungen im Rahmen der Unterhaltungspflege zusätzlich zu bewässern. Es gab von den untersuchten 74 Dachbegrünungen nur eine Dachbegrünung, die in Trockenperioden regelmäßig bewässert wurde, da der Gebäudeeigentümer richtig erkannte, dass die Sedumpflanzen Trockenstresssymptome aufwiesen.

Bezüglich des ermittelten unerwünschten Bewuchses fiel auf, dass auf den Dachbegrünungen, die durch fachfremde Firmen gepflegt und gewartet wurden, oftmals Unkenntnisse bezüglich des notwendigen Entfernens der nicht erwünschten Pflanzen auf extensiven Dachbegrünungen vorherrschte. Hierzu war es erforderlich, diese Pflanzen in einem Pflanzenkatalog aufzunehmen, der in der Broschüre „Hinweise zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen“ (HERFORT, S.; PFLANZ, 2021) enthalten ist.

7.1 Düngerversuche

Das Düngen von extensiven Dachbegrünungen während der Unterhaltungshaltungspflege sollte nicht vernachlässigt werden, da Düngergaben zu einer positiven Vegetationsentwicklung beitragen. Der Empfehlung der FLL-Dachbegrünungsrichtlinien mit 5 g Stickstoff pro m² und Jahr zu düngen, ist vor allem bei Nährstoffmangelsymptomen zu folgen. Insbesondere die Vegetation auf sehr dünnschichtigen Systemen kann eher an Nährstoffmangelerscheinungen als auf dickschichtigeren Systemen leiden und sollte daher regelmäßig gedüngt werden. Zielsetzung der durchgeführten Düngerversuche war, extensive Dachbegrünungen in der Unterhaltungspflege unterschiedlich zu düngen und den Zustand der Vegetation aufzunehmen, um feststellen zu können, in welchem Maße die Düngung einen positiven Effekt auf die Pflanzenvitalität und den Deckungsgrad hat.

7.1.1 Düngerversuche in Berlin

In den Untersuchungen zur Düngergabe wurden aus einer Vielzahl von handelsüblichen Düngemitteln für die extensive Dachbegrünung vier verschiedene Langzeitdünger (Tabelle 11) mit unterschiedlichem Stickstoff-Phosphor-Kalium-Verhältnis (NPK-Verhältnis) ausgewählt und getestet. Die Düngemitteldatenbank (FLL - FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V., 2016), in der gegenwärtig 178 Düngemittel für den Garten- und Landschaftsbau erfasst sind, bildete die Basis der Auswahl.

Das Düngemittel „Landscape Pro Full Season“ wurde aufgrund der hohen Konzentration an Stickstoff sowie der Empfehlungen der FLL gewählt. Der Anteil an Phosphor und Kalium ist sehr gering. Der Stickstoffwirkungsbeginn erfolgt sofort und die Stickstoffwirkungsdauer hält 8 bis 9 Monate an. „Landscape Pro Full Season“ wurde von der Firma ICL Deutschland Vertriebs GmbH gesponsert.

Das Düngemittel „Optigrün Opticote“, das von der Firma Optigrün international AG gesponsert wurde, weist anteilmäßig doppelt so viel Phosphor und Kalium auf wie das Düngemittel „Landscape Pro Full Season“. Die Langzeitdüngewirkung beträgt ebenfalls 8 bis 9 Monate.

Das Düngemittel „Osmocote Exact Standard“ ist ein ausgeglichener Langzeitdünger mit nahezu gleichen Anteilen an N, P und K und hat eine Wirkdauer von 8 bis 9 Monaten.

Das Düngemittel „Osmocote Exact High K“ ist ein Kalium betonter Langzeitdünger mit doppelt so hohem Anteil an K wie der „Osmocote Exact Standard“, wobei das Verhältnis von N zu P mit dem von „Osmocote Exact Standard“ vergleichbar ist (Tabelle 12).

Die Osmocote-Düngemittel wurden wieder von der Firma ICL Deutschland Vertriebs GmbH zur Verfügung gestellt.

Tabelle 11 Auswahl der Dünger in den Untersuchungen zur Pflanzenentwicklung bei extensiven Dachbegrünungen

Düngemittel	N [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]
Landscaper Pro Full Season	27	5	5
Optigrün Opticote	18	6	8
Osmocote Exact Standard	15	9	11
Osmocote Exact High K	12	7	19

In den über zwei Jahre laufenden Düngerversuchen (2018 bis 2019) im Rahmen der Unterhaltungspflege wurde untersucht, welche Rolle P und K bei gleichbleibender Menge N von 5 g N/m² spielen, da die FLL in ihren Dachbegrünungsrichtlinien die Empfehlung gibt, mit einem umhüllten NPK-Langzeitdünger auf der Basis von 5 g N/m² und Jahr zu düngen, aber keine Angaben zur optimalen Gabe von P und K macht.

Tabelle 12 Verhältnis von NPK der verwendeten Dünger beim Einsatz von 5 g N/m²

Düngemittel	N [g/m ²]	P ₂ O ₅ [g/m ²]	K ₂ O [g/m ²]
Landscaper Pro Full Season	5	1	1
Optigrün Opticote	5	2	2
Osmocote Exact Standard	5	3	4
Osmocote Exact High K	5	3	8

In einem Parallelversuch wurde untersucht, inwiefern sich eine Einmaldüngung von 10 g N/m², insbesondere bei Dachbegrünungen, die kaum gedüngt wurden, auf das Pflanzenwachstum auswirkt. Für diese Untersuchungen wurde der Langzeitdünger „Osmocote Exact Standard“ verwendet.

Die Versuche (Abbildung 30) wurden in Parzellen mit einer Größe von 40 cm mal 40 cm an drei Standorten in Berlin-Mitte (2 Dächer der Berliner Wasserbetriebe, 2 Dächer des Saturngebäudes am Alexanderplatz, 1 Dach des Vattenfallbürogebäudes) stets mit 10facher Wiederholung durchgeführt, wobei die einmalige Düngung im Mai 2018 stattfand. Es handelte sich bei den extensiven Dachbegrünungen um drei Dachbegrünungen mit einer Moos-Sedum-Kraut-Gras-Vegetation und um zwei Dachbegrünungen mit einer Moos-Sedum-Vegetation.



Abbildung 30 Versuchsfläche von Vattenfall in Berlin-Mitte (© Susanne Herfort)

Von Mai bis September 2018 sowie von April bis Oktober 2019 wurden monatlich Bonituren vorgenommen, um die Vegetation hinsichtlich des Deckungsgrades, der Vitalität und der Pflanzenzusammensetzung zu beurteilen. Die Ermittlung der Pflanzenzusammensetzung erfolgte prozentual nach den Arten Moose, Sedum, Gräser und Kräuter.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes in Form einer Masterarbeit von BARNICKEL (2019) zu den verschiedenen Düngemaßnahmen und in Form einer Bachelorarbeit von PRAEGERT (2019) hinsichtlich des Pflanzenwachstums durchgeführt. Die Ergebnisse werden wie folgt von BARNICKEL (2019) und PRAEGERT (2019) dargestellt:

Zu Versuchsbeginn im Mai 2018 wurden die höchste Vitalität und der höchste Deckungsgrad auf allen Versuchsflächen festgestellt. Aufgrund der extremen klimatischen Bedingungen (zu trocken und zu heiß) in der Vegetationsperiode 2018 kam es dann zu einer Verschlechterung des Vegetationszustandes hinsichtlich aller Bewertungskriterien über den Boniturzeitraum, was keine Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der verschiedenen Dünger und unterschiedlichen Düngergaben zulässt.

Bezüglich der Pflanzenzusammensetzung wies Sedum den höchsten Anteil auf allen Versuchsflächen und zu jedem Boniturzeitpunkt auf. Kräuter und Gräser konnten nach der zweiten Bonitur nicht mehr beobachtet werden, wohingehend auf einigen Versuchsflächen ein Zuwachs an Moos zu verzeichnen war.

Im Jahr 2018 konnten leider keine signifikanten Unterschiede bezüglich der vier verschiedenen eingesetzten Dünger mit 5 g/m² Stickstoff festgestellt werden. Es gab ebenfalls keine signifikanten Unterschiede des Pflanzenwachstums bezüglich der Gabe von 5 g/m² Stickstoff und 10 g/m² Stickstoff.

Es zeigte sich somit, dass die Gabe der Düngung aufgrund der extremen klimatischen Bedingungen in Berlin keinen zusätzlichen Einfluss auf ein positives Pflanzenwachstum hatte.

Bezüglich der Toleranz gegenüber Trockenstress und Hitze konnte festgestellt werden, dass insbesondere Moose und Sedum (vor allem *Sedum album* und *Sedum spurium*) auch in Zukunft die Arten sind, die sich in heißen Trockenperioden auf extensiven Dachbegrünungen am besten etablieren können. Von den Kräutern zeigte *Allium schoenoprasum* die beste Anpassung an Trockenstress.

Im Versuchsjahr 2019, das ebenfalls ein sehr heißes und trockenes Jahr war, konnten im Rahmen einer weiteren Masterarbeit ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsflächen, die im Jahr 2018 mit den oben genannten Düngern mit 5 g/m² Stickstoff behandelt wurden, festgestellt werden (GEIDEL 2020). Beobachtet wurde dennoch auf den Dächern der Berliner Wasserbetriebe über einen längeren Zeitraum eine höhere Pflanzenvitalität durch die mit „Osmocote Exact Standard“ gedüngten Varianten gegenüber der Kontrolle ohne Düngung. Auf dem Dach von Vattenfall konnte zu drei Boniturterminen ein besseres Pflanzenwachstum mit „Landscape Pro Full Season“ gegenüber der Kontrolle erzielt werden. Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass womöglich die generelle Stickstoffgabe einen größeren Einfluss auf das Pflanzenwachstum hat als die unterschiedlichen Gaben an Phosphor und Kalium.

Bezüglich der Untersuchungen des Pflanzenwachstums mit Stickstoffgaben von 5 g/m² und 10 g/m² konnten signifikante Unterschiede auf den Dachbegrünungen bei den Berliner Wasserbetrieben und auf den Satrondächern gegenüber der Kontrollgruppe festgestellt werden. Es gab jedoch keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Pflanzenwachstums und einer Stickstoffgabe von 5 g/m² und 10 g/m².

Aufgrund der Datenbasis der Ergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass eine Düngung generell immer sinnvoll erscheint. Diese sollte möglichst dann erfolgen, wenn es ausreichend feucht ist. Positiv anzumerken ist, dass Düngemittel, wenn diese sich im ersten Jahr aufgrund von langanhaltenden Trockenperioden nicht lösen können, im zweiten Jahr ihre Nährstoffe an die Vegetation abgeben und somit das Pflanzenwachstum dennoch erhöhen.

7.1.2 Düngerversuche in Stuttgart

In Anlehnung an die Düngeruntersuchungen in Berlin und den negativen klimatisch bedingten Einflüssen auf die Düngerwirkung im Versuchsjahr 2018 wurde im Spätsommer 2018 in Stuttgart ein weiterer Versuch zur optimalen Gabe der Düngermenge angelegt, um die positive Wirkung von Düngergaben unter anderen klimatischen Bedingungen zu testen. Dieser Versuch wurde ebenfalls 2019 fortgeführt. Die einmalige Düngung erfolgte im Oktober 2018.

Die Untersuchung wurde auf einer über 40 Jahre alten Dachbegrünung der Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB) (Abbildung 31) durchgeführt, die laut Aussagen der SSB in den letzten Jahren nicht gedüngt wurde und in der Vegetation einige Fehlstellen aufwies.

Der Versuch hatte zum Ziel, die Pflanzendeckung der Moos-Sedum-Vegetation mit einer Stickstoffgabe von 5 g/m² und 10 g/m² im Vergleich zur Kontrollgruppe (ohne Dünger) aufzunehmen und zu bewerten. Die Untersuchungen wurden in 12facher Wiederholung auf 1 mal-1 m-Parzellen mit dem Dünger „Osmocote Exact Standard“ durchgeführt.



Abbildung 31 Extensive Dachbegrünung der SSB (© Susanne Herfort)

Zu Beginn der Untersuchungen betrug die Pflanzendeckung auf der Kontrollfläche durchschnittlich 52 %, auf der Fläche, die mit 5 g/m² Stickstoff gedüngt wurde, durchschnittlich 56 % und auf der Fläche, die mit 10 g/m² Stickstoff gedüngt wurde, durchschnittlich 50 %. Über den Versuchszeitraum von einem Jahr zeigte sich, dass im Gegensatz zu der ungedüngten Fläche die gedüngten Flächen einen deutlichen Pflanzenzuwachs erhielten (Abbildung 32).

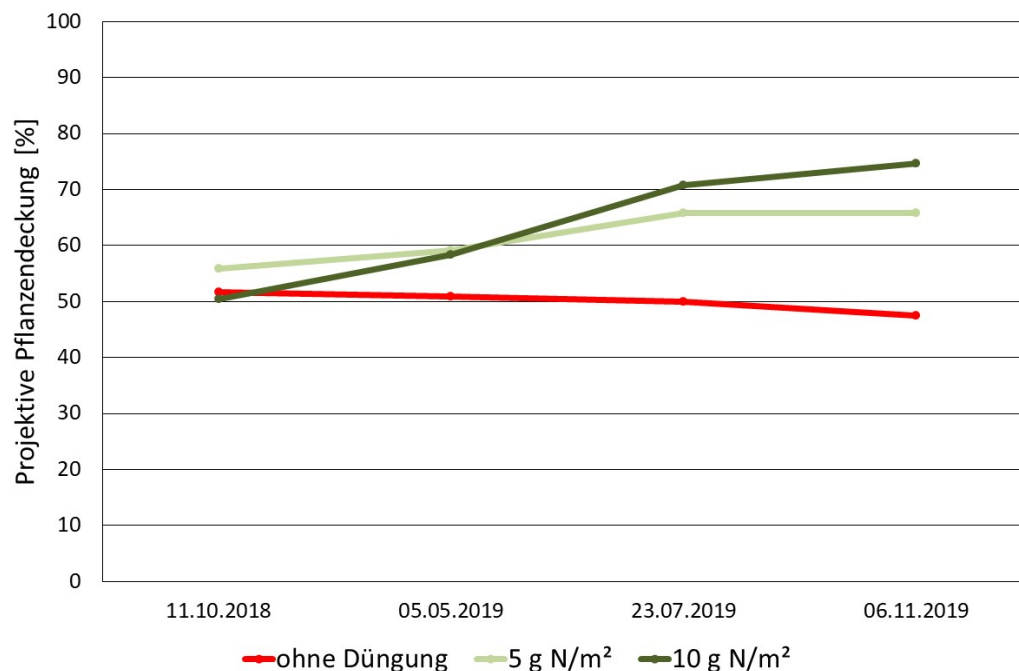


Abbildung 32 Pflanzendeckung der extensiven Dachbegrünung der SSB nach Düngergaben

Hervorzuheben ist, dass bei der ungedüngten Variante (Kontrolle) der Deckungsgrad der Vegetation über den Versuchszeitraum sogar um ca. 4 % zurückging, wohingegen der Pflanzendeckungsgrad der mit 5 g/m^2 Stickstoff gedüngten Variante um 10 % und der Pflanzendeckungsgrad der mit 10 g/m^2 Stickstoff gedüngten Variante um 24 % stieg. Das macht sehr deutlich, wie wichtig eine Düngung für extensive Dachbegrünungen ist und diese unbedingt erfolgen sollte. Die Kontrollgruppe (Abbildung 33) zeigt mit etwa 50 % Pflanzendeckung die niedrigste Pflanzendeckung im Gegensatz zu den mit 5 g/m^2 Stickstoff gedüngten (Abbildung 34) und mit 10 g/m^2 Stickstoff gedüngten Parzellen (Abbildung 35), die zu Versuchsende durchschnittlich eine 66 %ige bzw. 75 %ige Pflanzendeckung aufwiesen.

Die Untersuchungen ergaben, dass im Fall der Dachbegrünung der SSB eine Düngergabe das Pflanzenwachstum positiv beeinflusste, wobei die Stickstoffgabe von 10 g/m^2 ein stärkeres zusätzliches Pflanzenwachstum bewirkte als die Stickstoffgabe mit 5 g/m^2 (Abbildung 33 bis Abbildung 35).

Empfohlen wird aufgrund der Versuchsergebnisse, dass bei Dachbegrünungen mit Nährstoffmangelerscheinungen, die die meisten in diesem Forschungsprojekt untersuchten Dächer aufwiesen, unbedingt eine Düngung erfolgen sollte.

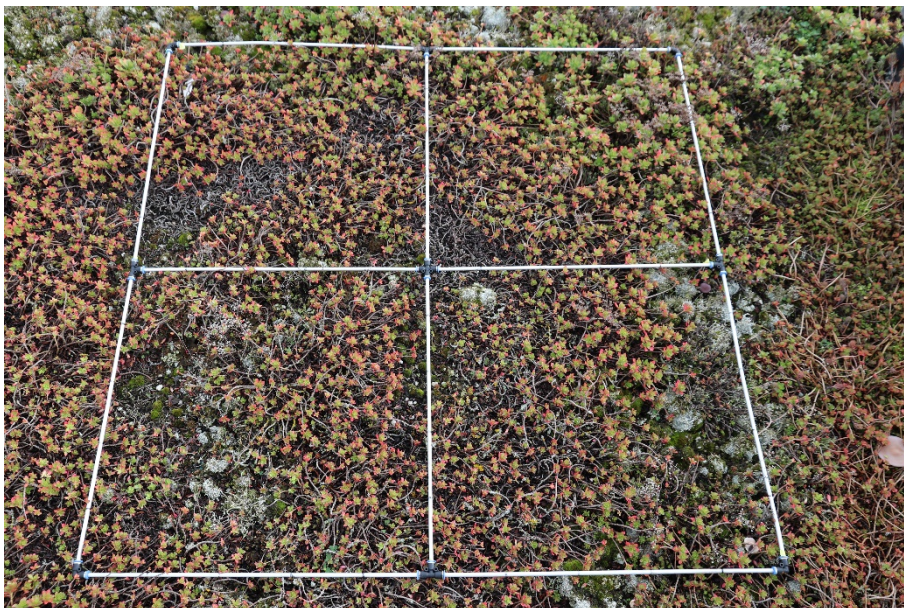


Abbildung 33 Kontrolle (ohne Düngung) nach einem Jahr auf der extensiven Dachbegrünung der SSB
(© Susanne Herfort)

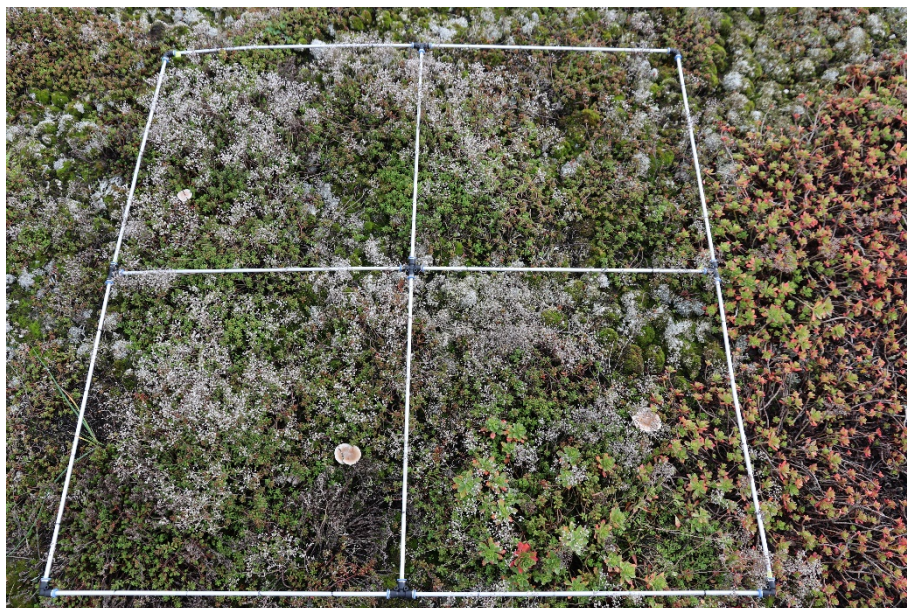


Abbildung 34 Mit 5 g N/m² gedüngte Parzelle nach einem Jahr auf der extensiven Dachbegrünung der SSB
(© Susanne Herfort)

