

Aufwertung von extensiven Dachbegrünungen Am Audimax-Hörsaal des KIT Campus

Forschungsprojekt Ökologie im SS 2021
von

Maria Höver

am Institut für Geographie und Geoökologie



Betreuer: Prof. Dr. Sebastian Schmidlein

Bearbeitungszeit: 10.05.2021 – 30.09.2021

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, die wörtlich oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche kenntlich gemacht und die Satzung des Karlsruher Instituts für Technologie zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis in der gültigen Fassung vom 24.05.2018 beachtet habe.

Karlsruhe, den 30.09.2021,



Maria Höver

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Methoden | 3 |
| 2.1 | Technische Daten | 3 |
| 2.2 | Substratanalysen | 3 |
| 2.3 | Temperaturmessung | 4 |
| 2.4 | Vegetation | 5 |
| 2.5 | Versuchsflächen | 5 |
| 3 | Ergebnisse | 6 |
| 3.1 | Technische Daten | 6 |
| 3.1.1 | Dachbauweise und Begrünbarkeit | 7 |
| 3.2 | Substratanalysen | 8 |
| 3.3 | Temperaturmessung | 9 |
| 3.4 | Vegetation | 11 |
| 3.5 | Versuchsflächen | 13 |
| 4 | Diskussion | 15 |
| 4.1 | Technische Daten | 15 |
| 4.2 | Substratanalysen | 15 |
| 4.3 | Temperaturmessung | 16 |
| 4.4 | Vegetation | 16 |
| 4.5 | Versuchsflächen | 16 |
| 5 | Fazit | 19 |
| 6 | Ausblick und Resultat | 21 |
| | Anhang | 23 |
| | Danksagungen | 33 |
| | Literaturverzeichnis | 35 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Temperaturlogger mit äußerem Sensor (Kabelende) und innerem Sensor (im Gehäuse) | 4 |
| 2 | Satellitenbilder des Audimax-Hörsaals | 6 |
| 3 | Aufbau der Dachkonstruktion für das Hörsaal-Dach | 7 |
| 4 | Substratschicht der Extensivbegrünung und Skellettbestandteile | 8 |
| 5 | Temperaturverläufe vom 14.07. bis zum 14.08. | 10 |
| 6 | Sedumpolster als bestandbildende Begrünung | 11 |
| 7 | Spontanvegetation in der süd-westlichen Ecke der Dachfläche | 12 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Ergebnisse der Substratanalysen | 9 |
|---|---|---|

Anhangsverzeichnis

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Grundriss der Dachebene des Audimax-Hörsaals aus den Plänen des Bauantrages. | 23 |
| 2 | Auszüge aus der Leistungsbeschreibung für den Neubau des Osteuropazentrums zum Dachaufbau | 24 |
| 3 | Aufsicht des Audimax-Daches mit Überblick der angewandten Methoden auf der Fläche | 25 |
| 4 | Basisdaten und Berechnungen für die effektive Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung | 26 |
| 5 | Komplette Darstellung der aufgenommenen Temperaturverläufe | 27 |
| 6 | Gesamtliste aller auf dem Dach aufgenommenen Pflanzenarten mit Moosen und Flechten | 28 |
| 7 | Aufnahmebogen der kartierten Dachflächen | 29 |
| 8 | Artenauswahl für die Versuchsflächen, Tabelle 1/2 | 30 |
| 9 | Artenauswahl für die Versuchsflächen, Tabelle 2/2 | 31 |

Abstract

When it comes to increasingly dense urban areas, green roofs offer great opportunities. Not only the enhancement of the cityscape and the recreational function are of importance, but creation of additional green spaces also generates positive effects of economical and ecological nature, which together fulfill a wide range of functions. Especially with regard to livability and climate protection, green roofs represent a promising potential that has yet to be exploited, since the percentage of actually greened roofs remains low compared to the amount of rooftop areas hypothetically greenable. Extensive green roofs with Sedum species dominate in terms of implementation, yet have the lowest impact in terms of positive effects described. Therefore, in addition to the quantitative expansion of green roof areas, the upgrading of already existing green roofs should be addressed. Within the framework of this research project, a concept for intensifying an existing green roof was developed. The FLL green roof guideline of 2018 served as the main source. Relevant parameters for planning and implementation have been worked out. In conclusion, it has been determined that an enhancement within the group of possible extensive green roofs is generally feasible.