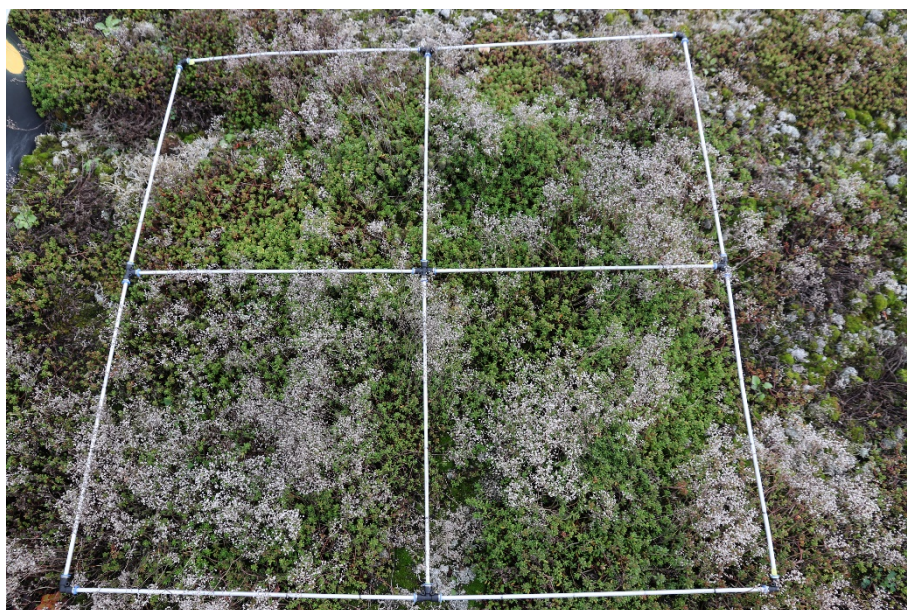


Abbildung 35 Mit 10 g N/m² gedüngte Parzelle nach einem Jahr auf der extensiven Dachbegrünung der SSB
(© Susanne Herfort)

7.1.3 Dünger für die extensive Dachbegrünung

Anhand von Recherchen zu festen Düngemitteln, die für extensive Dachbegrünungen idealerweise eingesetzt werden können, wurden die weit verbreitetsten Düngemittel (Tabelle 13) zusammengestellt. Die Düngemittel unterscheiden sich nicht nur bezüglich der Konzentration der Komponenten N, P und K sowie des NPK-Verhältnisses, sondern auch hinsichtlich der Wirkdauer, die zwischen 2 Monaten und 14 Monaten betragen kann. Zu beachten bei der Dosierung des Düngers ist immer der Stickstoffgehalt (N in %), nachdem sich die Menge des auszubringenden Düngers berechnet. In den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien wird eine Düngung von 5 g/m² Stickstoff empfohlen. Die durchgeführten Versuche in Stuttgart haben gezeigt, dass eine Stickstoffgabe von 10 g/m² bei einer geringen Pflanzendeckung ebenfalls von Vorteil ist und zu keinen Schädigungen an den Pflanzen führt.

In der oben genannten Studie von CLARK & ZHENG (2013) zur optimalen Stickstoffgabe bei extensiven Dachbegrünungen mit Sedum ergaben die Untersuchungen, dass die beste Behandlung basierend auf vegetativer Bedeckung und Pflanzenwachstum bei einer Stickstoffgabe von 15 g/m² erfolgte. Die Behandlungen mit einer Stickstoffgabe von 30 g/m² bzw. 60 g/m² führten zu Schädigungen der Pflanzen im Winter. Diesbezüglich ist eine Gabe von 5 bis 10 g/m² Stickstoff, wie sie im Rahmen des Projektes untersucht wurde, unbedenklich und hilft der Sedumvegetation sich besser zu etablieren und unerwünschten Bewuchs zu verdrängen.

Der Zeitpunkt der Düngung sollte so gewählt werden, dass dies nicht in Hitzeperioden und bei starker Sonneneinstrahlung erfolgt, damit die Pflanzen nicht verbrennen. Am besten eignet sich eine feuchte Wetterlage, so dass sich der Dünger auf der Oberfläche der Dachbegrünung gut lösen kann. Vorzugsweise sollte man im Frühjahr düngen, damit der Dünger in der Vegetationsperiode von den Pflanzen optimal aufgenommen werden kann.

Es sollte versucht werden, das Düngemittel möglichst gleichmäßig auszustreuen. Im Handel gibt es dazu Handstreugeräte bzw. Streuwagen, die das Ausbringen des Düngers erleichtern.

Tabelle 13 Auswahl der auf dem Markt erhältlichen Düngemittel für extensive Dachbegrünungen

Nr.	Dünger	N [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]	MgO [%]	Wirkdauer in Monaten	Düngergabe [g/m ²] mit der Einsatzmenge von 5 g/m ² Stickstoff
1	AMN Natural Aktiv - bio Granulat mit Mykorrhiza	7	3	7		>3	71
2	AMN Natural Vegetal - bio Granulat mit Mykorrhiza	6	2	6		>3	83
3	Basacote® Plus 6	16	8	12	2	6	31
4	Basacote® Plus 9	16	8	12	2	9	31
5	Basacote® Plus 12	15	8	12	2	12	33
6	Basacote® High K 6M	13	5	18	2	6	38
7	Basafilm® Gazon extra	19	5	8	2	>3	26
8	Carbon Vital+	3	1	1	0,5	>3	167
9	Cornufera 16+7+16	16	7	16		2-3	31
10	Cuxin Myco Activ	4	3	2		9	125
11	Fertovit Gartendünger	7	3	6		3-4	71
12	Floranid® Club	10	5	20	4	ca. 3	50
13	Floranid® Permanent	16	7	15	2	ca. 3	31
14	Hornoska Spezial	8	3	10	3	ca. 2	63
15	Landscaper Pro Full Season	17	5	5	2	8-9	29
16	Optigrün Opticote	18	6	8	2	8-9	28

Tabelle 13 Fortsetzung: Auswahl der auf dem Markt erhältlichen Düngemittel für extensive Dachbegrünungen

Nr.	Dünger	N [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]	MgO [%]	Wirkdauer in Monaten	Düngergabe [g/m ²] mit der Einsatzmenge von 5 g/m ² Stickstoff
17	Oscorna-BodenAktivator	3	2	0	2	2-3	167
18	Oscorna-Animalin Gartendünger pelletiert	7	4	0,5	0,4	2-3	71
19	Oscorna-Rasaflor Rasendünger granuliert	8	4	5	0	2-3	63
20	Osmocote Exact Standard	15	9	12	2,5	5-6	33
21	Osmocote Exact Standard	15	9	11	2,5	8-9	33
22	Osmocote Exact Standard	15	9	11	2,5	12-14	33
23	Osmocote Exact High K	12	7	19		5-6	42
24	Plantacote® Depot	19	6	12		4	26
25	Plantacote® Depot	19	6	12		6	26
26	Plantacote® Depot	18	6	12		8	28
27	Plantacote® Depot	18	6	12		12	28
28	Plantacote® Top K	10	9	19		4	50
29	Plantacote® Top K	10	9	19		6	50
30	Plantacote® Top K	9	9	19		8	56
31	Triabon®	16	8	12	4	>3	31
32	ZinCo Pflanzenfit® 4 M	23	5	10		4	22

7.2 Bewässerung

Auch wenn es notwendig erscheint, in Trockenstressperioden zusätzlich zu bewässern, so ist es dennoch sinnvoller, bereits beim Einbau des Substrates darauf zu achten, dass je nach den Niederschlagsverhältnissen der Region ein Substrat mit einer höheren oder einer geringeren Wasserspeicherfähigkeit eingebaut wird.

In den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien wird gefordert, dass bei Extensivbegrünungen die einzusetzenden Substrate eine maximale Wasserkapazität von 20 bis 65 Vol.-% und eine Luftkapazität bei maximaler Wasserkapazität von ≥ 10 Vol.-% aufweisen.

Die Untersuchungsergebnisse haben ergeben, dass unabhängig von der Region und den dort anfallenden Jahresniederschlägen Substrate auf den extensiven Dachbegrünungen mit einer maximalen Wasserkapazität von 22 bis 66 Vol.-% eingebaut waren. Dies entspricht zwar den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien, dennoch sollten die Substrate mehr an die Region angepasst werden.

Die Empfehlung, die auf der Basis des Forschungsprojektes und in Anbetracht des bevorstehenden Klimawandels gegeben wird, ist, in Regionen wie zum Beispiel München, die eine relativ hohe jährliche Niederschlagsmenge aufweisen, dränfähigere Materialien einzusetzen als in niederschlagsärmeren Regionen, wie zum Beispiel Berlin, in denen Substrate mit einer hohen Wasserkapazität eingesetzt werden sollten.

Es sollte weiterhin in der Zukunft darauf geachtet werden, dass bei Neuanlagen von Dachbegrünungen eine Wasserinstallation auf dem Dach erfolgt, um vor allem in der Fertigstellungspflege (innerhalb der ersten 12 Monate nach Ausbringung der Vegetation), aber auch in der Erhaltungspflege (nach der Abnahme der Dachbegrünung bis zum Erreichen des Vegetationsziels, was bis zu zwei Jahren nach der Abnahme dauern kann) die Möglichkeit des Bewässerns der Dachbegrünung gegeben ist.

Wenn bei hohem Trockenstress die Dachbegrünung bewässert werden soll (Temperaturen über 30 °C), dann ist eine Zusatzbewässerung von 2 mal pro Woche mit einer jeweiligen Wassergabe von 10 bis 15 l/m² zu empfehlen (in Anlehnung an die DIN 18035-2:2020-09, 2020; EPPEL ET AL., 2012; FLL - FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V., 2015).

7.3 Pflegegänge

In den FLL-Dachbegrünungsrichtlinien wird geregelt, wie eine fachgemäße Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen erfolgen sollte. Direkt nach dem Einbau der extensiven Dachbegrünung sollte zunächst die Fertigstellungspflege der Dachbegrünung erfolgen, um den Anwuchserfolg zu gewährleisten. Diese Arbeiten werden von Fachbetrieben des Garten- und Landschaftsbaus ausgeübt und dauern in der Regel etwa 12 Monate.

Im Anschluss an die Fertigstellungspflege, wenn ein bestimmter Deckungsgrad der Vegetation erreicht ist und durch den hohen Deckungsgrad die Abnahme der Dachbegrünung erfolgen kann, setzt die Entwicklungspflege ein, die zum Ziel hat, den funktionsfähigen Zustand der Dachbegrünung zu erreichen.

Im Anschluss daran folgt die Unterhaltungspflege, die Gegenstand der in diesem Forschungsprojekt erarbeiteten Broschüre „Instandhaltung (Pflege und Wartung) von extensiven Dachbegrünungen“ ist und in Kooperation mit dem Bundesverband GebäudeGrün e. V. und den Mitgliedern des BuGG erstmalig erarbeitet wurde (Abbildung 36).

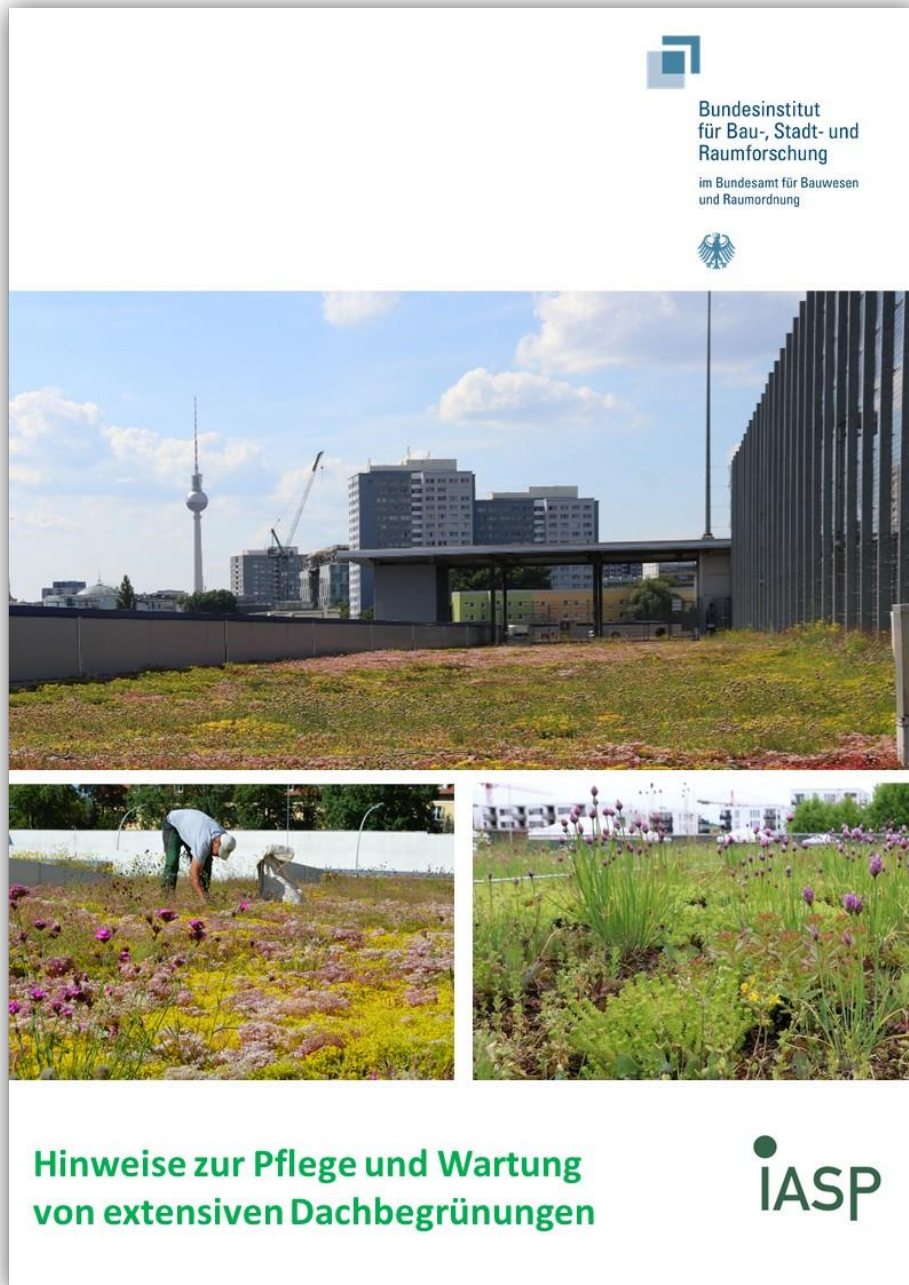


Abbildung 36 Neu veröffentlichte Broschüre „Hinweise zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen“ (© Susanne Herfort)

In der neu erstellten und veröffentlichten Fachinformation sind alle wichtigen Bestandteile für eine erfolgreiche Pflege von extensiven Dachbegrünungen aufgeführt, bei denen die Grundvoraussetzung das Festlegen der Pflegegänge zu festgesetzten Terminen notwendig ist. Laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien sollten 1 bis 2 Pflegegänge pro Jahr durchgeführt werden, wobei je nach Objekt aber auch mehr Pflegegänge erforderlich sein können. Aus den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass bei Objekten, bei denen des Öfteren Pflegegänge durchgeführt wurden, die unerwünschte Vegetation gering war und die Zielvegetation sich besser entwickeln konnte. Daher werden aufgrund der Forschungsergebnisse 3 bis 4 Pflegegänge pro Jahr empfohlen. Die zunächst höheren Kosten für das Durchführen von mehreren Pflegegängen pro Jahr zahlen sich später wieder aus, da der Pflegeaufwand hinsichtlich des Entfernens des unerwünschten Bewuchses mit den Jahren abnimmt und die Zielvegetation sich besser etablieren kann.

Vor allem ist wichtig, dass möglichst in den Monaten April bis Juni ein erster Pflegegang durchgeführt wird. Der Pflegegang im Frühjahr ist vor allem von Bedeutung, um aufkommenden unerwünschten Bewuchs rechtzeitig vor der Blüte zu entfernen und die Zielvegetation durch eine Düngung zu stärken, die auf keinen Fall versäumt werden darf.

Bei Auftragserteilung, eine extensive Dachbegrünung zu pflegen und zu warten, sollte vor allem eine erste Bestandsaufnahme (Inspektion) vor Ort gemacht werden, um den momentanen Zustand der Dachbegrünung zu erfassen und das Pflegeziel kenntlich zu machen. Über folgende allgemeine Informationen sollte die pflegeausführende Person der Dachbegrünung verfügen, die in einem Inspektionsbericht festgehalten werden sollten:

Allgemeine Informationen zur Dachbegrünung

- Baujahr,
- Flächengröße,
- Art der Vegetationstragschicht,
- Substratdicke,
- Welcher Schichtaufbau (einschichtig oder mehrschichtig),
- Dränschicht vorhanden oder nicht vorhanden.

Dachinformationen

- Dachneigung,
- Dachhöhe,
- Maximale Dachlast (Statik),
- Welche Art des Zugangs zum Dach,
- Absturzsicherung vorhanden oder nicht vorhanden und wenn vorhanden, welche Art,
- Rand- und Sicherheitsstreifen vorhanden oder nicht vorhanden
- Bewässerungsanschluss vorhanden oder nicht vorhanden,
- Technische Aufbauten vorhanden oder nicht vorhanden,
- Lichtverhältnisse,
- Angrenzende Gebäude vorhanden oder nicht vorhanden,
- Angrenzende Bäume vorhanden oder nicht vorhanden.

- Wie kann der Transport von Arbeitsgeräten erfolgen,
- Vegetationsziel des Auftraggebers,
- Versicherungsschutz des Pflegepersonals und arbeitsrechtliche Erlaubnis.

Bei der Begehung der Dachbegrünung, die protokolliert werden sollte (mit Datum und Angaben zu den vorherrschenden klimatischen Bedingungen) muss das Vegetationsziel des Auftraggebers klar formuliert werden. Im Vorfeld muss auch der Versicherungsschutz des Pflegepersonals und die arbeitsrechtliche Erlaubnis vorhanden sein.

Bei der Begehung müssen vor allem folgende Punkte zur Vegetation, zu den Schadbildern und zur bisherigen Pflege und Wartung erfasst werden, um den gegenwärtigen Zustand der Dachbegrünung festzuhalten.

Informationen zur Vegetation

- Art der ZIELvegetation (Sedum, Moose, Gräser, Kräuter),⁶⁴
- Art der aktuell vorhandenen Vegetation (das umfasst auch die unerwünschte Vegetation),
- Zustand (Gesamteindruck) der Vegetation,
- Pflanzendeckungsgrad.

Informationen zu den Schadbildern

- Fehlstellen in der Vegetation,
- Trockenstress der Pflanzen,
- Löcher im Substrat,
- Schutzvlies ragt vor,
- Pfützenbildung,
- Müll auf der Dachbegrünung oder sonstiges,
- Unerwünschter Bewuchs vorhanden oder nicht vorhanden,
- Anteil des unerwünschten Bewuchses.

Informationen zur Pflege/Wartung

- Datum der letzten Pflege und Wartung,
- Inhaltliche Angaben der bisherigen Pflege und Wartung (Was wurde bisher gemacht? Wurde regelmäßig der unerwünschte Bewuchs entfernt? Wurde die Dachbegrünung regelmäßig gedüngt? Wie wurde gedüngt?),
- Zustand der Kiesrandstreifen,
- Zustand der Platten- oder Terrassenbeläge,
- Zustand der Entwässerungseinrichtungen.

Wie bereits oben erwähnt, wird die Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen nach Zeitabständen unterteilt. Unterschieden wird in Fertigstellungspflege, die zur Errichtung und Fertigstellung der Dachbegrünung gehört, und der darauffolgenden Entwicklungs- und Unterhaltungspflege (Abbildung 37). Die Wartung gehört zu allen Phasen der Pflege dazu.

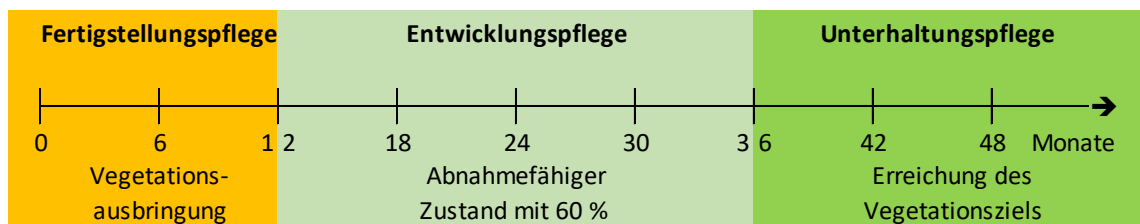


Abbildung 37 Pflegemaßnahmen in Abhängigkeit vom Alter der Dachbegrünung (© Susanne Herfort)

Dem Thema „Unerwünschter Bewuchs“ auf Dachbegrünungen ist ein gesondertes Kapitel gewidmet, da die Untersuchungen gezeigt hatten, dass der unerwünschte Bewuchs nicht immer als dieser erkannt wird, aber von herausragender Bedeutung für die Qualität der Dachbegrünung und für den Erhalt der Gebäudeoberfläche ist. Dennoch ist abzuwägen, was als unerwünschter Bewuchs wirklich entfernt werden muss, da insbesondere blühende Kräuter, die unter Umständen nicht zur Zielvegetation gehören, dennoch eine Bereicherung für die Dachbegrünung sein können.

Sowohl in der Broschüre als auch in der entwickelten App zur Gründachpflege (siehe Kapitel 8) werden die häufigsten Arten des unerwünschten Bewuchses, die auf dem Dach vorkommen, benannt und mit Fotos dargestellt, so dass die pflegende Person schnell unterscheiden kann, welche Pflanzen unbedingt entfernt werden müssen.

8 Ergebnisse

Die Ergebnisse des durchgeführten Projektes werden in Form von Hinweisen zur Pflege und Wartung von extensive Dachbegrünungen in der Unterhaltungspflege dargestellt. Zum einen werden die Untersuchungsergebnisse ausführlich in diesem Forschungsprojekte diskutiert. Zum anderen können die im Rahmen des Forschungsprojektes erstellte Broschüre „Hinweise zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen“ (Herfort, S.; Pflanz, K., 2021) sowie die entwickelte Gründach-Pflege-App auf der Webseite <https://pflege-dachbegrueung.de> die Unterhaltungspflege unterstützen.

8.1 Konzeption zur Unterhaltungspflege

Die Unterhaltungspflege beinhaltet laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien (2018) und anhand der neuen Erkenntnisse aus dem Projekt folgende Punkte:

- Eine regelmäßige Düngung kräftigt die Vegetation und vermindert unerwünschten Bewuchs. Es werden 5 g Stickstoff pro m² empfohlen, dabei sollte ein Dünger aus der Tabelle 13 Anwendung finden. Weist die Vegetation extreme Mangelerscheinungen an Nährstoffen auf, kann auch mit einer Gabe von 10 g/m² Stickstoff gedüngt werden. Die Düngung sollte möglichst im Frühjahr vor einem Regenereignis erfolgen.
- Das Entfernen von unerwünschtem Bewuchs und Laub sollte regelmäßig erfolgen, auch auf Kiesstreifen und Plattenbelägen, wobei hier Sedumarten und Moose toleriert werden können. Die erste Entfernung des unerwünschten Bewuchses sollte unbedingt im Frühjahr erfolgen.
- Der Vegetationsschnitt bei Gräsern und Kräutern sollte möglichst nach der Blüte erfolgen. In der Regel werden Freischneider angewendet. Das Schnittgut muss nach dem Mähen entfernt werden.
- Das Nachwalzen erfolgt bei Frosthebung, ist jedoch selten erforderlich.
- Das Nachfüllen von Substrat bei Erosion ist unerlässlich. Im Anschluss muss eine Nachsaat erfolgen, die bis zum Anwachsen gewässert werden sollte.
- Das Verfüllen von Fugen bei Vegetationsmatten ist erforderlich, wenn diese geschrumpft sind.
- Das Nachsäen oder Nachpflanzen erfolgt mit den ausgeschriebenen Arten der Zielvegetation bei Fehlstellen. Bei der Verwendung von Samen werden in der Regel 5 bis 20 g/m² Saatgut (siehe Informationen, die auf der Saatgutmischung zu finden sind), bei der Verwendung von Sedumsprossen werden 50 bis 100 g/m² Sprossen auf die Dachbegrünung gebracht. Dies sollte möglichst am Morgen oder Abend erfolgen und im Anschluss bewässert werden. Es können auch Sprossen von den auf der Dachbegrünung vorhandenen Sedumpflanzen geerntet und ausgebracht werden. Hierbei sind die kräftigsten Pflanzensprossen zu nehmen, aber keine Blüten.
- Das Freihalten von technischen Einrichtungen von Vegetation kann meistens nur per Hand erfolgen, ist aber für die Anlagensicherheit erforderlich.

- Das Freihalten von Rand- und Sicherheitsstreifen (Kiesstreifen) und Bodenbelägen von Laub und funktionsbeeinträchtigendem Bewuchs ist auch aus Gründen des Brandschutzes erforderlich. Dabei können aber Moose und Sedumarten toleriert werden.
- Auf eine Bewässerung kann weitestgehend verzichtet werden und ist nur bei langanhaltenden Trockenperioden erforderlich. Bei Anzeichen von Trockenstress werden Wassergaben zwei Mal wöchentlich mit je 10 bis 15 l/m² empfohlen. Eine vorherige Kosten-Nutzen-Betrachtung sollte jedoch durchgeführt werden. In Wassernotstandsgebieten gelten besondere Bedingungen. Hier muss abgewogen werden, ob eine zusätzliche Bewässerung wirklich sinnvoll ist.
- Pflanzenschutzmaßnahmen können unter Umständen notwendig werden, sind aber selten der Fall. Der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf befestigten Flächen (wie zum Beispiel Terrassen) ist nicht gestattet. Auch von Dachbegrünungen könnten Pflanzenschutzmittel in die Kanalisation gelangen, so dass, falls der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erforderlich sein sollte, auf biologische Pflanzenschutzmittel zurückgegriffen werden muss.

Die Unterhaltungspflege sollte mindestens zwei Mal im Jahr durchgeführt werden, wobei aber unter Umständen weitere Pflegegänge pro Jahr notwendig sein können. Wichtig ist hierbei, stets das Vegetationsziel im Blick zu haben.

Sollten bei der Inspektion Mängel festgestellt werden, so sind diese im Rahmen der Instandhaltungsmaßnahmen unbedingt zu beseitigen. Diese müssen genau aufgeführt und protokolliert werden (siehe auch Mängel der Dachbegrünung und Schäden).

8.2 Konzeption zur Wartung

Die Wartung von Dachbegrünungen ist ebenso wichtig wie die Pflege. Hierzu zählen vor allem Instandhaltungsleistungen von technischen Einrichtungen auf dem Dach. Auf ihre Funktionsfähigkeit kontrolliert werden sollten mindestens zwei Mal im Jahr folgende technischen Einrichtungen, wobei diese Arbeiten unabhängig vom Alter der Dachbegrünung ausgeführt werden müssen:

- Einrichtungen für die Entwässerung bezüglich Sauberkeit, dazu zählen: Kontrollschächte, Dachabläufe, Entwässerungsrinnen,
- Bauteile auf dem Dach bezüglich Standfestigkeit,
- Dachabdichtung durch Sichtung (z. B. an Dachrändern, an Durchdringungen etc.),
- Kiesstreifen und Plattenbeläge, die frei von Bewuchs sein sollten.

8.3 Mängel der Dachbegrünung und Schäden

Trotz der konzeptionellen Entwicklung der Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünung kommt es immer wieder zu Schadensfällen, die bereits in der Fachliteratur ausführlich diskutiert wurden, aber dem Eigentümer der Dachbegrünung zumeist unbekannt sind. Auf der einen Seite bedingen Ausführungsfehler bei der Errichtung der Dachbegrünung Schadensfälle, die aber hier nicht Gegenstand sein sollen. Andererseits können mit der Zeit Schäden an

der Dachbegrünung und am Gebäude entstehen, wenn die regelmäßige fachliche Pflege und Wartung der extensiven Dachbegrünung fehlen (Abbildung 38 bis Abbildung 52).

Die am häufigsten beobachteten Ursachen für Schäden an der extensiven Dachbegrünung und dem Gebäude sollen hier aufgeführt werden, um die pflegende Institutionen zu sensibilisieren, welche für Schäden auftreten können:

- Aufkommen von unerwünschtem Bewuchs und Sämlingen von Gehölzen und dadurch Umbildung der Vegetation (Vegetationsziel wird nicht erreicht) sowie Gefahr der Erhöhung der Traglast durch Gehölze.
- Substratverwehungen bzw. Freilegung der Dachbegrünung aufgrund mangelnder Vegetationsentwicklung und dadurch Verminderung der Funktionalität der Dachbegrünung.
- Lückenhafte Vegetation aufgrund mangelnder Vegetationsentwicklung und dadurch Verminderung der Funktionalität der Dachbegrünung.
- Verschmutzung von technischen Einrichtungen (zum Beispiel von Sicherheitsrinnen, Kontrollschächten und Dachabläufen) und dadurch Bildung von Staunässe auf dem Dach.
- Falsche Entwässerung von benachbarten Dächern.
- Vergessen von Arbeitsmaterialien auf den Dachbegrünungen.
- Einschränkung der Funktionalität der Wasseranschlüsse.
- Missachtung des Arbeitsschutzes durch ungesicherten Dachzugang.



Abbildung 38 Unerwünschte Vegetation (z. B. dominante Gräser oder Beikräuter sowie Gehölze) muss dringend rechtzeitig entfernt werden, damit sie sich nicht etablieren kann. (© Susanne Herfort)



Abbildung 39 Gehölze mit aggressivem Wurzelwachstum müssen ebenfalls entfernt werden. (© Susanne Herfort)



Abbildung 40 Auch Garagendächer müssen regelmäßig gepflegt werden. (© Susanne Herfort)

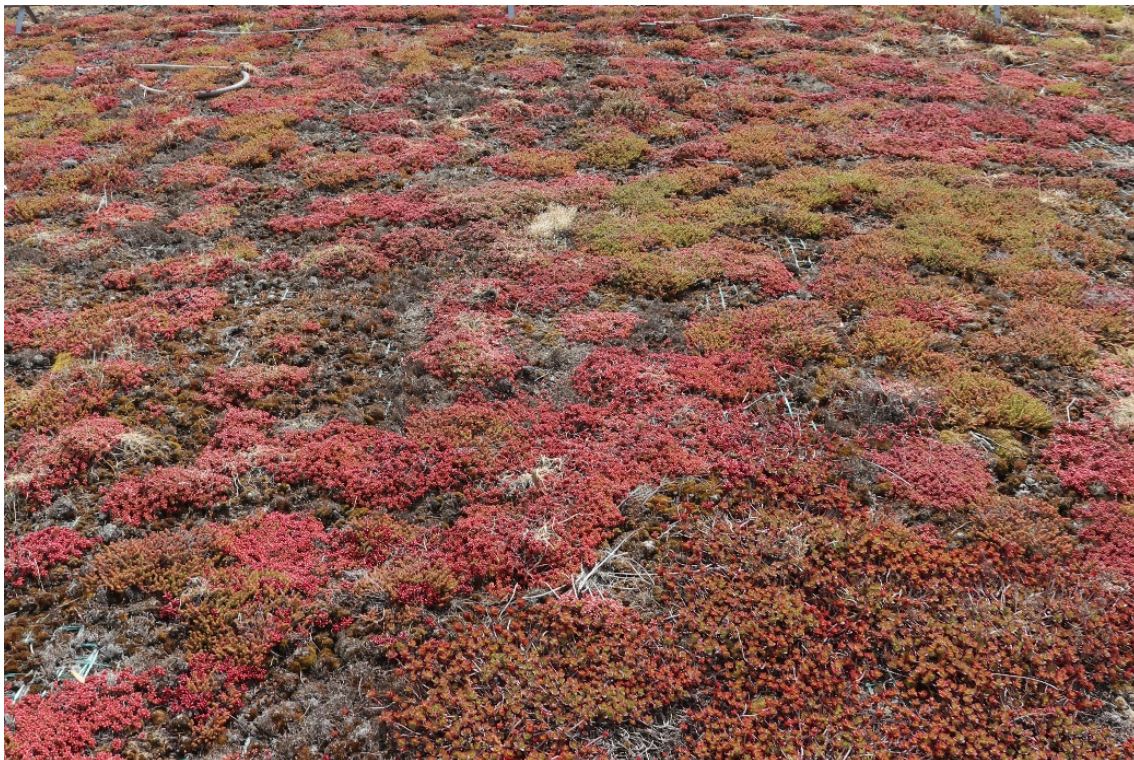


Abbildung 41 Bei Nährstoffmangel muss gedüngt werden. (© Susanne Herfort)



Abbildung 42 Bei Trockenstress sollte bewässert werden. (© Susanne Herfort)



Abbildung 43 Bei Substratverwehungen und Freilegung des Schutzvlieses muss dringend wieder eine Substratschicht und Vegetation aufgebracht werden. (© Susanne Herfort)



Abbildung 44 Lückenhafte Vegetation aufgrund fehlender Düngung und Bewässerung, hier kann mit Sedumsprossen von der gleichen Dachfläche die Pflanzendeckung erhöht werden. (© Susanne Herfort)



Abbildung 45 Dachbegrünung mit sehr geringer Vegetation aufgrund fehlender Pflege, hier muss eine flächendeckende Nachsaat/Ausbringung von Sedumsprossen erfolgen. (© Susanne Herfort)



Abbildung 46 Freigelegte wurzelfeste Folie, die schnellstmöglich mit Substrat und Vegetation wieder abgedeckt werden muss. (© Susanne Herfort)



Abbildung 47 Reparatur der Dachabdichtung ohne Rekonstruktion der Dachbegrünung, hier muss eine Sanierung des Dachbegrünungssystems durch eine Firma erfolgen. (© Susanne Herfort)



Abbildung 48 Ungereinigter Abwasserschacht, der mit einer kleinen Schippe gereinigt werden kann. Im Anschluss sollte der Schacht mit Wasser gespült werden. (© Susanne Herfort)



Abbildung 49 Falsche Dachentwässerung auf Dachbegrünung, die von einer Firma korrigiert werden muss. (© Susanne Herfort)



Abbildung 50 Vergessenes Material auf der Dachbegrünung, das schnellstmöglich fachgerecht entsorgt werden muss. (© Susanne Herfort)



Abbildung 51 Vorhandener Wasserhahn nachträglich unterbaut und dadurch nicht mehr nutzbar, der durch einen Wasserinstallateur wieder funktionsfähig gemacht werden kann. (© Susanne Herfort)



Abbildung 52 Ungesicherte Leiter, bei der nachträglich Haken an der Leiter und am Dachausstieg befestigt werden müssen. (© Susanne Herfort)

8.4 Pflegeaufwand und Nutzen der Dachbegrünung

Wenn eine regelmäßige Pflege und Wartung der Dachbegrünung erfolgt, so sind Vorteile für die Begrünung, das Bauwerk und den Klimaschutz garantiert.

- Das vorgesehene Begrünungsziel wird langfristig erreicht und bleibt positiv erhalten.
- Es kommt zu keinen Fehlstellen in der Vegetation und somit zu keinem Freilegen des Substrates.
- Unerwünschter Bewuchs wird vermieden.
- Die Funktionsfähigkeit der Dachabdichtung wird gewährleistet.
- Die technischen Einrichtungen sind aufgrund der regelmäßigen Wartung stets funktionstüchtig.
- Werterhalt der Bausubstanz und Wertsteigerung der Immobilie.
- Einhaltung der brandschutzrechtlichen Anforderungen.
- Gewährleistungsvoraussetzung für direkte und indirekte Zuschüsse für Dachbegrünungen.
- Sicherstellung der nachhaltigen Funktionsfähigkeit als ökologische Minderungsmaßnahme.
- Leistung eines Beitrags für den Klimaschutz.
- Minimierung von Folgekosten bei regelmäßiger Pflege.

Natürlich entstehen durch die Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen Kosten, die bereits bei der Planung einer Dachbegrünung berücksichtigt werden müssen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass sich der Pflegeaufwand minimiert, wenn regelmäßig gepflegt wird. Mit welchen Aufwendungen bei extensive Dachbegrünungen zu rechnen ist, wird im Folgenden dargestellt:

- Für die jährlich anfallende Pflege und Wartung von herkömmlichen extensiven Dachbegrünungen können Aufwendungen in Höhe von 1 bis 2 €/m² anfallen. Dies richtet sich nach dem Zustand der Dachbegrünung. Die Kosten für die Fertigstellungspflege sind in der Regel höher als für die Entwicklungs- und Unterhaltungspflege.
- Zusätzliche Pflegemaßnahmen für Biodiversitätsgründächer entstehen aufgrund der Erhaltung der Vielfalt der Vegetation, aber auch aufgrund der zusätzlichen Aufbauten (Nisthilfen, Totholzinseln, Wasserflächen).
- Zusätzliche Pflegemaßnahmen für Solar-Gründächer ergeben sich aufgrund der Verschiedenheit der technischen Aufbauten. Der Pflegeaufwand ist sehr individuell und in der Regel höher als bei herkömmlichen extensiven Dachbegrünungen.



Abbildung 53 Regelmäßig gepflegte Dachbegrünung mit Sedum-Vegetation (© Susanne Herfort)

8.5 Entwicklung einer Gründachpflege-App

In Anlehnung an die neu entwickelte Broschüre zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen wurde parallel eine Web-App in Zusammenarbeit mit der Firma ESYS GmbH Berlin entwickelt, die das pflegende Personal unterstützen soll, konkrete Pflegeobjekte besser zu verwalten und die eigene extensive Dachbegrünung nachhaltiger zu pflegen. Das App-Konzept, dargelegt in der Bachelorarbeit von MAIBACH (2018), wurde dabei berücksichtigt. Hier wurden die wesentlichen Teile der Arbeit umgesetzt. Aufgrund der Komplexität der theoretischen Web-App-Entwicklung von MAIBACH konnten jedoch nicht alle Details berücksichtigt werden, die den Umfang der geplanten Web-App-Entwicklung bei weitem überschritten hätte. Es ist aber vorgesehen, die App stets zu aktualisieren und zu erweitern. Diesbezüglich ist geplant, insbesondere die Galerie kontinuierlich mit neuen Fotos zu versehen.