Begrünte Dachflächen bieten insbesondere in zunehmend verdichteten urbanen Räumen große Chancen. Nicht nur die Aufwertung des Stadtbildes und die Erholungsfunktion sind dabei von Bedeutung. Durch die Schaffung zusätzlicher Grünflächen und Freiräume entstehen auch positive Auswirkungen ökonomischer und ökologischer Art, die insgesamt ein vielfältiges Netzwerk von ineinandergreifenden Funktionen erfüllen. Gerade in Hinblick auf Lebensqualität und Klimaschutz stellen Dachbegrünungen ein vielversprechendes, unausgeschöpftes Potential dar. Denn der Anteil an tatsächlich begrünten Dächern ist gering, verglichen mit der Menge an begrünbaren Flächen. In der Realisierung dominieren die extensiven Begrünungen mit Sedum-Arten, die in Bezug auf die positiven Effekte jedoch die geringste Wirkungskraft aufweisen. Neben dem mengenmäßigen Ausbau begrünter Dachareale ist daher auch eine Aufwertung bereits bestehender Begrünungen zu fördern. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde an einem Beispiel des begrünten Audimax-Hörsaals des KIT-Campus ein Konzept für die Intensivierung eines existierenden Gründaches aufgestellt. Als Hauptquelle diente dabei die FLL-Dachbegrünungsrichtlinie von 2018. Es wurde herausgearbeitet, welche Parameter für eine Planung und Umsetzung von Bedeutung sind. Grundsätzlich wurde festgestellt, dass eine Aufwertung innerhalb der Gruppe möglicher Extensivbegrünungen generell umsetzbar ist.

Keywords: Dachbegrünungskonzepte, Ökologische Aufwertung, Nutzungsänderung, Sedum-Kraut-Begrünungen

1. Einleitung

Noch immer steigt der Versiegelungsgrad und der Verlust an Grünflächen in Deutschland an. Etwa 45% der Siedlungs- und Verkehrsflächen sind Stand 2020 versiegelt ([Umweltbundesamt, 2020]). Vor allem in Städten hat dies nicht nur Folgen für die Wohnqualität und Erholungsmöglichkeiten. Gerade im Hinblick auf den Klimawandel gewinnen die problematischen Auswirkungen großflächig versiegelter Gebiete hier an Relevanz. Neben schwindenden Regen- und Hochwasserretentionsflächen steigen Temperaturen und Hitzestress im städtischen Raum bereits heute spürbar an ([Van Staden, 2014]). Mildernd wirken Grünflächen wie Parkanlagen, Naturschutzgebiete und Waldstücke, aber auch kleinere Anlagen wie Gärten und Straßengrünstreifen sind mikroklimatisch von Bedeutung. Neben dem Ausgleich von Hitzewellen und Starkregenereignissen erfüllen diese Gebiete auch zahlreiche Aufgaben der Naherholung und der Habitatfunktion für Flora und Fauna, sie sind die Grundlage der Biodiversität in Städten und verbessern dort maßgeblich die Lebensqualität, z Bsp. durch Schadstofffixierung. Der hohe Nutzungsdruck und die vielfältigen Leistungszuschreibungen machen deutlich, wie bedeutend Bedarf und Ausbau an Grünflächen in Städten sind. Gleichzeitig nimmt die verfügbare Fläche jedoch durch innerstädtische Nachverdichtung ab. Um diesem Dilemma entgegen zu wirken, sind kreative, moderne Innenentwicklungskonzepte dringend nötig. Verschiedene Strategien und Lösungen werden hierzu seit Jahren entwickelt und umgesetzt ([BBSR, 2014],[BBSR, 2016]).

Eine der sowohl verbreitetsten wie auch erfolgsversprechendsten Möglichkeiten ist die Bauwerksbegrünung, insbesondere die Begrünung von Dächern. Von einfachen, extensiven Begrünungen mit Sedumpolstern bis hin zu Dachgärten mit Gemüseanbau oder Gehölz sind mittlerweile sehr vielzählige und flexibel anpassbare Konzepte umsetzbar. Die Flächen erfüllen, abhängig von der Begrünungsintensität, eine Vielzahl an positiven städtebaulichen, ökologischen, und ökonomischen Funktionen und Wirkungen. Je nach Artenzusammensetzung und Aufbau kann eine Dachbegrünung zudem als Ausgleichsmaßnahme für Flächenverluste bei Bauvorhaben und als ökokontofähige Maßnahme herangezogen werden ([Polzin, 2017], [Prof. Dr. Küpfer, 2019]). Grundsätzlich ist eine Begrünung auf vielen Dächern unter 45° Neigung realisierbar, unkomplizierter lassen sie sich jedoch auf Flachdächern verwirklichen, wie sie in vielen Stadtbereichen häufig vorkommen ([FLL, 2018]). Trotzdem liegt der Anteil neu gebauter und nicht begrünter Flachdächer in Deutschland 2019 bei 91%. Das ungenutzte Potential ist enorm und gilt nicht nur für Wohngebäude, sondern auch Industrie - und Bildungskomplexe ([BuGG, 2020]). Gerade an Universitäten, die als Sinnbild für Forschung und Innovation stehen, gibt es trotz aller positiven Wirkungen vielerorts noch ungenutzte Ausbaumöglichkeiten. Die vorliegende Projektarbeit beschäftigt sich mit den Dächern auf dem Campus Süd des Karlsruher Institutes für Technik (KIT). Aus einer Untersuchung von 2017 geht hervor, dass die Fläche an potentiell begrünbaren Flachdächern auf dem Campus 7,2 ha beträgt ([Bertsch, 2017]). Tatsächlich begrünt sind davon allerdings nur 0,8 ha. Eine Überprüfung auf das tatsächliche Potential der unbegrünter Dachflächen sollte unbedingt erfolgen. In jedem Fall bieten Hochschulen eine interessante Plattform für die Vernetzung und Bündelung verschiedener Fachbereiche,

Kompetenzen und Impulse zur Realisierung experimenteller Strategien und Pilotprojekte. Neben den klassischen Vorteilen von begrünten Dächern für die Regenwasserretention, Artenvielfalt und das Kleinklima sind demnach auch Versuchsflächen denkbar, die der Erforschung und Entwicklung von spezifischen Begrünungskonzepten dienen (siehe z. Bsp. [Schröder et al., 2020]). Solche Konzepte könnten zum Beispiel die Biodiversität und Arterhaltung im Fokus haben und mit botanischen Gärten zusammenarbeiten oder aber zusammen mit Studierenden alternative Erholungs- oder Lernumgebungen gestalten.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Forschung an Aufwertungsmöglichkeiten für bereits bestehende Dachbegrünungen. Laut dem Marktreport 2019 des Bundesverbands für Gebäudegrün e.V. sind über 80 % der Dachbegrünungen in Deutschland extensiv ([BuGG, 2020]). Während diese Flächen im Vergleich zu einem versiegelten Dach zwar viele Vorteile mit sich bringen, merken Fachleute immer wieder die überhöhte Art ihrer Bewertung an ([PAN, 2018]). Der Retentionsgrad für das jährliche Niederschlagswasser zum Beispiel kann bei Intensivbegrünungen bei nahezu 100% liegen, bei Extensivbegrünungen werden meist nur um die 50 % erreicht ([FLL, 2018]). Zudem ist die Artenzusammensetzung von Extensivbegrünungen in einer Mehrzahl der Fälle wenig divers und hat keine bis kaum Bedeutung für die Artenvielfalt ([Herrmann, 2020]). Dabei können gerade diese Flächen durch ihre extremen Bedingungen als Ersatzlebensraum für selten werdene Arten dienen. Ein besonderes Potential bieten die Dachflächen dabei für Arten der Trockenmagerrasen, deren Bestände heute zu großen Teilen stark gefährdet sind.