Das Logo der Pflegeapp für extensive Dachbegrünungen wurde von Dominik Joswig entwickelt (Abbildung 54).

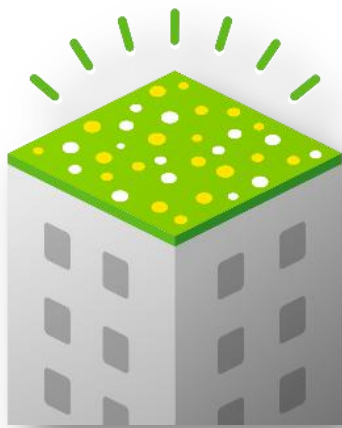


Abbildung 54 Logo der Pflegeapp für extensive Dachbegrünungen (© Dominik Joswig)

Die Web-App kann mit folgender Webseite aufgerufen werden:

<https://pflege-dachbegruenung.de>

Hat der Anwender konkrete Fragen zu seiner Dachbegrünung und der Anwendung der Dachbegrünungspflege-App, kann er das IASP direkt kontaktieren unter:

info@pflege-dachbegruenung.de

Ziel ist, sowohl den Fachleuten des Garten- und Landschaftsbaus als auch den pflegenden Personen, die nicht vom Fach sind, mit den Instrumenten „Pflegebroschüre“ und „Pflege-App“ die Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen zu erleichtern. Aufgrund der aufgeführten Checklisten und der erarbeiteten Pflegehinweise kann der Anwender schneller auf Fehler in der Pflege hingewiesen werden als bisher und diese beheben.

Die Web-App kann jedermann anwenden und funktioniert nach Anmeldung mit der eigenen E-Mail-Adresse und einem selbst gewählten Passwort sowohl auf dem Smartphone als auch auf dem Tablet oder dem Computer (Abbildung 55).

Die App ist in zwei Teilbereiche gegliedert (Abbildung 56).

In der ersten Rubrik „Meine Dachbegrünung“ ermöglicht die App, dass Daten zu eigenen Objekten, die gepflegt werden sollen, eingegeben werden können und die App automatisch die passenden Pflegehinweise zu den eingegebenen Objekten generiert. Des Weiteren steht eine zweite Rubrik „Allgemeine Informationen zur extensiven Dachbegrünung“ zur Verfügung mit allgemeinen Hinweisen zu Dachbegrünungen und zur Pflege (z. B. Dachbegrünungsarten, Vegetation, unerwünschter Bewuchs, Pflege und Wartung, technische Einrichtungen) sowie einer Galerie mit anschaulichen Bildern beispielsweise zu Zielvegetationsarten, unerwünschtem Bewuchs oder Schadbildern. Zudem ist ein Dünger-Rechner in die App integriert, mit dem die Düngermenge berechnet werden kann, die für eine bestimmte Flächengröße benötigt wird. Die Auswahl des Düngers ist vorgegeben, kann aber auch manuell eingegeben werden.

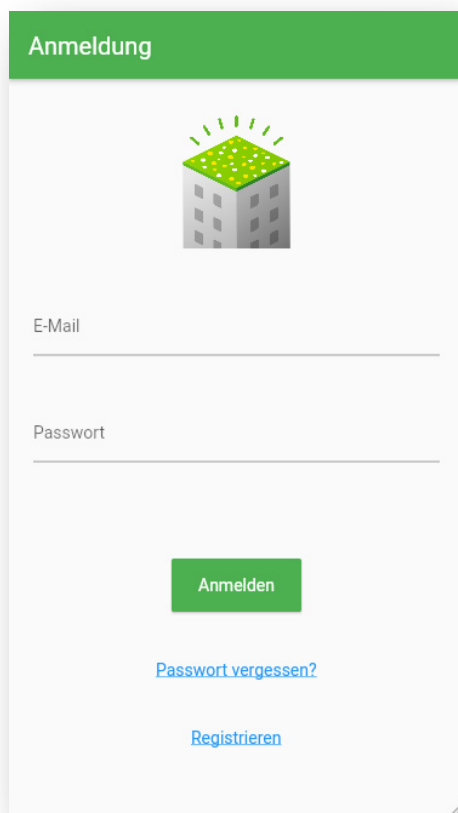


Abbildung 55 Anmeldungs Menü für die Nutzung der App (© Kerstin Pflanz)

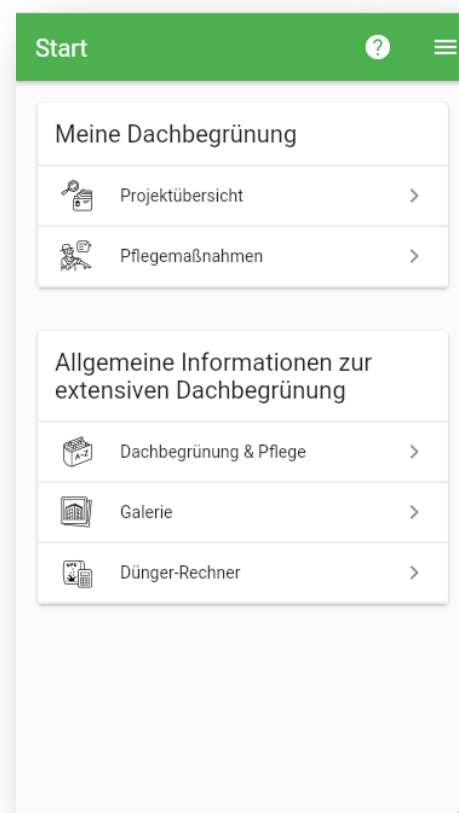


Abbildung 56 Unterteilung der App in „Meine Dachbegrünung“ und „Allgemeine Informationen“ (© Kerstin Pflanz)

Bei der Projekterstellung müssen zunächst Fragen zur Dachbegrünung beantwortet werden. Es werden sowohl objektbezogene Daten bezüglich des Standortes und des Gebäudes (Abbildung 57) als auch Daten zur Vegetation und zu den bisher erfolgten Pflegemaßnahmen erfragt.

Die Abfrage der Pflegedaten dient zur Generierung der Pflegehinweise (Abbildung 58).

Abbildung 57 „Objektbezogene Daten“
(© Kerstin Pflanz)

Abbildung 58 Eingabe der Pflegedaten
(© Kerstin Pflanz)

Anhand der eingegebenen Daten erfolgt durch die App automatisch eine Bereitstellung von individuellen Pflegehinweisen, die beim nächsten Pflege- und Wartungsgang durchgeführt werden sollen. Die Pflege-App gibt sowohl Hinweise bezüglich der Erreichung der Zielvegetation, der Erhöhung eines möglicherweise zu niedrigen Deckungsgrades, hinsichtlich der Düngung und vieles mehr (Abbildung 59).

In der „Projektübersicht“ (Abbildung 60) können schnell alle bisher eingegebenen Objekte gefunden werden. Die Dachbegrünungsobjekte in der Projektübersicht können vom Anwender jederzeit aktualisiert oder auch gelöscht werden.

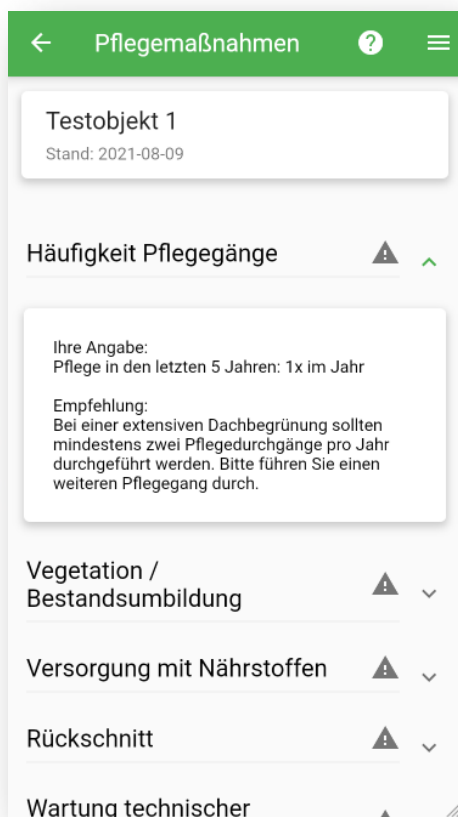


Abbildung 59 Erteilung von Pflegehinweisen durch die App in der Rubrik „Pflegemaßnahmen“
(© Kerstin Pflanz)

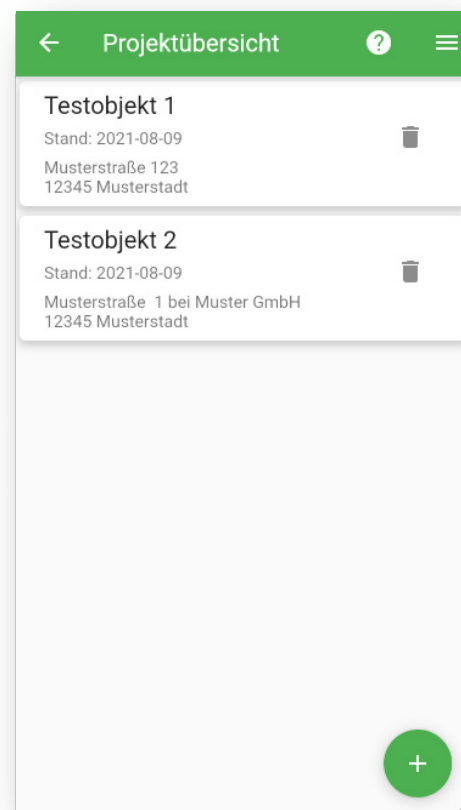


Abbildung 60 „Projektübersicht“
(© Kerstin Pflanz)

Die Rubrik „Allgemeine Informationen zur extensiven Dachbegrünung“ enthält, wie oben erwähnt, allgemeine Hinweise zu Dachbegrünungen und zur Pflege (Abbildung 61), eine Galerie sowie den Dünger-Rechner.

Die Galerie (Abbildung 62) bietet verschiedene Fotos sowohl zu den Dachbegrünungsarten als auch zur gewünschten bzw. nicht gewünschten Vegetation, zu Mängel und Schäden und vieles mehr.

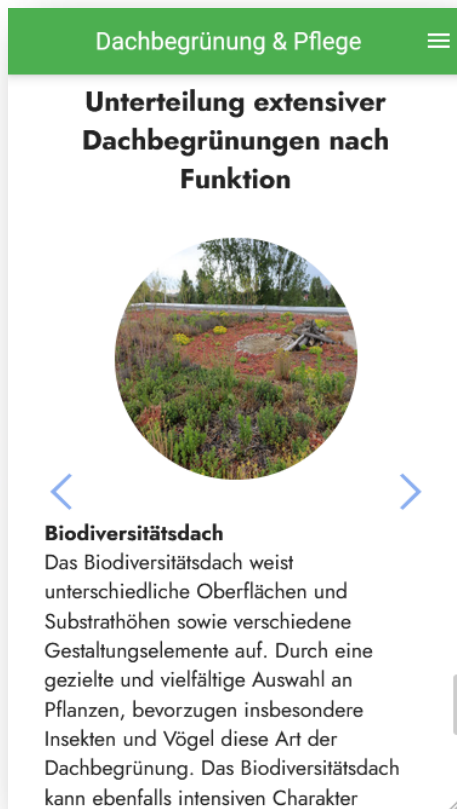


Abbildung 61 Allgemeine Informationen zur extensiven Dachbegrünung unter der Rubrik „Dachbegrünung und Pflege“ (© Kerstin Pflanz)

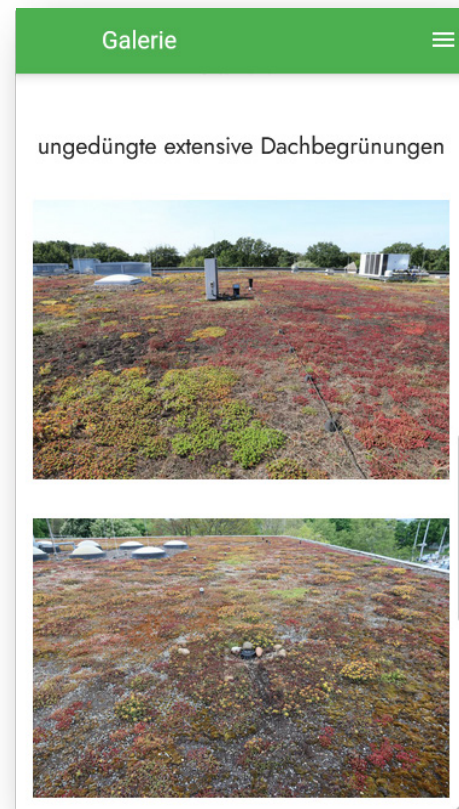


Abbildung 62 Galerie mit verschiedenen Fotos (© Kerstin Pflanz)

Insbesondere durch die Anwendung des Dünger-Rechners (Abbildung 63) kann berechnet werden, welche Düngermengen für die Pflege einer konkreten Dachbegrünungsfläche erforderlich sind. Dabei kann auf eine große Auswahl an zahlreichen Düngemitteln, die für extensive Dachbegrünungen geeignet sind, zurückgegriffen werden.

Dünger-Rechner

Dünger

Sonstiger

NPK-Gehalt des Düngers

N (%)	P2O5 (%)	K2O (%)
18	6	12

Größe der Dachbegrünung

m²
120

Düngermenge:
bezogen auf 5 g N/m²

3.3 kg / 120 m²
entspricht 28 g / m²

Abbildung 63 Auswahl eines Düngers und der zu düngenden Fläche mit Berechnung der einzusetzenden Düngermenge (© Kerstin Pflanz)

9 Zusammenfassung

Die Pflege von extensiven Dachbegrünungen ist äußerst wichtig und darf auf keinen Fall vernachlässigt werden, um einerseits die Gebäudehülle zu schützen und andererseits einen positiven Beitrag hinsichtlich des bevorstehenden Klimawandels zu leisten.

Die praktischen Untersuchungen zur Pflege und Wartung von verschiedenen extensiven Dachbegrünungen in Hamburg, Berlin, Stuttgart und München haben ergeben, dass unabhängig davon, ob die Objekte in privater oder öffentlicher Hand sind, die Pflege sowohl von Fachleuten aus dem Garten- und Landschaftsbau als auch von Facility-Managern, die nicht vom Fach sind, in der Regel 1 bis 2mal im Jahr durchgeführt wird und somit prinzipiell nicht vernachlässigt wird. Unerwünschter Bewuchs in Form von Beikräutern und Baumsämlingen wird meistens entfernt, so dass es selten zu Schäden aufgrund von Wurzeldruck auf die Wurzelschutzfolie kommt. Die extensiven Dachbegrünungen wiesen jedoch teilweise einen Pflanzendeckungsgrad unter 75 % auf, der zukünftig im Rahmen der Pflege unbedingt durch Nachsäen von Saatgut oder Ausbringen von Sedumsprossen erhöht werden muss.

Des Weiteren fiel auf, dass auf den meisten der untersuchten Dachbegrünungen die Vegetation nicht durchweg vital erschien, was auf die fehlende Düngung zurückzuführen ist. Hier gilt es, weitere Aufklärungsarbeit zu leisten, denn bereits mit einer Stickstoffgabe von 5 g/m² kann sowohl die Vitalität der Pflanzen als auch der Pflanzendeckungsgrad erhöht werden. Aufgrund der langsamen Freisetzung der Nährstoffe in den heutigen Düngemitteln wird einem schnellen Auswaschen der Komponenten vorgebeugt. Höhere Stickstoffgaben von 10 g/m² wären insbesondere für Dachbegrünungen, die noch nie gedüngt wurden, äußerst sinnvoll.

Ein weiteres Ergebnis dieses Projektes ist es, dass die Wahl des Substrates in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen in der Region nicht immer richtig getroffen wurde. Insbesondere in der Folge des Klimawandels muss in Zukunft darauf geachtet werden, dass die eingesetzten Substrate hinsichtlich ihrer maximalen Wasserkapazität auf die jährlichen Niederschläge in der Region abgestimmt sind.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde zudem eine Web-App zur unterstützenden Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen neu entwickelt, die jeder Interessierte kostenlos nutzen kann. Die Web-App funktioniert nach Anmeldung mit der eigenen E-Mail-Adresse und einem selbst gewählten Passwort sowohl auf dem Smartphone als auch auf dem Tablet oder dem Computer unter <https://pflege-dachbegruenung.de>. Parallel zur Web-App wurde in Kooperation mit dem Bundesverband GebäudeGrün e. V. (BuGG) eine Fachinformation in Form einer anschaulichen Broschüre für die Unterhaltungspflege von extensiven Dachbegrünungen erstellt, die gemeinsam mit den Mitgliedern des BuGG erarbeitet wurde. In der Broschüre sind alle wichtigen Bestandteile für eine erfolgreiche Pflege von extensiven Dachbegrünungen aufgeführt.

Grundsätzlich ist eine regelmäßige Pflege und Düngung wichtig, was zur Folge hat, dass die Zielvegetation gestärkt wird und sich der Aufwand der Pflege in den nachfolgenden Jahren reduziert. Mindestens 2 Pflegegänge pro Jahr sollten auf allen extensiven Dachbegrünungen durchgeführt werden (vorzugsweise im Frühjahr und im Herbst), um eine intakte Dachbegrünung und einen langlebigen Schutz der Gebäudeoberfläche gewährleisten zu können. 3 bis 4 Pflegegänge wären noch sinnvoller.

10 Ausblick

Eine regelmäßige Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen muss es auch in Zukunft geben, um die Funktionalität des Gebäudes aufrechtzuerhalten und dem Klimawandel entgegenzutreten. Dennoch könnte in Zukunft im Rahmen der Pflege und Wartung die Inspektion der Dachbegrünung effizienter gestaltet werden, die momentan noch nicht optimal erfolgt. Da oftmals Dachbegrünungen mehrere 1.000 m² groß sind, ist der Zeitaufwand für eine Begutachtung der gesamten Fläche erheblich ist. Mit dem Einsatz von Drohnen könnte effizienter und gezielt festgestellt werden, welche Flächen der Dachbegrünung ein positives Pflanzenwachstum aufweisen und welche nicht (Abbildung 64 bis Abbildung 66). Des Weiteren könnte durch die Befliegung mit einer Drohne sofort erkannt werden, wo es Fehlstellen in der Vegetation gibt, welche Ausmaße der unerwünschte Bewuchs hat oder ob es sonstige Unregelmäßigkeiten gibt, die sofortigen Handlungsbedarf erfordern. Könnten regelmäßig Fotos mit der Drohne aufgenommen werden, hätte das den Vorteil, dass diese jahresweise verglichen werden könnten und der Vegetationserfolg besser messbar wäre. Durch eine entsprechende Software könnten sogar die Pflanzenarten und möglicherweise auch die Pflanzenzusammensetzung auf der Dachbegrünung bestimmt werden.

Bei der Befliegung mit Drohnen muss jedoch die EU-Drohnenverordnung, die ab dem 01.01.2021 in Kraft getreten ist, beachtet werden. So werden zukünftig neue Drohnen in fünf Risikoklassen mit den Bezeichnungen C0, C1, C2, C3 und C4 unterteilt, die sich hauptsächlich im Gewicht der Drohne unterscheiden. Für den Zweck der Befliegung von Drohnen über Dachbegrünungen würde die Risikogruppe C2 zutreffen, in der Drohnen mit einem Abfluggewicht zwischen 0,9 kg und 4 kg aufgeführt sind.

Es gilt zudem, dass die Drohnen innerhalb der Sichtweite bis zu max. 120 m Höhe fliegen dürfen, was aber für den Einsatz zur Inspektion von Dachbegrünungen vollkommen ausreichend ist.

Des Weiteren müssen Mindestabstände von 1,5 km zu Flugplätzen und 100 m zu Autobahnen, Bundesfernstraßen, Wasserwegen, Bahnanlagen, Oberleitungen und Kraftwerken/Unglücksorten etc. eingehalten werden. Hinzu kommt, dass über Wohngrundstücke nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Eigentümers Drohnen fliegen dürfen, was aber kein generelles k.o.-Kriterium für die Nutzung einer Drohne im Rahmen der zukünftigen Pflege und Wartung von Dachbegrünungen bedeuten würde.

Basierend auf den gegenwärtigen gesetzlichen Regelungen erscheint es daher äußerst sinnvoll, zukünftig den Einsatz von Drohnen für die Erfassung des Deckungsgrades und der Vitalität der Pflanzen von extensiven Dachbegrünungen zu forcieren, um so regelmäßig zuverlässige Daten über den Entwicklungsstand der Dachbegrünung zu erhalten.

Bereits nach dem Einbau einer extensiven Dachbegrünung und für die Beurteilung der Abnahmefähigkeit könnte die Unterstützung durch den Einsatz einer Drohne äußerst hilfreich sein, da diese präzise Fotos aus der Vogelperspektive aufnehmen kann und somit der Pflanzendeckungsgrad (mit einer entsprechenden Software) objektiv bestimmt werden könnte. Des Weiteren könnte auch der unerwünschte Bewuchs auf der gesamten Dachfläche mit Hilfe der Aufnahmen einer Drohne bestimmt werden.



Abbildung 64 Drohneneinsatz für die Zukunft zur besseren Pflege von extensiven Dachbegrünungen
(© Susanne Herfort)



Abbildung 65 Draufsicht der Dachbegrünung; Schattenwurf und Fehlstellen in der Vegetation können sofort festgestellt werden (© Benjamin Herfort)



Abbildung 66 Draufsicht einer Dachbegrünung mit starken Fehlstellen in der Vegetation (© Benjamin Herfort)

Unterstützend für das Erkennen des Pflegeaufwandes von extensiven Dachbegrünungen könnte aber auch sein, wenn die Dächer in Zukunft für die Mieterinnen und Mieter teilweise begehbar wären und Terrassen bzw. Urban-Gardening-Flächen enthielten (Abbildung 67).

Auf diese Art und Weise könnte der Pflegezustand der Dachbegrünung schnell erkannt und sofort gehandelt werden. Zudem ist diese Form der Dachbegrünung wesentlich einfacher begehbar (über das Treppenhaus) und die Pflegegänge wären weniger aufwendig.



Abbildung 67 Extensive Dachbegrünung mit Moos-Sedum und Mietergarten mit Hochbeeten auf demselben Dach (© Susanne Herfort)

Eine dritte Zukunftsvision wäre es, wenn bestehende extensive Dachbegrünungen, die in der Regel den Mieterinnen und Mieter nicht zugänglich sind, so nachgerüstet werden, dass sie im Nachhinein begehbar sind. Der Pflegezustand könnte dadurch besser aufgenommen und entsprechend schnell gehandelt werden. Hierzu müsste jedoch die Statik der Gebäude überprüft und gegebenenfalls erhöht werden. Da Wohnraum in den Städten immer knapper wird und die Verdichtung weiter zunimmt, scheint es nur folgerichtig zu sein, wenn die bisher extensiven Dachbegrünungen in Zukunft genutzt würden.

Des Weiteren ist in der Baubranche ein Trend von extensiven zu intensiven Dachbegrünungen zu verzeichnen, so dass auch ein weiterer Ausbau von Intensivbegrünungen denkbar wäre. Dadurch könnte das Biomassepotenzial in den Städten steigen, was der klimapolitischen Zielsetzung der Bundesregierung entspräche. Andererseits würden die Gebäude durch intensive Dachbegrünungen ökonomisch aufgewertet werden und aufgrund des höheren Systemaufbaus würde zudem eine nicht zu vernachlässigende zusätzliche Wärmedämmung der Gebäudeoberfläche erfolgen. Diese Flächen hätten zudem ein größeres Potenzial für eine biologische Artenvielfalt.

11 Verzeichnisse

11.1 Literaturverzeichnis

- Althaus, D., & Uhlig, A. (2004). *Grüne Fassaden, Grüne Dächer, die Pflanze als "Haustier"*.
- Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., & Wilke, B.-M. (2018). *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde*. Springer-Verlag.
- Barnickel, S. (2019). *Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen in der Unterhaltungspflege*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Potsdam.
- Bohlen, R., Mann, D. G., Jürgens, D. U., Schuhmann, V., Raisch, W., Michels, K., & Schmitz, T. (2002). *Grundsätze zur Pflege und Wartung von Dachbegrünungen*. Fachvereinigung Bauwerksbegrünung.
- Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG). (2020). *BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2020*.
- Clark, M. J., & Zheng, Y. (2013). *Plant nutrition requirements for an installed sedum-vegetated green roof module system: effects of fertilizer rate and type on plant growth and leachate nutrient content*. HortScience, 48(9), 1173–1180.
- Clark, M. J., & Zheng, Y. (2014). *Fertilizer rate influences production scheduling of sedum-vegetated green roof mats*. Ecological Engineering, 71, 644–650.
- Deutscher Wetterdienst. (2010). *Wetterdaten*.
https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_fest_html.html?view=na&publication&nn=16102 (Zugriff: 08.06.2021).
- Deutscher Wetterdienst. (2019). *Wetterdaten*.
https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/ (Zugriff am: 01.06.2021).
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin. (2020). *Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe – Berechnungen für das Jahr 2019*. 15.
http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/89518/publicationFile/62366/diw_bauvolumensbericht-2011-endbericht-lang.pdf (Zugriff am: 01.06.2021).
- DIN 18035-2:2020-09. (2020). *Sportplätze Teil 2: Bewässerung*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN 13041:2012-01. (2012). *Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate - Bestimmung der physikalischen Eigenschaften - Rohdichte (trocken), Luftkapazität, Wasserkapazität, Schrumpfungswert und Gesamtporenvolumen; Deutsche Fassung EN 13041:2011*. Beuth Verlag, Berlin.
- Eppel, J., Kendzia, N., Öchsner, J., Marsch, D., & Thon, A. (2012). *Standortangepasste Bewässerung öffentlicher Grünflächen als Beitrag zur Klimamäßigung im urbanen Lebensraum*. Endbericht zum Forschungsvorhaben KL/08/03.
- Ernst, W. (2002). *Dachabdichtung-Dachbegrünung: praxisorientierte Grundlagen für die Flachdachzukunft. Fehler-Ursachen, Auswirkungen und Vermeidung; Band 1*. Kleffmann.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2002). *Hinweise zur Pflege und Wartung von begrünten Dächern*. Bonn.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2015). *Bewässerungsrichtlinien: Richtlinien für die Planung, Installation und Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen*. Bonn.
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2016). *Düngemitteldatenbank*.
<https://duengemittel.fll.de/> (Zugriff am: 31.05.2021).
- FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2018). *Dachbegrünungsrichtlinien : Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen* (6. Ausgabe). Bonn.
- Geidel, D. (2020). *Untersuchungen der Vegetationsentwicklung extensiver Dachbegrünungen von Berliner*

- Dächern unter Einfluss verschiedener Dünger und Düngergaben im zweiten Versuchsjahr.* Unveröffentlichte Masterarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin.
- 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).
- Herfort, S. (2014). *Endlich förderbar: Dämmung durch Dachbegrünungen.* Dach+ Grün, 4, 6.
- Keller, H. (2018). *Screening von Berliner Dachbegrünungen - Beziehungen zwischen Vegetationssubstraten und Gesamteindruck der Vegetation.* Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Beuth Hochschule für Technik Berlin.
- Köhler, M., Ansel, W., Appl, R., Mann, G., Ottelé, M., Betzler, F., & Wünschmann, S. (2012). *Handbuch Bauwerksbegrünung: Planung-Konstruktion-Ausführung.* Köln. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller.
- Kolb, W., & Schwarz, T. (2016). *Dachbegrünung. Planung, Ausführung, Pflege.* Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- Krupka, B. (1992). *Dachbegrünung: Pflanzen-und Vegetationsanwendung an Bauwerken; 91 Tabellen.* Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- Maibach, E. (2018). *Entwicklung eines App-Konzeptes für die Inspektion, Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen.* Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Hochschule Osnabrück.
- Mann, G., & Mollenhauer, F. (2020). *BuGG-Fachinformation "Solar-Gründach."*
- Praeger, M. (2019). *Extensive Dachbegrünung - geeignete Vegetation bei Trockenstress in Hinsicht auf zukünftige Klimaentwicklungen.* Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin.
- Wessolek, G., Kaupenjohann, M., & Renger, M. (2009). *Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis.* Bodenökologie Und Bodengenese, 40, 1–82. http://www.boden.tu-berlin.de/fileadmin/fg77/_pdf/Rote_Liste/Rote_Reihe_Heft_40.pdf (Zugriff am: 01.06.2021).

11.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Untersuchungsgegenstand in Deutschland (Quelle: © OpenStreetMap-Mitwirkende, modifiziert Susanne Herfort)	10
Abbildung 2	Extensive Dachbegrünung der ECE Group Services G.m.b.H. & Co. KG in Hamburg (© Susanne Herfort)	12
Abbildung 3	Moos-Sedum-Begrünung (© Susanne Herfort)	16
Abbildung 4	Sedum-Moos-Kraut-Begrünung (© Susanne Herfort)	16
Abbildung 5	Sedum-Kraut-Gras-Begrünung (© Susanne Herfort)	17
Abbildung 6	Gras-Kraut-Sedum-Begrünung (© Susanne Herfort)	17
Abbildung 7	Leichtdach (© Susanne Herfort)	18
Abbildung 8	Retentionsdach (© Susanne Herfort)	19
Abbildung 9	Biodiversitätsdach (© Susanne Herfort)	20
Abbildung 10	Solar-Gründach (© Susanne Herfort)	21
Abbildung 11	Intensive Dachbegrünung der Wiegmann Klinik in Berlin (© Susanne Herfort)	23
Abbildung 12	Monatliche Temperaturen der Versuchsjahre 2018 und 2019, (Deutscher Wetterdienst, 2019), bearbeitet: © Susanne Herfort	32
Abbildung 13	Niederschlagsmengen der Jahre 2018 und 2019 im Vergleich zum 30jährigen Mittel (1981-2010), (DEUTSCHER WETTERDIENST, 2019), bearbeitet: © Susanne Herfort	32
Abbildung 14	Untersuchte extensive Dachbegrünungen	35
Abbildung 15	Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich der Anzahl der Pflegegänge pro Jahr	36
Abbildung 16	Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich der Trockenstresssymptome	37
Abbildung 17	Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich des Pflanzendeckungsgrades	38
Abbildung 18	Sandbox von Eijelkamp mit probengefüllten Stechzylindern (© Susanne Herfort)	40
Abbildung 19	Max. Wasserkapazität von drei ausgewählten Substraten aus Berlin bezüglich einer Saugspannung zwischen pF 0,0 und 2,0	42
Abbildung 20	Dachbegrünung mit Substrat A (max. Wasserkapazität 65 %) aufgenommen am 16.08.2018 in Berlin (© Susanne Herfort)	43
Abbildung 21	Dachbegrünung mit Substrat B (max. Wasserkapazität 50 %) aufgenommen am 16.08.2018 in Berlin (© Susanne Herfort)	43
Abbildung 22	Dachbegrünung mit Substrat C (max. Wasserkapazität 26 %) aufgenommen am 13.09.2018 in Berlin (© Susanne Herfort)	44
Abbildung 23	Anteil der Dachbegrünungen hinsichtlich der maximalen Wasserkapazität der Substrate	44
Abbildung 24	Untersuchte Fehlstelle auf einer extensiven Dachbegrünung bezüglich des Temperaturverlaufs (© Susanne Herfort)	47
Abbildung 25	Untersuchungen zum Temperaturverhalten auf einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Fehlstellen	47
Abbildung 26	Temperaturverlauf im Juni 2019 auf dem Substrat einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation	48
Abbildung 27	Temperaturverlauf im Juni 2019 auf der wurzelfesten Folie einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation	49
Abbildung 28	Temperaturverlauf im Dezember 2019 auf dem Substrat einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation	50
Abbildung 29	Temperaturverlauf im Dezember 2019 auf der wurzelfesten Folie einer extensiven Dachbegrünung mit Vegetation	50
Abbildung 30	Versuchsfläche von Vattenfall in Berlin-Mitte (© Susanne Herfort)	55
Abbildung 31	Extensive Dachbegrünung der SSB (© Susanne Herfort)	57
Abbildung 32	Pflanzendeckung der extensiven Dachbegrünung der SSB nach Düngergaben	57
Abbildung 33	Kontrolle (ohne Düngung) nach einem Jahr auf der extensiven Dachbegrünung der SSB (© Susanne Herfort)	58

Abbildung 34	Mit 5 g N/m ² gedüngte Parzelle nach einem Jahr auf der extensiven Dachbegrünung der SSB (© Susanne Herfort)	59
Abbildung 35	Mit 10 g N/m ² gedüngte Parzelle nach einem Jahr auf der extensiven Dachbegrünung der SSB (© Susanne Herfort)	59
Abbildung 36	Neu veröffentlichte Broschüre „Hinweise zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen“ (© Susanne Herfort)	64
Abbildung 37	Pflegemaßnahmen in Abhängigkeit vom Alter der Dachbegrünung (© Susanne Herfort)	67
Abbildung 38	Unerwünschte Vegetation (z. B. dominante Gräser oder Beikräuter sowie Gehölze) muss dringend rechtzeitig entfernt werden, damit sie sich nicht etablieren kann. (© Susanne Herfort)	70
Abbildung 39	Gehölze mit aggressivem Wurzelwachstum müssen ebenfalls entfernt werden. (© Susanne Herfort)	71
Abbildung 40	Auch Garagendächer müssen regelmäßig gepflegt werden. (© Susanne Herfort)	71
Abbildung 41	Bei Nährstoffmangel muss gedüngt werden. (© Susanne Herfort)	72
Abbildung 42	Bei Trockenstress sollte bewässert werden. (© Susanne Herfort)	72
Abbildung 43	Bei Substratverwehungen und Freilegung des Schutzvlieses muss dringend wieder eine Substratschicht und Vegetation aufgebracht werden. (© Susanne Herfort)	73
Abbildung 44	Lückenhafte Vegetation aufgrund fehlender Düngung und Bewässerung, hier kann mit Sedumspossen von der gleichen Dachfläche die Pflanzendeckung erhöht werden. (© Susanne Herfort)	73
Abbildung 45	Dachbegrünung mit sehr geringer Vegetation aufgrund fehlender Pflege, hier muss eine flächendeckende Nachsaat/Ausbringung von Sedumspossen erfolgen. (© Susanne Herfort)	74
Abbildung 46	Freigelegte wurzelfeste Folie, die schnellstmöglich mit Substrat und Vegetation wieder abgedeckt werden muss. (© Susanne Herfort)	74
Abbildung 47	Reparatur der Dachabdichtung ohne Rekonstruktion der Dachbegrünung, hier muss eine Sanierung des Dachbegrünungssystems durch eine Firma erfolgen. (© Susanne Herfort)	75
Abbildung 48	Ungereinigter Abwasserschacht, der mit einer kleinen Schippe gereinigt werden kann. Im Anschluss sollte der Schacht mit Wasser gespült werden. (© Susanne Herfort)	75
Abbildung 49	Falsche Dachentwässerung auf Dachbegrünung, die von einer Firma korrigiert werden muss. (© Susanne Herfort)	76
Abbildung 50	Vergessenes Material auf der Dachbegrünung, das schnellstmöglich fachgerecht entsorgt werden muss. (© Susanne Herfort)	76
Abbildung 51	Vorhandener Wasserhahn nachträglich unterbaut und dadurch nicht mehr nutzbar, der durch einen Wasserinstallateur wieder funktionsfähig gemacht werden kann. (© Susanne Herfort)	77
Abbildung 52	Ungesicherte Leiter, bei der nachträglich Haken an der Leiter und am Dachausstieg befestigt werden müssen. (© Susanne Herfort)	77
Abbildung 53	Regelmäßig gepflegte Dachbegrünung mit Sedum-Vegetation (© Susanne Herfort)	79
Abbildung 54	Logo der Pflegeapp für extensive Dachbegrünungen (© Dominik Joswig)	80
Abbildung 55	Anmeldungs Menü für die Nutzung der App (© Kerstin Pflanz)	81
Abbildung 56	Unterteilung der App in „Meine Dachbegrünung“ und „Allgemeine Informationen“ (© Kerstin Pflanz)	81
Abbildung 57	„Objektbezogene Daten“ (© Kerstin Pflanz)	82
Abbildung 58	Eingabe der Pflegedaten (© Kerstin Pflanz)	82
Abbildung 59	Erteilung von Pflegehinweisen durch die App in der Rubrik „Pflegemaßnahmen“ (© Kerstin Pflanz)	83
Abbildung 60	„Projektübersicht“ (© Kerstin Pflanz)	83
Abbildung 61	Allgemeine Informationen zur extensiven Dachbegrünung unter der Rubrik „Dachbegrünung und Pflege“ (© Kerstin Pflanz)	84
Abbildung 62	Galerie mit verschiedenen Fotos (© Kerstin Pflanz)	84
Abbildung 63	Auswahl eines Düngers und der zu düngenden Fläche mit Berechnung der einzusetzenden Düngermenge (© Kerstin Pflanz)	85