Im Zuge dieser Forschungsarbeit soll an einem Fallbeispiel untersucht werden, inwiefern bestehende Extensivbegrünungen ökologisch aufgewertet und so in ihren Funktionen erweitert werden können. Dazu gilt es, die zugrundeliegenden Parameter und Eigenschaften festzulegen und zu bestimmen, die für einen Eingriff in die bestehende Vorrichtung relevant sind. Welche Angaben werden benötigt, welche Voruntersuchungen müssen stattfinden? Ein Überblick des aktuellen Stands soll erfolgen: Welche Voraussetzungen bringt die Fläche mit? Wo existieren theoretische und umsetzbare Entwicklungsmöglichkeiten? Welche Einschränkungen gesetzlicher, bautechnischer oder ökologischer Art gibt es? Schließlich soll ein Konzept für eine tatsächliche Versuchsflächen im Sinne einer Aufwertung zugunsten gefährdeter Arten entwickelt werden.

2. Methoden

Die hier angeführten Methoden geben einen Überblick der Untersuchungen, die im Rahmen des Forschungsprojektes auf dem Dach des Audimax-Hörsaals stattgefunden haben.

2.1 Technische Daten

Für die Realisierung von Dachbegrünungen sind zunächst einige technische Voraussetzungen zu beachten, die das zu begrünende Gebäude aufweisen muss. Die Dachkonstruktion mit Traglast sowie bautechnische Erfordernisse hinsichtlich der Durchwurzelung, Entwässerung, Brandschutzvorkehrungen und Begehbarkeit sind nur einige Beispiele ([FLL, 2018]). Diese Parameter sind auch für Umbaumaßnahmen und Veränderungen in der Begrünungsart zu beachten. Ein Standardwerk mit für die Planung, Durchführung und Instandhaltung von Dachbegrünungen relevanten Richtlinien wird durch die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) gestellt. In Abstimmung mit den dort gelisteten Anforderungen wurde nach relevanten Angaben in Bezug auf den Hörsaal recherchiert.

Um an die entsprechenden technischen Daten zu gelangen, wurden verschiedenen Dokumenten zurate gezogen, die durch die zuständigen Verwaltungsstellen zur Verfügung gestellt wurden. Nach Unterlagen angefragt wurden Vertreter des Karlsruher Amtes Vermögen und Bau Baden-Württemberg und der damaligen Bauleitung sowie Architekten und Beamte des KIT. In erster Linie konnten dabei hilfreiche Daten aus Bauanträgen und Leistungsbeschreibungen zum Bauobjekt erworben werden.

Zusätzlich wurde die Dachkonstruktion und der Schichtaufbau soweit ersichtlich bei Begehungen vor Ort mit untersucht.

2.2 Substratanalysen

Einer der Hauptfaktoren für die erfolgreiche Verbreitung und/oder Etablierung von Arten im Sinne einer Begrünung ist das verwendete Substrat. Dieses stellt nicht nur die statische Grundlage für den Aufwuchs dar, sondern bestimmt auch die Durchwurzelungstiefe sowie die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit. Es bildet also maßgeblich den Rahmen für die mögliche Vegetation.