Abbildung 64	Drohneinsatz für die Zukunft zur besseren Pflege von extensiven Dachbegrünungen (© Susanne Herfort)	88
Abbildung 65	Draufsicht der Dachbegrünung; Schattenwurf und Fehlstellen in der Vegetation können sofort festgestellt werden (© Benjamin Herfort)	88
Abbildung 66	Draufsicht einer Dachbegrünung mit starken Fehlstellen in der Vegetation (© Benjamin Herfort)	89
Abbildung 67	Extensive Dachbegrünung mit Moos-Sedum und Mietergarten mit Hochbeeten auf demselben Dach (© Susanne Herfort)	90
Abbildung 68	Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich der Beikrautmenge	103
Abbildung 69	Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich einer Düngergabe	103
Abbildung 70	B01 am 29.06.2018 © S. Herfort	104
Abbildung 71	B02 am 29.06.2018 © S. Herfort	104
Abbildung 72	B03 am 29.06.2018 © S. Herfort	104
Abbildung 73	B04 am 17.08.2018 © S. Herfort	104
Abbildung 74	B05 am 17.08.2018 © S. Herfort	104
Abbildung 75	B06 am 16.08.2018 © S. Herfort	104
Abbildung 76	B07 am 17.08.2018 © S. Herfort	104
Abbildung 77	B08 am 16.08.2018 © S. Herfort	104
Abbildung 78	B09 am 16.08.2018 © S. Herfort	105
Abbildung 79	B10 am 16.08.2018 © S. Herfort	105
Abbildung 80	B11 am 21.08.2018 © S. Herfort	105
Abbildung 81	B12 am 21.08.2018 © S. Herfort	105
Abbildung 82	B13 am 21.08.2018 © S. Herfort	105
Abbildung 83	B14 am 30.08.2018 © S. Herfort	105
Abbildung 84	B15 am 30.08.2018 © S. Herfort	105
Abbildung 85	B16 am 30.08.2018 © S. Herfort	105
Abbildung 86	B17 am 11.09.2018 © S. Herfort	106
Abbildung 87	B18 am 13.09.2018 © S. Herfort	106
Abbildung 88	B19 am 11.09.2018 © S. Herfort	106
Abbildung 89	B20 am 18.06.2019 © S. Herfort	106
Abbildung 90	B21 am 16.07.2019 © S. Herfort	106
Abbildung 91	B22 am 16.07.2019 © S. Herfort	106
Abbildung 92	B23 am 16.07.2019 © S. Herfort	106
Abbildung 93	B08 am 06.09.2019 © S. Herfort	106
Abbildung 94	B25 am 29.10.2019 © S. Herfort	107
Abbildung 95	B26 am 07.09.2018 © S. Herfort	107
Abbildung 96	B27 am 21.08.2018 © S. Herfort	107
Abbildung 97	B28 am 17.07.2018 © S. Herfort	107
Abbildung 98	HH01 am 24.09.2018 © S. Herfort	108
Abbildung 99	HH02 am 24.09.2018 © S. Herfort	108
Abbildung 100	HH03 am 24.09.2018 © S. Herfort	108
Abbildung 101	HH04 am 22.08.2018 © S. Herfort	108
Abbildung 102	HH05 am 22.08.2018 © S. Herfort	108
Abbildung 103	HH06 am 22.08.2018 © S. Herfort	108
Abbildung 104	HH07 am 22.08.2018 © S. Herfort	108
Abbildung 105	HH08 am 23.08.2018 © S. Herfort	108
Abbildung 106	HH09 am 23.08.2018 © S. Herfort	109
Abbildung 107	HH10 am 23.08.2018 © S. Herfort	109
Abbildung 108	HH11 am 23.08.2018 © S. Herfort	109
Abbildung 109	HH12 am 23.08.2018 © S. Herfort	109
Abbildung 110	M01 am 29.10.2018 © S. Herfort	110
Abbildung 111	M02 am 29.10.2018 © S. Herfort	110
Abbildung 112	M03 am 30.10.2018 © S. Herfort	110

Abbildung 113 M04 am 30.10.2018 © S. Herfort	110
Abbildung 114 M05 am 30.10.2018 © S. Herfort	110
Abbildung 115 M06 am 30.10.2018 © S. Herfort	110
Abbildung 116 M07 am 30.10.2018 © S. Herfort	110
Abbildung 117 M08 am 18.11.2019 © S. Herfort	110
Abbildung 118 M09 am 19.11.2019 © S. Herfort	111
Abbildung 119 M10 am 19.11.2019 © S. Herfort	111
Abbildung 120 M11 am 19.11.2019 © S. Herfort	111
Abbildung 121 M12 am 19.11.2019 © S. Herfort	111
Abbildung 122 S01 am 06.09.2018 © S. Herfort	112
Abbildung 123 S02 am 06.09.2018 © S. Herfort	112
Abbildung 124 S03 am 11.10.2018 © S. Herfort	112
Abbildung 125 S04 am 11.10.2018 © S. Herfort	112
Abbildung 126 S05 am 12.10.2018 © S. Herfort	112
Abbildung 127 S06 am 12.10.2018 © S. Herfort	112
Abbildung 128 S07 am 12.10.2018 © S. Herfort	112
Abbildung 129 S08 am 08.05.2019 © S. Herfort	112
Abbildung 130 S09 am 08.05.2019 © S. Herfort	113
Abbildung 131 S10 am 08.05.2019 © S. Herfort	113
Abbildung 132 S11 am 30.10.2018 © S. Herfort	113
Abbildung 133 S12 am 24.07.2019 © S. Herfort	113
Abbildung 134 S13 am 24.07.2019 © S. Herfort	113
Abbildung 135 S14 am 24.07.2019 © S. Herfort	113
Abbildung 136 S15 am 24.07.2019 © S. Herfort	113
Abbildung 137 S16 am 24.07.2019 © S. Herfort	113
Abbildung 138 S17 am 24.07.2019 © S. Herfort	114
Abbildung 139 S18 am 05.11.2019 © S. Herfort	114
Abbildung 140 S19 am 05.11.2019 © S. Herfort	114
Abbildung 141 S20 am 05.11.2019 © S. Herfort	114
Abbildung 142 S21 am 06.11.2019 © S. Herfort	114
Abbildung 143 S22 am 06.11.2019 © S. Herfort	114
Abbildung 144 Lufttemperaturverlauf des Monats Juni 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz) (Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)	124
Abbildung 145 Lufttemperaturverlauf des Monats Dezember 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz) (Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)	124
Abbildung 146 Niederschlagsverteilung des Monats Juni 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz) (Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)	125
Abbildung 147 Niederschlagsverteilung des Monats Dezember 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz) (Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)	125
Abbildung 148 Sonnenscheindauer des Monats Juni 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz) (Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)	126
Abbildung 149 Sonnenscheindauer des Monats Dezember 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz) (Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)	126
Abbildung 150 Temperaturverlauf über eine Woche im Juni 2019 auf der wurzelfesten Folie und auf dem Substrat einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation	127
Abbildung 151 Temperaturverlauf über eine Woche im Dezember 2019 auf der wurzelfesten Folie und auf dem Substrat einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation	127

11.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Hauptmerkmale von extensiven Dachbegrünungen	13
Tabelle 2	Technische Daten von extensiven Dachbegrünungen	15
Tabelle 3	Hauptmerkmale von intensiven Dachbegrünungen	22
Tabelle 4	Fragenkatalog zur Zustandsaufnahme der untersuchten extensiven Dachbegrünungen	29
Tabelle 5	Umfang der untersuchten extensiven Dachbegrünungen in Hamburg, Berlin, Stuttgart und München	34
Tabelle 6	Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Pflegemaßnahmen	39
Tabelle 7	Anforderungen an die max. Wasserkapazität und Luftkapazität von Vegetationssubstraten für mehrschichtige und einschichtige Extensivbegrünungen laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien	41
Tabelle 8	Maximale Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in Hamburg, Berlin, Stuttgart und München	41
Tabelle 9	Anforderungen an den pH-Wert, den Salzgehalt und den pflanzenverfügbaren Stickstoffgehalt von Vegetationssubstraten für mehrschichtige und einschichtige Extensivbegrünungen laut FLL-Dachbegrünungsrichtlinien	45
Tabelle 10	pH-Wert, Salzgehalt und Stickstoffgehalt der untersuchten Substrate in Hamburg, Berlin, Stuttgart und München	46
Tabelle 11	Auswahl der Dünger in den Untersuchungen zur Pflanzenentwicklung bei extensiven Dachbegrünungen	54
Tabelle 12	Verhältnis von NPK der verwendeten Dünger beim Einsatz von 5 g N/m ²	54
Tabelle 13	Auswahl der auf dem Markt erhältlichen Düngemittel für extensive Dachbegrünungen	61
Tabelle 14	Objektangaben in Berlin	115
Tabelle 15	Objektangaben in Hamburg	116
Tabelle 16	Objektangaben in München	116
Tabelle 17	Objektangaben in Stuttgart	117
Tabelle 18	Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in Berlin	118
Tabelle 19	Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in Hamburg	119
Tabelle 20	Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in München	119
Tabelle 21	Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in Stuttgart	120
Tabelle 22	Ausgewählte Stoffparameter der Substrate in Berlin	121
Tabelle 23	Ausgewählte Stoffparameter der Substrate in Hamburg	122
Tabelle 24	Ausgewählte Stoffparameter der Substrate in München	122
Tabelle 25	Ausgewählte Stoffparameter der Substrate in Stuttgart	123

12 Anhang

Anlage 1 Checkliste für die Objektbegehung

Datum:		Code:	
Standort:	☐ Berlin	☐ Hamburg	☐ München ☐ Stuttgart
1. Allgemeine Angaben zum konkreten Objekt, Adressdaten			
Adresse des Objektes mit der Dachbegrünung			
Gebäudebezeichnung:	.....		
Name:	.....		
Straße:	.....		
PLZ und Ort:	.....		
Telefonnummer:	.....		
E-Mail:	.....		
Internetadresse:	.....		
Ansprechpartner:	.....		
Ausführender Betrieb der Pflege und Wartung			
Name:	.....		
Straße:	.....		
PLZ und Ort:	.....		
Telefonnummer:	.....		
E-Mail:	.....		
Internetadresse:	.....		
Ansprechpartner:	.....		
Telefonnummer:	.....		
E-Mail:	.....		
2. Daten zur Dachbegrünung			
Baujahr der Dachbegrünung			
.....			
Größe der Dachbegrünung (m ²)			
.....			
Vegetationstragschicht			
☐ Substrat ☐ Vegetationsplatten ☐ Vegetationsmatten ☐ nicht bekannt			
Substratdicke (cm)			
.....			

Schichtaufbau	
☐ einschichtig ☐ mehrschichtig ☐ nicht bekannt	
Dränschicht	
☐ Schüttstoffe ☐ Dränmatte ☐ Dränplatte ☐ Sonstiges ☐ nicht bekannt	
Dachneigung	
..... % oder °	
Dachhöhe	
..... Etage oder m	
Zugang zum Dach	
☐ Treppe ☐ Tür ☐ Terrassentür ☐ Bürofenster ☐ Flurfenster ☐ stationäre Leiter ☐ mobile Leiter ☐ Dachluke ☐ sonstiges:	
Absturzsicherung	
☐ stationäres Geländer ☐ mobiles Geländer ☐ persönliche Schutzausrüstung, am Einzelanschlagpunkt ☐ persönliche Schutzausrüstung, an Linienführung ☐ keine spezielle Sicherung, da keine Arbeiten am Dachrand innerhalb von 2 m ☐ keine Sicherung vorhanden ☐ sonstiges:	
Rand- bzw. Sicherungstreifen vorhanden	
☐ ja ☐ nein	
Technische Dachaufbauten vorhanden	
☐ ja ☐ nein	
Lichtverhältnisse	Bemerkungen
☐ sonnig ☐ halbschattig ☐ schattig	
Angrenzende Gebäude/Aufbauten mit Schattenwurf vorhanden	
☐ ja ☐ nein	

Angrenzende Bäume mit Schattenwurf vorhanden	
☐ ja	☐ nein
Angrenzende Bäume mit Laubfall vorhanden	
☐ ja	☐ nein
3. Daten zur Vegetation	
Vegetation (beim Einbau=Zielvegetation)	
☐ Moos-Sedum ☐ Sedum-Kraut-Gras ☐ Kraut-Gras-Sedum	
Vegetation (aktuell=Istzustand)	
☐ Moos viel ☐ Sedum viel ☐ Kraut viel ☐ Gras viel	☐ Moos wenig ☐ Sedum wenig ☐ Kraut wenig ☐ Gras wenig
Zustand der Vegetation	
☐ sehr gut/gut ☐ befriedigend ☐ genügend/ungenügend	
Deckungsgrad der Vegetation	
☐ 100 % bis 75 % ☐ < 75 % bis 50 % ☐ < 50 % bis 25 % ☐ < 25 %	
Schäden	
☐ keine ☐ Fehlstellen an Vegetation ☐ Trockenstress ☐ Löcher im Substrat ☐ Schutzvlies ragt hervor ☐ Pfützenbildung ☐ Müll auf dem Dach ☐ sonstiges:	
Unerwünschter Bewuchs	
☐ 0 % bis 10 % ☐ > 10 % bis 30 % ☐ > 30 %	

Unerwünschter Bewuchs (Arten)		
☐	☐	☐
☐	☐	☐
4. Daten zur Pflege und Wartung		
Pflege in den letzten 5 Jahren nach FLL		
☐ 1 bis 2 x im Jahr ☐ 3 bis 4 x im Jahr ☐ > 4 x im Jahr ☐ es wurde noch nie gepflegt ☐ nicht bekannt		
Folgende Pflegemaßnahmen wurden regelmäßig durchgeführt		
☐ Entfernung von unerwünschtem Bewuchs ☐ Düngung ☐ Wässern ☐ Mähen ☐ Entfernen von Schnittgut ☐ Entfernen von Laub ☐ Nachsaaten bei Fehlstellen ☐ Nachpflanzungen bei Fehlstellen ☐ Nachfüllen von Substrat ☐ Pflanzenschutz ☐ sonstiges:		
Düngung		
☐ Zeitangabe letzte Düngung: ☐ nicht bekannt ☐ es wurde noch nie gedüngt		
Dünger		
☐ bekannt ☐ Name ☐ NPK ☐ Menge: ☐ nicht bekannt		
Wartung in den letzten 5 Jahren nach FLL		
☐ 1 bis 2 x im Jahr ☐ 3 bis 4 x im Jahr ☐ > 4 x im Jahr ☐ es wurde noch nie gewartet ☐ nicht bekannt		
Folgende Wartungsmaßnahmen wurden regelmäßig durchgeführt		
☐ Freihalten von Rand- und Sicherheitsstreifen sowie von Platten/Belägen ☐ Freihalten von Kiesstreifen ☐ Säubern von Sicherheitsrinnen, Kontrollschächten, Dachabläufen etc. ☐ Kontrolle und Funktionsprüfung der Bewässerungsanlage, sofern vorhanden ☐ sonstiges:		

Anlage 2 Pflegedaten

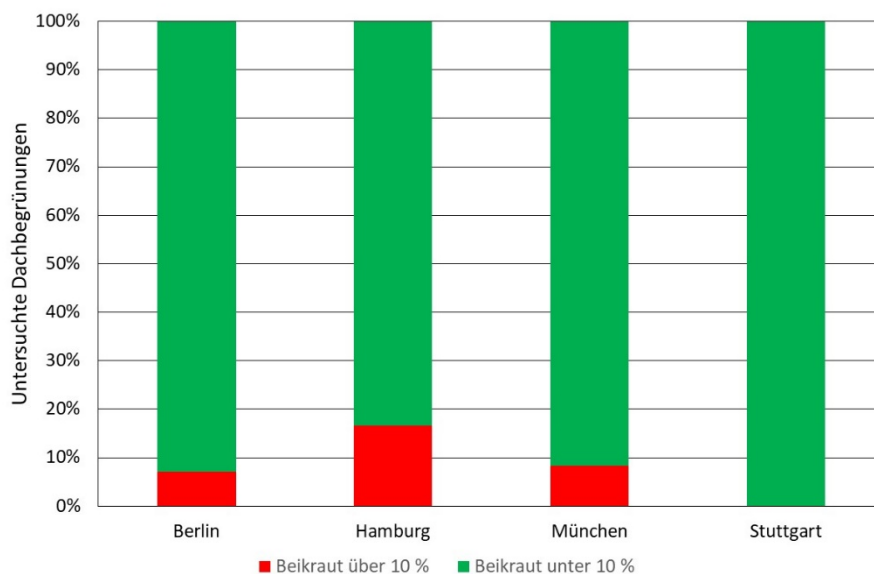


Abbildung 68 Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich der Beikrautmenge

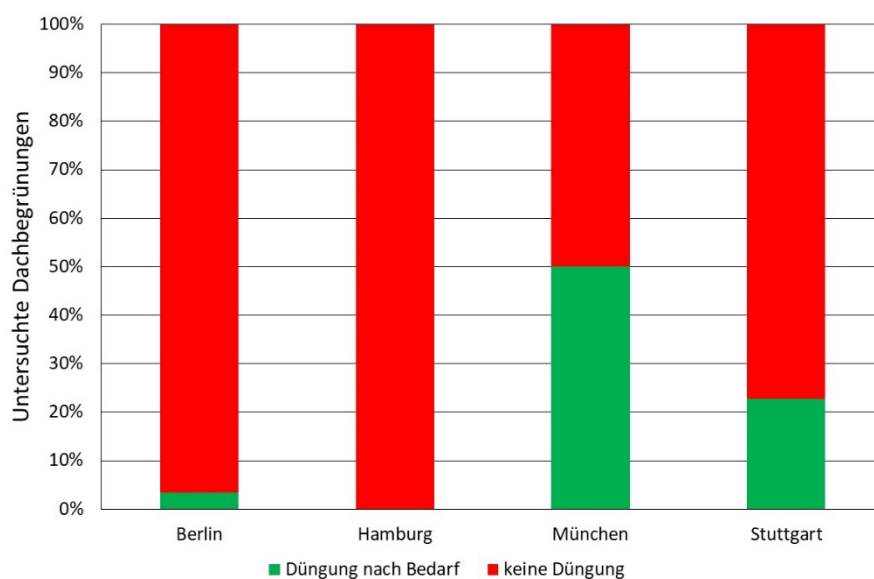


Abbildung 69 Prozentualer Anteil der untersuchten Dachbegrünungen hinsichtlich einer Düngergabe

Anlage 3 Untersuchte Dachbegrünungen in Berlin



Abbildung 70 B01 am 29.06.2018 © S. Herfort



Abbildung 71 B02 am 29.06.2018 © S. Herfort



Abbildung 72 B03 am 29.06.2018 © S. Herfort



Abbildung 73 B04 am 17.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 74 B05 am 17.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 75 B06 am 16.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 76 B07 am 17.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 77 B08 am 16.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 78 B09 am 16.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 79 B10 am 16.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 80 B11 am 21.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 81 B12 am 21.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 82 B13 am 21.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 83 B14 am 30.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 84 B15 am 30.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 85 B16 am 30.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 86 B17 am 11.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 87 B18 am 13.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 88 B19 am 11.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 89 B20 am 18.06.2019 © S. Herfort



Abbildung 90 B21 am 16.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 91 B22 am 16.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 92 B23 am 16.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 93 B08 am 06.09.2019 © S. Herfort



Abbildung 94 B25 am 29.10.2019 © S. Herfort



Abbildung 95 B26 am 07.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 96 B27 am 21.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 97 B28 am 17.07.2018 © S. Herfort

Anlage 4 Untersuchte Dachbegrünungen in Hamburg



Abbildung 98 HH01 am 24.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 99 HH02 am 24.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 100 HH03 am 24.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 101 HH04 am 22.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 102 HH05 am 22.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 103 HH06 am 22.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 104 HH07 am 22.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 105 HH08 am 23.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 106 HH09 am 23.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 107 HH10 am 23.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 108 HH11 am 23.08.2018 © S. Herfort



Abbildung 109 HH12 am 23.08.2018 © S. Herfort

Anlage 5 Untersuchte Dachbegrünungen in München



Abbildung 110 M01 am 29.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 111 M02 am 29.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 112 M03 am 30.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 113 M04 am 30.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 114 M05 am 30.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 115 M06 am 30.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 116 M07 am 30.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 117 M08 am 18.11.2019 © S. Herfort



Abbildung 118 M09 am 19.11.2019 © S. Herfort



Abbildung 119 M10 am 19.11.2019 © S. Herfort

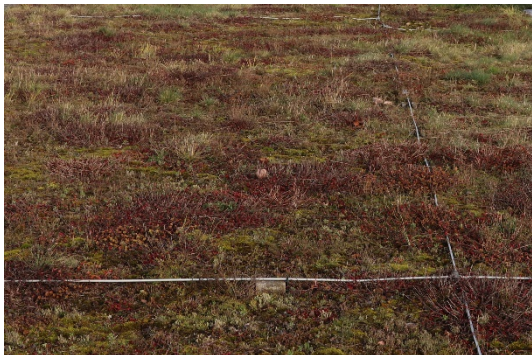


Abbildung 120 M11 am 19.11.2019 © S. Herfort



Abbildung 121 M12 am 19.11.2019 © S. Herfort

Anlage 6 Untersuchte Dachbegrünungen in Stuttgart



Abbildung 122 S01 am 06.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 123 S02 am 06.09.2018 © S. Herfort



Abbildung 124 S03 am 11.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 125 S04 am 11.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 126 S05 am 12.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 127 S06 am 12.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 128 S07 am 12.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 129 S08 am 08.05.2019 © S. Herfort



Abbildung 130 S09 am 08.05.2019 © S. Herfort



Abbildung 131 S10 am 08.05.2019 © S. Herfort



Abbildung 132 S11 am 30.10.2018 © S. Herfort



Abbildung 133 S12 am 24.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 134 S13 am 24.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 135 S14 am 24.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 136 S15 am 24.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 137 S16 am 24.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 138 S17 am 24.07.2019 © S. Herfort



Abbildung 139 S18 am 05.11.2019 © S. Herfort



Abbildung 140 S19 am 05.11.2019 © S. Herfort



Abbildung 141 S20 am 05.11.2019 © S. Herfort



Abbildung 142 S21 am 06.11.2019 © S. Herfort



Abbildung 143 S22 am 06.11.2019 © S. Herfort

Anlage 7 Objektangaben

Tabelle 14 Objektangaben in Berlin

Berlin Nr.	Baujahr	Begrünung	Höhe [m]	Pflegegänge [Jahr]	Düngung	Deckung [%]	Trockenstress
B01	2008	Sedum-Kraut-Gras	15	2	nein	50-75	etwas
B02	2008	Moos-Sedum	20	2	nein	50-75	etwas
B03	2006	Sedum	5	1-2	n. B.*	75-100	nein
B04	1998	Moos-Sedum	20	2	nein	50-75	stark
B05	1998	Moos-Sedum	20	2	nein	50-75	stark
B06	1998	Moos-Sedum	20	2	nein	75-100	etwas
B07		Sedum-Kraut-Gras	5	2	nein	75-100	etwas
B08	1998	Moos-Sedum	10	1	nein	50-75	stark
B09		Moos-Sedum	20	1	nein	50-75	stark
B10	2015	Sedum	0	1	nein	50-75	nein
B11	1980er	Sedum-Kraut-Gras	20	1	nein	75-100	etwas
B12	1980er	Sedum-Kraut-Gras	20	1	nein	75-100	nein
B13	1980er	Kraut-Gras-Sedum	20	1	nein	75-100	nein
B14	2006	Sedum	20	1	nein	<50	stark
B15	2012	Sedum-Kraut-Gras	20	1	nein	50-75	stark
B16	2003	Kraut-Gras-Sedum	15	1	nein	50-75	stark
B17	2003	Moos-Sedum	10	1	nein	50-75	stark
B18	1997	Kraut-Gras-Sedum	15	0	nein	<50	stark
B19	2003	Kraut-Gras-Sedum	10	1	nein	75-100	nein
B20	1998	Moos-Sedum	20	2	nein	75-100	nein
B21		Sedum	20	1	nein	75-100	etwas
B22	1998	Sedum-Kraut-Gras	10	1	nein	75-100	nein
B23	1998	Kraut-Gras-Sedum	5	1	nein	75-100	nein
B24	2015	Sedum	5	0	nein	50-75	nein
B25		Moos-Sedum	5-10	0	nein	50-75	nein
B26	1995	Moos-Sedum	20	2	nein	50-75	etwas
B27	1980er	Moos-Sedum	20	1	nein	75-100	stark
B28		Kraut-Gras-Sedum	5	0	nein	75-100	stark

*n. B. : nach Bedarf

Tabelle 15 Objektangaben in Hamburg

Hamburg Nr.	Baujahr	Begrünung	Höhe [m]	Pflegegänge [Jahr]	Düngung	Deckung [%]	Trockenstress
HH01	2008	Sedum-Kraut-Gras	5	2	nein	75-100	etwas
HH02	2010	Moos-Sedum	10	2	nein	75-100	etwas
HH03	1993	Sedum-Kraut-Gras	10	2	nein	75-100	nein
HH04	1996	Moos-Sedum	20	2	nein	75-100	nein
HH05	2009	Moos-Sedum	20	2	nein	75-100	nein
HH06	2002	Kraut-Gras-Sedum	15	2	nein	50-75	nein
HH07	1990	Sedum-Kraut-Gras	15	2	nein	50-75	etwas
HH08	2009	Moos-Sedum	5	2	nein	75-100	etwas
HH09	1999	Kraut-Gras-Sedum	10	2	nein	75-100	nein
HH10	2013	Sedum-Kraut-Gras	15-20	0	nein	50-75	etwas
HH11	2004	Moos-Sedum	10-15	1	nein	50-75	etwas
HH12	1996	Moos-Sedum	10	2	nein	75-100	nein

Tabelle 16 Objektangaben in München

München Nr.	Baujahr	Begrünung	Höhe [m]	Pflegegänge [Jahr]	Düngung	Deckung [%]	Trockenstress
M01	2002	Sedum-Kraut-Gras	10	4-6	nein	50-75	nein
M02	2010	Moos-Sedum	20	2	nein	75-100	nein
M03	2006	Moos-Sedum-Kraut	10	2	n. B.*	75-100	nein
M04	2006	Moos-Sedum-Kraut	10	2	n. B.*	75-100	nein
M05	2007	Moos-Sedum	10-15	2	n. B.*	75-100	nein
M06	2006	Moos-Sedum-Kraut	10	1	nein	75-100	nein
M07	2006	Moos-Sedum-Kraut	15	1	nein	75-100	nein
M08	2018	Sedum	15	1	nein	75-100	nein
M09	ca. 2010	Moos-Sedum	3	2	n. B.*	75-100	nein
M10	ca. 2010	Sedum-Kraut-Gras	10	2	n. B.*	75-100	nein
M11	ca. 2010	Moos-Sedum	10	2	n. B.*	75-100	nein
M12	2016	Sedum-Kraut-Gras	5-10	2	nein	50-75	etwas

*n. B. : nach Bedarf

Tabelle 17 Objektangaben in Stuttgart

Stuttgart Nr.	Baujahr	Begrünung	Höhe [m]	Pflege- gänge [Jahr]	Düngung	Deckung [%]	Trocken- stress
S01	2006	Kraut-Gras-Sedum	20	4	nein	75-100	etwas
S02	2004	Sedum-Kraut-Gras	15-20	2	nein	50-75	etwas
S03	1980	Moos-Sedum	10	0	nein	50-75	etwas
S04	1980	Moos-Sedum	10	0	nein	50-75	etwas
S05	1997	Kraut-Gras-Sedum	20	2	nein	75-100	stark
S06	1997	Kraut-Gras-Sedum	20	2	nein	50-75	stark
S07	2004	Sedum-Kraut-Gras	20	2	nein	75-100	nein
S08	ca. 2000	Moos-Sedum	15	0	nein	50-75	etwas
S09	ca. 2010	Sedum-Kraut-Gras	20-25	2	nein	50-75	nein
S10	ca. 2010	Kraut-Gras-Sedum	5	2	n. B.*	75-100	nein
S11	ca. 2000	Moos-Sedum-Kraut	20	0	nein	50-75	etwas
S12	2008	Moos-Sedum	20	2	n. B.*	75-100	nein
S13	2008	Moos-Sedum	20	2	n. B.*	50-75	etwas
S14	1986	Kraut-Gras-Sedum	20	2-3	n. B.*	75-100	nein
S15	1993	Moos-Sedum	20	1	nein	50-75	etwas
S16	2010	Moos-Sedum	20	1	nein	50-75	etwas
S17	2014	Sedum	20	2	n. B.*	50-75	etwas
S18	2013	Sedum-Kraut-Gras	20	2	nein	75-100	nein
S19	1993	Moos-Sedum	20	1	nein	50-75	etwas
S20	1992	Moos-Sedum-Kraut	5	1	nein	75-100	nein
S21	2007	Sedum-Kraut-Gras	20	2	nein	75-100	nein
S22	2007	Moos-Sedum-Kraut	20	2	nein	50-75	nein

*n. B. : nach Bedarf

Anlage 8 Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate der untersuchten Dachbegrünungen

Tabelle 18 Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in Berlin

Berlin Nr.	WK _{max} [Vol.-%]	WK bei 0,4 pF [Vol.-%]	WK bei 1,0 pF [Vol.-%]	WK bei 1,5 pF [Vol.-%]	WK bei 1,8 pF [Vol.-%]	WK bei 2,0 pF [Vol.-%]	LK bei WK _{max} [Vol.-%]	LK bei pF 1,8 [Vol.-%]
B01	51	47	33	24	21	20	22	52
B02	51	47	31	23	20	20	23	54
B03	53	49	35	24	20	20	13	46
B04	58	54	39	28	23	23	9	44
B05	52	48	35	26	22	22	18	48
B06	65	63	54	38	30	28	10	45
B07	58	55	39	28	24	24	12	46
B08	50	46	27	20	17	16	23	57
B09	51	47	35	27	22	22	27	55
B10	42	34	30	24	21	20	17	38
B11	51	50	42	29	19	18	2	34
B12	55	50	40	28	20	19	5	40
B13	63	60	51	36	27	26	12	47
B14	48	34	24	19	17	17	6	38
B15	40	27	20	17	15	15	34	59
B16	53	40	31	25	23	22	20	50
B17	47	37	30	24	20	20	15	41
B18	26	26	21	17	14	14	33	45
B19	53	53	47	38	30	28	24	47
B20	29	21	16	13	13	12	46	62
B21	49	40	32	25	21	19	26	54
B22	44	40	34	28	25	27	27	47
B23	44	42	39	34	29	31	21	36
B24	33	30	26	22	19	20	20	34
B25	58	47	30	23	21	21	5	42
B26								
B27								
B28								

Tabelle 19 Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in Hamburg

Hamburg Nr.	WK _{max} [Vol.-%]	WK bei 0,4 pF [Vol.-%]	WK bei 1,0 pF [Vol.-%]	WK bei 1,5 pF [Vol.-%]	WK bei 1,8 pF [Vol.-%]	WK bei 2,0 pF [Vol.-%]	LK bei WK _{max} [Vol.-%]	LK bei pF 1,8 [Vol.-%]
HH01	39	37	30	25	22	22	27	44
HH02	33	31	26	20	16	16	34	51
HH03	51	50	45	35	23	22	17	45
HH04	48	40	32	25	22	22	6	32
HH05	51	43	35	25	21	20	0	30
HH06	58	54	48	37	29	29	0	29
HH07	59	50	34	22	17	17	0	42
HH08	49	42	30	23	20	20	18	47
HH09	62	59	53	39	31	30	10	42
HH10	53	47	35	24	20	20	0	31
HH11	43	37	30	24	22	21	10	31
HH12								

Tabelle 20 Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in München

München Nr.	WK _{max} [Vol.-%]	WK bei 0,4 pF [Vol.-%]	WK bei 1,0 pF [Vol.-%]	WK bei 1,5 pF [Vol.-%]	WK bei 1,8 pF [Vol.-%]	WK bei 2,0 pF [Vol.-%]	LK bei WK _{max} [Vol.-%]	LK bei pF 1,8 [Vol.-%]
M01	47	43	39	35	32	32	27	42
M02	31	29	26	31	23	22	36	44
M03	46	41	36	32	28	28	32	50
M04	32	30	27	25	23	23	36	45
M05	37	33	29	26	24	24	35	48
M06	49	44	38	33	29	29	30	50
M07	35	33	30	28	27	27	33	42
M08	48	39	29	25	21	24	20	46
M09								
M10	64	59	48	39	39	39	10	34
M11	66	51	36	30	30	29	9	45
M12	56	49	36	29	29	28	19	47

Tabelle 21 Wasserkapazität und Luftkapazität der Substrate in Stuttgart

Stuttgart Nr.	WK _{max} [Vol.-%]	WK bei 0,4 pF [Vol.-%]	WK bei 1,0 pF [Vol.-%]	WK bei 1,5 pF [Vol.-%]	WK bei 1,8 pF [Vol.-%]	WK bei 2,0 pF [Vol.-%]	LK bei WK _{max} [Vol.-%]	LK bei pF 1,8 [Vol.-%]
S01	39	37	31	26	22	22	27	44
S02								
S03	49	48	39	29	24	23	26	52
S04	45	43	36	28	23	22	30	52
S05	51	47	40	31	26	26	16	41
S06								
S07	39	34	28	22	19	19	33	52
S08	53	44	34	25	19	18	23	57
S09	50	41	33	24	19	18	16	47
S10	58	51	42	29	23	21	11	46
S11	54	45	34	25	21	19	4	37
S12	45	42	37	29	24	26	24	45
S13	37	32	27	21	19	20	24	42
S14	48	44	39	32	27	29	15	35
S15	30	27	24	20	18	20	44	55
S16	22	20	17	15	14	14	55	63
S17	44	42	37	26	21	23	11	34
S18	54	42	34	30	30	30	14	38
S19	47	37	28	25	25	24	19	41
S20	45	34	26	24	24	24	27	47
S21	50	40	31	27	26	26	18	42
S22	57	47	38	33	33	32	13	37

Anlage 9 Ausgewählte Stoffparameter der Substrate der untersuchten Dachbegrünungen

Tabelle 22 Ausgewählte Stoffparameter der Substrate in Berlin

Berlin Nr.	Substratdicke [cm]	pH	Salzgehalt [g KCl/l]	Stickstoff [mg/l]	Rohdichte [g/cm ³]
B01	8	5,9	0,6	6,3	0,715
B02	8	5,5	0,4	2,8	0,683
B03	6	6,0	0,8	16,1	0,907
B04	5	6,5	0,7	8,9	0,868
B05	6-22	7,1	1,3	5,6	0,789
B06	9	6,8	0,9	7,3	0,671
B07	6	5,9	0,9	22,6	0,798
B08	14	6,2	0,7	14,1	0,703
B09	5	6,1		24,2	0,594
B10	6-22	7,5	1,6	2,2	1,090
B11	10	6,8	1,2	6,2	1,240
B12	5	6,6	2,4	7,0	1,051
B13	12	6,7		19,6	0,666
B14	5-10	6,8	1,3	6,6	1,205
B15	12	6,3	0,9	10,5	0,693
B16	12	7,2	0,9	11,9	0,736
B17	8	6,9	1,3	10,85	1,011
B18	6	6,0	0,7	7,9	1,082
B19	22	6,2	1,8	55,7	0,602
B20	5	5,2	0,9	1,2	0,663
B21	5	5,7	0,5	0,8	0,670
B22	6	5,3	0,6	2,6	0,758
B23	15	6,3	2,9	6,0	0,920
B24	5	7,0	1,4	0,9	1,250
B25	2-3	6,2	1,1	4,2	0,969
B26	1 (Matte)				
B27	1 (Matte)				
B28	4				

Tabelle 23 Ausgewählte Stoffparameter der Substrate in Hamburg

Hamburg Nr.	Substratdicke [cm]	pH	Salzgehalt [g KCl/l]	Stickstoff [mg/l]	Rohdichte [g/cm ³]
HH01	5	7,6	1,2	1,0	0,889
HH02	5	6,1	0,4	4,4	0,875
HH03	8-10	4,7	0,3	4,0	0,846
HH04	6-8	7,7	5,2	3,2	1,212
HH05	5 (über Matte)	8,0	6,4	7,4	1,303
HH06	8	7,4	5,1	9,9	1,118
HH07	6-8	5,8	0,9	2,6	1,078
HH08	10	6,3	0,8	0,8	0,871
HH09	6-10	6,1	1,2	3,8	0,725
HH10	6	7,5	2,6	0,9	1,289
HH11	4-10	7,5	2,1	2,7	1,260
HH12	8				

Tabelle 24 Ausgewählte Stoffparameter der Substrate in München

München Nr.	Substratdicke [cm]	pH	Salzgehalt [g KCl/l]	Stickstoff [mg/l]	Rohdichte [g/cm ³]
M01	6	7,0	0,5	5,3	0,690
M02	10	7,6	1,0	3,7	0,873
M03	8	6,9	0,5	5,7	0,581
M04	6	7,1	0,7	4,4	0,853
M05	10	7,1	0,7	6,0	0,729
M06	4-6	7,2	1,0	6,7	0,555
M07	4-6	7,3	0,9	5,3	0,831
M08	12	7,7	2,9	1,6	0,864
M09	2 (Matte)				
M10	4-6	5,4	1,4	10,8	0,709
M11	4-6	5,4	1,0	8,3	0,663
M12	2-6	7,4	2,4	2,4	0,650

Tabelle 25 Ausgewählte Stoffparameter der Substrate in Stuttgart

Stuttgart Nr.	Substratdicke [cm]	pH	Salzgehalt [g KCl/l]	Stickstoff [mg/l]	Rohdichte [g/cm³]
S01	8	7,4	1,1	7,7	0,893
S02	16				
S03	1 (Matte)	6,0	0,3	2,8	0,640
S04	1 (Matte)	5,7	0,4	7,2	0,671
S05	10	6,4	2,4	30,3	0,878
S06	8	7,3			
S07	8	6,6	0,4	3,5	0,768
S08	2-5	6,4	0,7	2,3	0,622
S09	10	7,0	1,3	2,2	0,900
S10	10	7,7	3,7	3,9	0,824
S11	5	6,6	1,4	1,9	1,106
S12	5	6,5	0,7	4,1	0,824
S13	8	6,5	1,5	5,0	1,031
S14	6	6,6	2,8	14,9	0,988
S15	6-10	5,0	0,5	2,0	0,697
S16	8	6,4	0,5	4,3	0,612
S17	4-5	7,0	1,7	4,4	1,195
S18	8-12	7,0	1,7	1,5	0,851
S19	5-7	7,2	1,4	1,6	0,915
S20	5-8	6,6	1,0	1,7	0,766
S21	10-12	6,7	1,3	3,8	0,836
S22	10	6,4	1,1	3,5	0,793

Anlage 10 Aufgenommene Klimadaten im Rahmen des Versuchszeitraumes

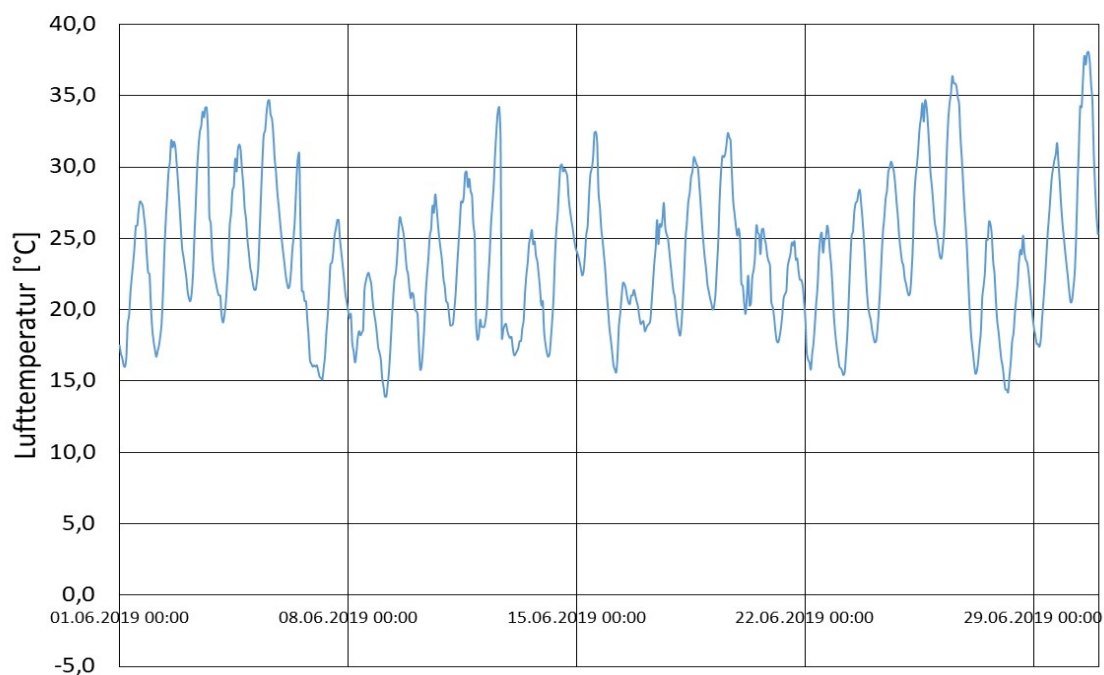


Abbildung 144 Lufttemperaturverlauf des Monats Juni 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz)
(Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)