Die Substrateigenschaften wurden auf theoretische wie praktische Weise erforscht. Als Anhaltspunkt dienten auch hier wieder Angaben aus dem Bauantrag und der Leistungsbeschreibung. Zudem wurden Substratproben im Labor auf ausgewählte Parameter untersucht. Dazu wurden an vier Stellen entlang der Dachneigung (Mitte bis Rand) im Abstand von fünf Metern Proben von jeweils 1 kg Masse entnommen und im Labor getrocknet. Anschließend wurde das Substrat gesiebt um es in Feinboden (Korngröße < 2 mm) und Skelettanteil zu trennen. Mit dem Feinboden wurden folgende Substrateigenschaften untersucht:

- pH (H₂) nach DIN 15933

- pH (CaCl_2) nach DIN 15933
- Kalkmessungen nach Scheibler
- Gesamt-Kohlenstoff (Gesamt-C) und Gesamt-Stickstoff (Gesamt-N) mit dem Elementaranalysator EA 3000 von Eurovektor
- Effektive Kationenaustauschkapazität über Kationenbestimmung mittels optischer Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

Die gesammelten Ergebnisse wurden mit Angaben zu Substratanforderungen an Extensivbegrünungen aus den Dachbegrünungsrichtlinien ([FLL, 2018]) abgeglichen. Die Auswahl der Parameter und Methoden wurde stark begrenzt durch den zeitlichen Rahmen des Projektes und der damit zusammenhängenden Methodenverfügbarkeit, sodass einige relevante Aspekte nicht untersucht werden konnten (Siehe hierzu Abschnitt 4.2). Für eine zukünftige Analyse sollten diese Untersuchungen durchgeführt werden.

2.3 Temperaturmessung

Dachbegrünungen stellen unter Anderem eine Schutzfunktion gegen strahlende Wärme dar und verbessern so den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz. Mikroklimatisch gleichen sie Temperaturextreme aus, vermindern die Rückstrahlungsintensität und erhöhen die Luftfeuchtigkeit ([FLL, 2018]). Je geschlossener die Vegetationsdecke einer Begrünung ist, desto höher sind die positiven Effekte ([eza, 2021]). Ein möglichst dichter Bewuchs ist daher wünschenswert, d. h. im Idealfall soll das Substrat so wenig wie möglich frei liegen.

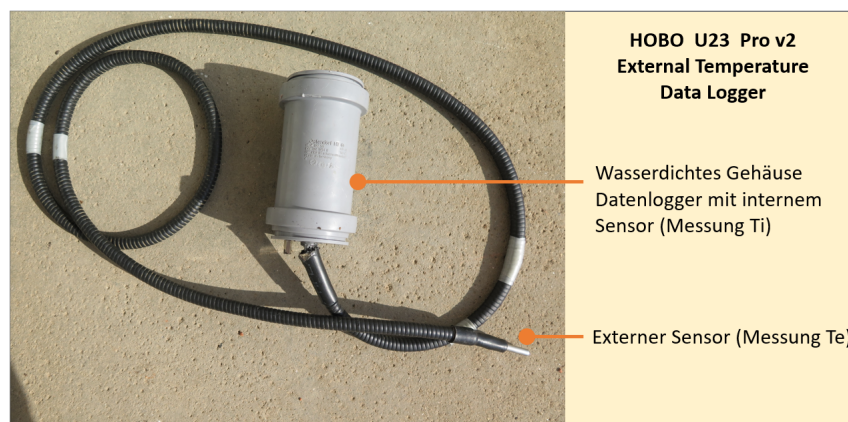


Abbildung 1: Temperaturlogger mit äußerem Sensor (Kabelende) und innerem Sensor (im Gehäuse).

Für die Untersuchung der kleinklimatischen Auswirkungen und als Rückschluss auf die Relevanz einer möglichst dichten Begrünung, wurden im Zeitraum vom 14.07.21 bis zum 14.09.21 drei Temperaturlogger der Firma Onset (HOBO U23 Pro v2 (U23-004)) ausgebracht. Zwei davon wurden direkt nebeneinander auf der Hauptfläche des Daches in der Mitte installiert, wovon einer der Sensoren die Temperaturen in 1-2 cm Substrattiefe unter einem Pflanzenpolster aufnahm, der andere in 1-2 cm Substrattiefe an einer vegetationslosen Stelle. Dabei wurden alle halbe Stunde jeweils zwei Temperaturwerte genommen - Einer am Sensor (Te) in der oberflächennahen Substratschicht und ein Wert im Gehäuse (Ti), das sich unmittelbar außerhalb des Substrates in der laminaren Bodenluftschicht befand. Der dritte Logger wurde auf der oberen Dachfläche des südlichen Bereiches aufgestellt um Vergleichswerte zu sammeln sowie ggf. Daten mit der dort befindlichen, permanenten Wetterstation abgleichen zu können. Über eine optische Schnittstelle und die frei verfügbare HOBO-Software des Anbieters Onset wurden die Loggerdaten ausgelesen und bearbeitet.

2.4 Vegetation

Grundsätzlich gibt es für die Artenzusammensetzung eine Vielzahl an Möglichkeiten. Allerdings ist der Artenkatalog begrenzter, je geringer die Aufbaudicke des Substrates ist ([eza, 2021]). Für Extensivbegrünungen sind geringe Substrattiefen von (4–) **6 – 12** (– 20) cm die Regel ([FLL, 2018]). Durch die exponierte Lage von Dachflächen wird jedoch auch fremdes Saatgut von Wildpflanzen sowie den umliegenden Gärten und Grünanlagen antransportiert (in erster Linie anemochor und zoochor), was zur Etablierung von Spontanvegetation führt. Standardmäßig werden solche Pflanzen bei Kontroll- und Pflegegängen entfernt um Schäden an der Begrünungskonstruktion zu verhindern. Insbesondere Gehölze können durch die unkontrollierte Auflast und Wurzeltiefe einiger Arten problematisch sein. Gleichzeitig geben selbstetablierte Arten Hinweise auf die Standortbedingungen und geeignete Artenerweiterungen.

Im Rahmen dieses Projektes wurde die gesamte Begrünung des Audimax-Daches untersucht. Es galt herauszufinden, welche Arten als Teil der Begrünungsplanung vorkommen und welche sich aller Wahrscheinlichkeit nach selbst etablieren konnten. Darüber hinaus sollte recherchiert werden, welche Arten der Spontanvegetation als schädigend einzustufen und somit zu entfernen sind. Für die repräsentativen Dachflächen wurden hierzu vier 1 m² große Flächen kartiert, die auf der Dachfläche verteilt durch Zufallswürfe ausgewählt wurden. Die Aufnahme erfolgte mit der erweiterten Skala nach Braun-Blanquet. Zudem wurde eine einfache Kompletliste der Arten erstellt, die sich in den Windfängen und Schattenbereichen des Daches befanden und nicht repräsentativ für den Bewuchs der Dachfläche waren. Als Bestimmungsliteratur dienten eine Reihe an Standardwerken ([Schmeil and Fitschen, 2011]; [Rothmaler, 2017]; [Lauber and Wagner, 2012]; [Eggenberg et al., 2018]; [Wirth and Düll, 2000]) sowie zusätzliche digital verfügbare Bestimmungshilfen ([BfN, 2021], [Meyer, 2021]) zur Konfirmation.

2.5 Versuchsflächen

Die Konzeption von möglichen Versuchsflächen für die Ergänzung der Begrünung um weitere Arten basierte in erster Linie auf den Ergebnissen der in Punkt 2.1 bis 2.4 beschriebenen Untersuchungen. Im Fokus sollten solche Arten stehen, die in Baden-Württemberg auf der Roten Liste oder Vorwarnliste stehen bzw. ökologische Relevanz für Artenvielfalt oder Insekten innehaben und gleichzeitig Standortansprüche vorweisen, die mit den gegebenen Voraussetzungen kompatibel sind. Außerdem wurde erarbeitet, inwiefern eine Veränderung des Substrates (z. Bsp. durch gezielte Düngung) einer Aufwertung der Artenzusammensetzung förderlich sein könnte. Bezüglich der Artenauswahl erfolgte zunächst eine Eingrenzung geeigneter Individuen mithilfe der Ellenberg-Zeigerwerte (Ellenberg, 2010). Diese Auswahl wurde weiter reduziert, indem sie nach Gefährdungstatus und weiteren Eigenschaften wie Wurzeltiefe und Bedeutung für Insekten, insbesondere Bienen, gefiltert wurde. Hierbei wurde in erster Linie die Website *FloraWeb* des Bundesamtes für Naturschutz verwendet ([BfN, 2021]). Die Arten wurden in den Katalogen gängiger Anbieter für Dachbegrünungsprodukte nochmals auf ihre Eignung überprüft ([Kolb, 2016]), ([ZinCo, 2021a]), (Hofstetter Mühle, 2021). Schließlich wurde die Artenliste durch die Verfügbarkeit auf eine überschaubare Menge reduziert.

3. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der unter Punkt 2 vorgestellten Methoden präsentiert.

3.1 Technische Daten

Aus den verfügbaren Dokumenten konnte eine Reihe an Fakten und Basisdaten zum Audimax-Hörsaal und der Dachbegrünung entnommen werden. Die nachfolgend vorgestellten Daten sind in erster Linie aus folgenden beiden Dokumenten entnommen:

Leistungsbeschreibung Neubau Osteuropazentrum, Universität Karlsruhe (2001)
Bauantrag Hörsaalgebäude, Universität Karlsruhe, Bauamt Stadt karlsruhe (2000)

Jeweils zur Verfügung gestellt durch Silke Rittershofer vom *Grünen Campus Büro* des KIT. Zu erwähnen sei, dass sich die Leistungsbeschreibung ausdrücklich auf das Osteuropazentrum bezieht und nicht auf den Hörsaal bezieht. Räumlich und funktional sei dieser zwar dem Osteuropazentrum zuzuordnen, *jedoch nicht Gegenstand der Beschreibung* (Leistungsbeschreibung, 2001, S.12). Dennoch fallen einige relevante Erwähnungen in Bezug auf das Audimax. Ein gleichartiges Dokument speziell für den Hörsaal konnte nicht aufgefunden bzw. nicht zur Verfügung gestellt werden.

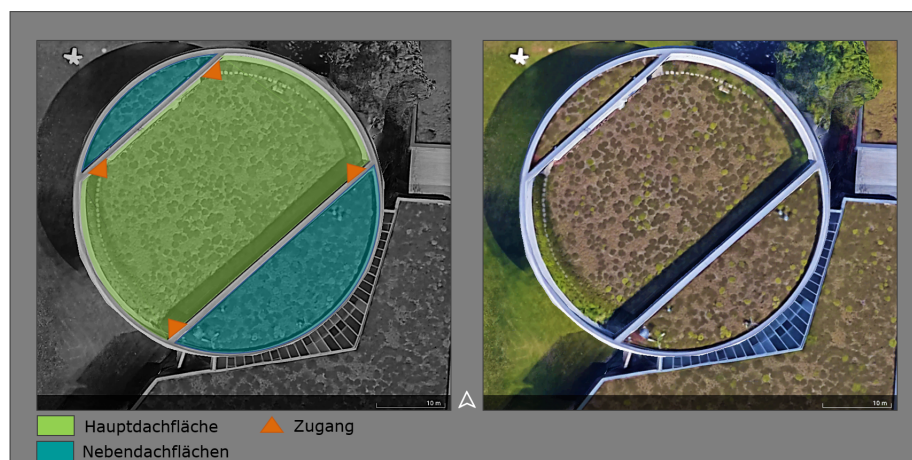


Abbildung 2: Satellitenbilder des Audimax-Hörsaals. Links: Die beiden blau gefärbten Flächen befinden sich 2,6 m über der Hauptfläche (grün eingefärbt). Auf dieser Ebene erfolgt auch der Zugang zum Dach. Rechts: Alle Dachflächen sind mosaikartig begrünt, am Kreisbogen der Hauptfläche entlang sind Trittsteine zu erkennen. Kartengrundlage: Stadt Karlsruhe VLW, Geobasis-DE/BKG ©2009