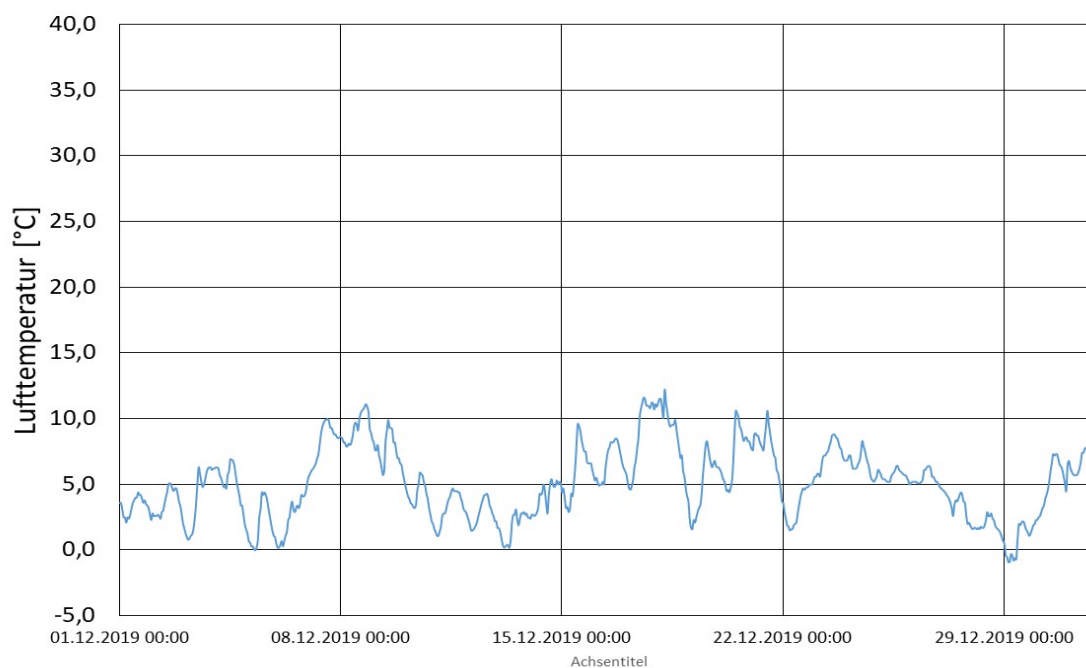


Abbildung 145 Lufttemperaturverlauf des Monats Dezember 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz)
(Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)

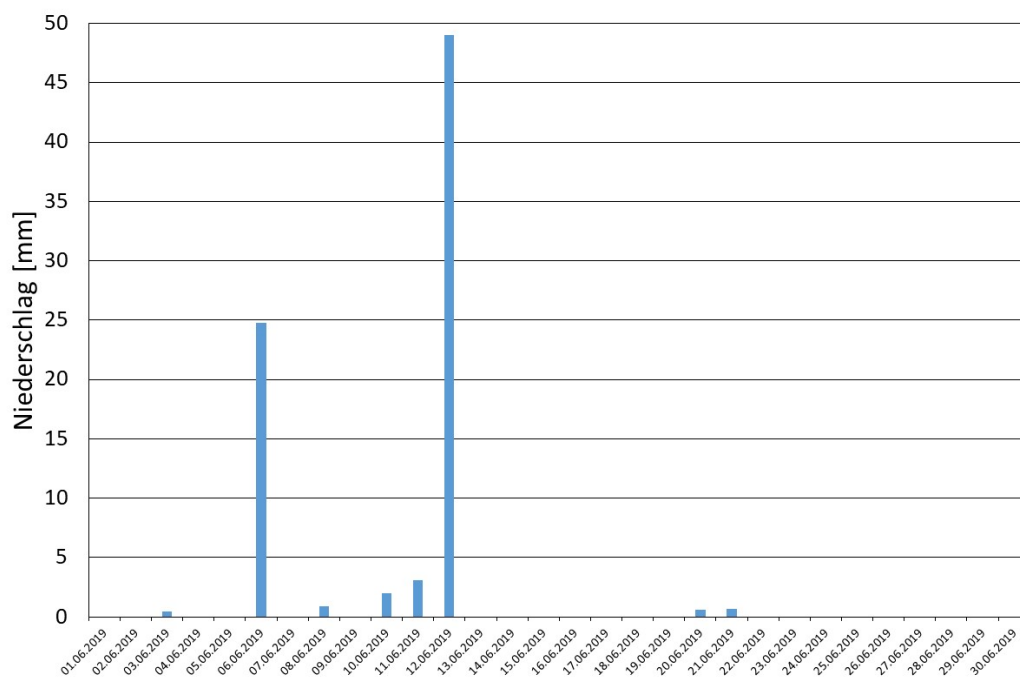


Abbildung 146 Niederschlagsverteilung des Monats Juni 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz)
(Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)

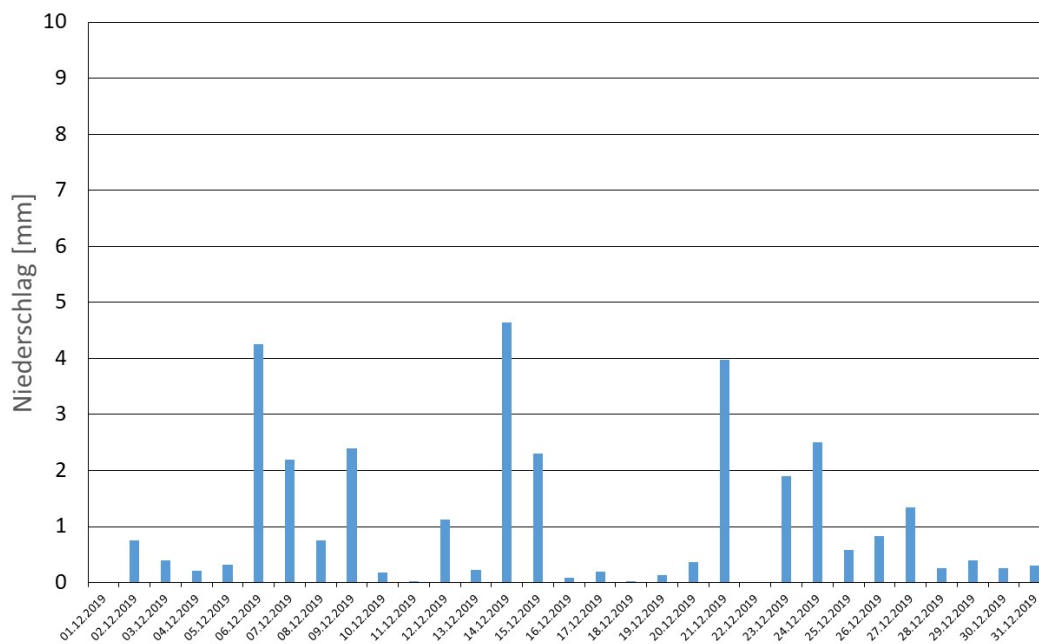


Abbildung 147 Niederschlagsverteilung des Monats Dezember 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz)
(Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)

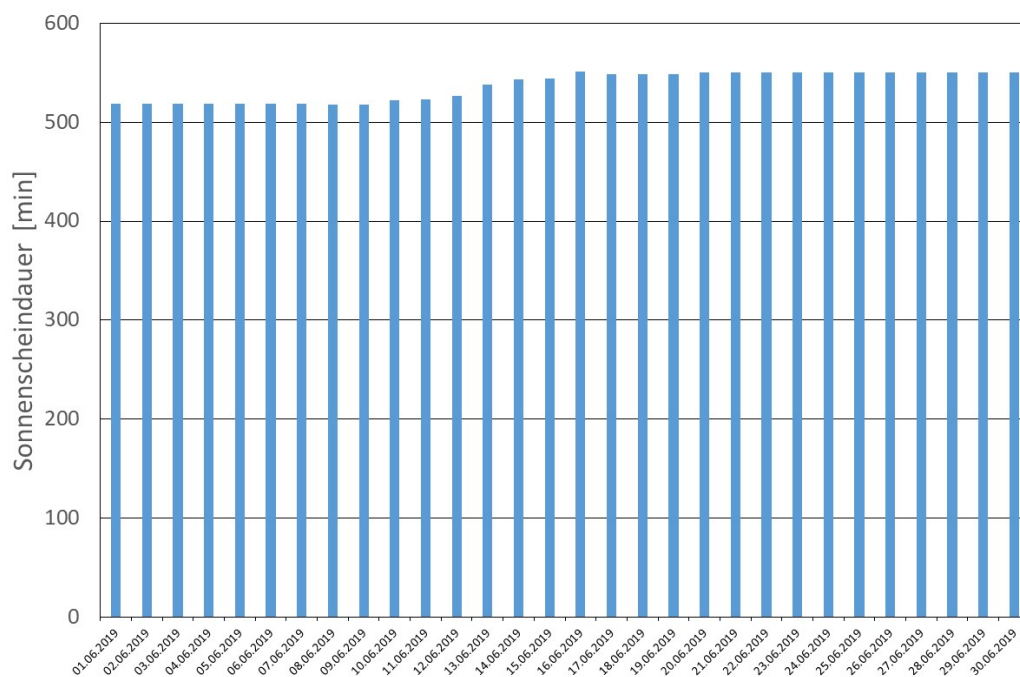


Abbildung 148 Sonnenscheindauer des Monats Juni 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz)
(Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)

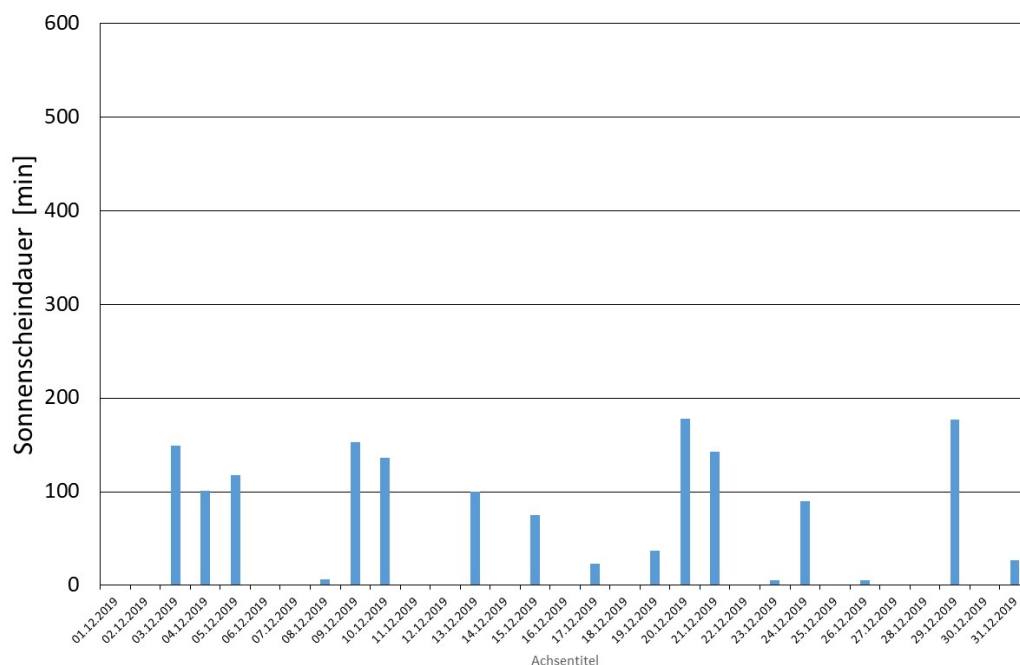


Abbildung 149 Sonnenscheindauer des Monats Dezember 2019 am Standort Berlin-Mitte (Alexanderplatz)
(Daten: Deutscher Wetterdienst, 2019)

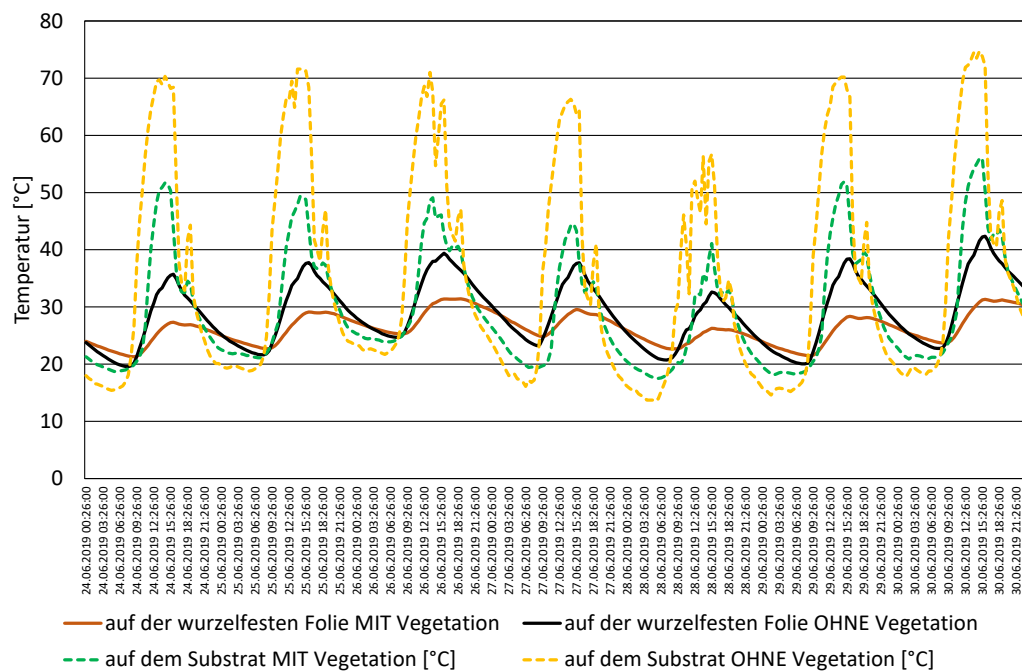


Abbildung 150 Temperaturverlauf über eine Woche im Juni 2019 auf der wurzelfesten Folie und auf dem Substrat einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation

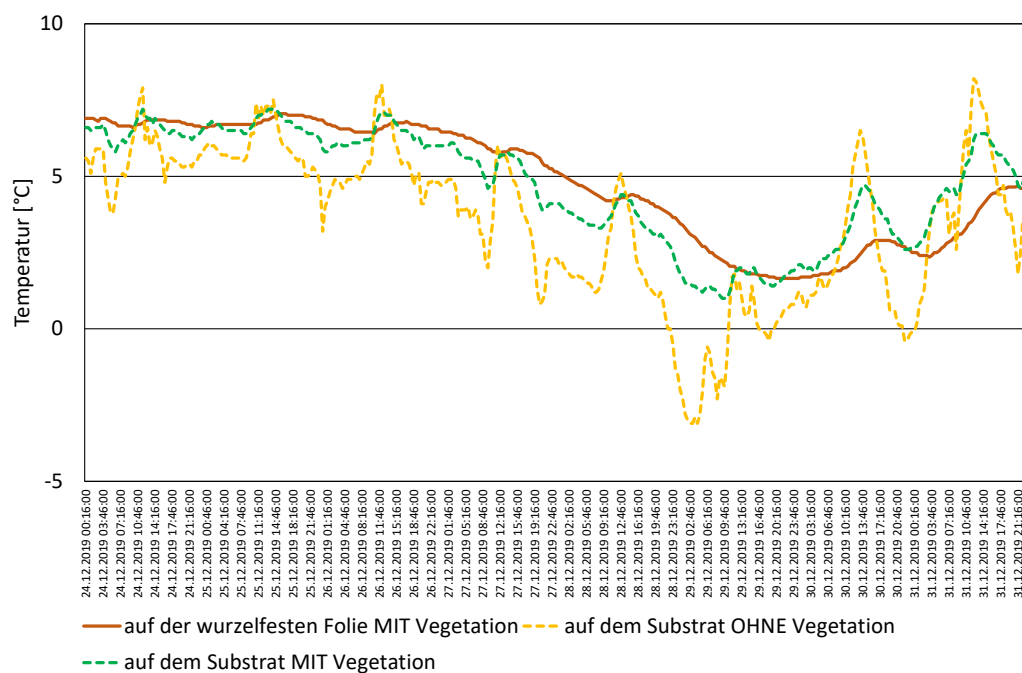


Abbildung 151 Temperaturverlauf über eine Woche im Dezember 2019 auf der wurzelfesten Folie und auf dem Substrat einer extensiven Dachbegrünung mit und ohne Vegetation

Danksagung

Wir möchten uns vielmals für die Zukunft Bau Forschungsförderung des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und deren Unterstützung bei der Umsetzung des Projektes bedanken sowie für die Finanzierung durch das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat.

Große Unterstützung erhielten wir auch vom Bundesverband GebäudeGrün e. V. (BuGG), insbesondere von Herrn Dr. Gunter Mann, wofür wir uns ganz herzlich bedanken möchten. Aber auch den Mitgliedern des BuGG gilt unser Dank. Vor allem die Projektgruppe 7 „Pflege und Wartung von Dachbegrünungen“ und die konstruktiven Diskussionen dieser Projektgruppe trugen zum Gelingen des Projektes bei.

Ein besonderer Dank gilt der Firma ICL Deutschland Vertriebs GmbH mit den zur Verfügung gestellten Düngemitteln „Landscape Pro Full Season“, „Osmocote Exact Standard“ und „Osmocote Exact High K“. Des Weiteren unterstützte uns die Firma Optigrün International AG mit dem Düngemittel „Optigrün Opticote“, wofür wir ebenfalls danken möchten.

Unser Dank gilt aber auch all denjenigen, die ihre extensiven Dachbegrünungen für die Untersuchungen zur Pflege und Wartung zur Verfügung stellten und dieses Projekt erst möglich machten.

Letztendlich möchten wir vielmals der Firma ESYS GmbH aus Berlin danken, die die Pflege-App entwickelt hat. Durch die stetige Kommunikation und die konstruktiven Diskussionen mit der ESYS GmbH ist erstmalig eine App entwickelt worden, mit der die Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen noch besser umgesetzt werden kann. In diesem Zusammenhang gilt unser Dank auch Herrn Joswig, der das Logo der App sowie die Icons entworfen hat.



**Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung**
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



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



BuGG
Bundesverband GebäudeGrün e. V.
Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung

Bundesverband GebäudeGrün e. V. (BuGG)
Albrechtstraße 13
10117 Berlin



ICL Deutschland Vertriebs GmbH
Veldhauser Straße 197
48527 Nordhorn



Optigrün international AG
Am Birkenstock 15-19
72505 Krauchenwies-Göggingen



ESYS GmbH
Schwedter Straße 34a
10435 Berlin



DOMINIK JOSWIG
Idee und Illustration

Dominik Joswig
Idee und Illustration
Puschkinweg 18
16348 Wandlitz