Das Dach des kreisrunden Audimax-Hörsaals besteht aus einer Hauptfläche, die von allen Seiten ummauert ist und zwei höhergelegten, kleineren Flächen, die sich an der Nordwest-

und Südostkante des Kreises befinden (siehe hierzu Abb.2). Die Hauptdachfläche, auf die man an den vier Ecken Zugang vom Gebäudeinneren aus hat, befindet sich 125,70 m NHN. Die beiden oberen Flächen schießen mit der umliegenden Mauer der unteren Ebene ab und befinden sich auf 128,30 m NHN. Der Durchmesser des Gesamtdaches beträgt laut Angaben in den Anlagen des Bauantrages 37,5 m. Die Gesamtfläche beträgt 1075,21 m² inklusive der inneren Wände (Siehe auch Anhang 1).

3.1.1 Dachbauweise und Begrünbarkeit

Zur Dachkonstruktion ist ein regulärer Flachdachaufbau mit Stahlbeton angegeben. Es handelt sich um einen Flachdachaufbau mit Wärmedämmung, nicht durchlüftet (Warmdach), mit Beton als Untergrund und der Dachneigungsgruppe I, d. h. mit einer Neigung von bis zu maximal 3 °(5%) ([Braun, 1982]). Der Dachaufbau setzt sich in von außen nach innen in folgender Reihenfolge zusammen:

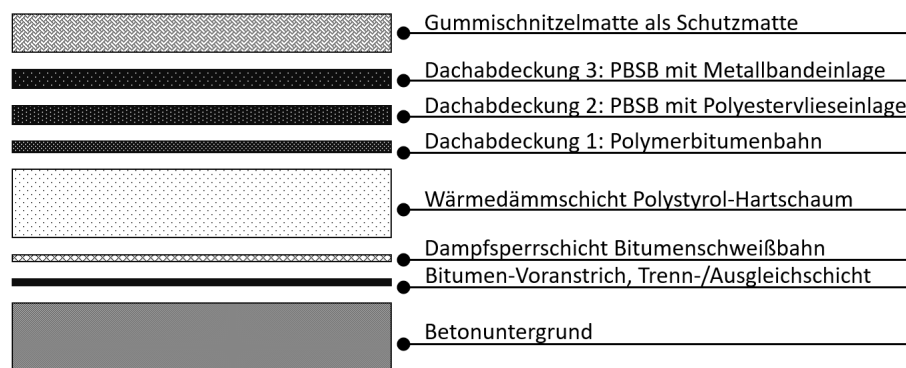


Abbildung 3: Aufbau der Dachkonstruktion für das Hörsaal-Dach im Querschnitt. Die Schichthöhenverhältnisse entsprechen in etwa den realen Verhältnissen.

Genauere Angaben zum Schichtaufbau sind in Anhang 2 zu finden. Die gegebene Dachbauweise eignet sich für alle Begrünungsarten und Vegetationsformen, insbesondere auch solche mit höheren Lastannahmen ([FLL, 2018]).

Angaben zum Schichtaufbau der Dachbegrünung konnten nur für die Dachfläche des Osteuropazentrums gefunden werden. Hier besteht laut Leistungsbeschreibung eine extensive Begrünung nach DVV (Deutscher Dachgärtner Verband e. V.)- und FLL-Richtlinien mit folgendem Schichtaufbau von oben nach unten:

- Pflanzebene ZinCo, Typ Sedumteppich
- Pflanzsubstrat E120 ZinCo
- Systemfilter SF ZinCo
- Dränplatte ZinCo
- Speicherschutzmatte SSM 45 ZinCo

Ein ähnlicher Aufbau ist beim Audimax aufgrund von zeitähnlichem Bau und Planung, räumlicher Nähe und gebäudetechnischer Zusammengehörigkeit sowie teilweise gleichen Verantwortlichkeiten anzunehmen. Zudem spricht die optisch erkennbare Ähnlichkeit der Vegetationsschicht auf den beiden Dächern dafür.

Bei der Untersuchung der Substratschicht vor Ort konnte von oben nach unten folgender Schichtaufbau festgestellt werden:

- Pflanzebene Sedumteppich, evtl. Typ Sedumteppich ZinCo
- Pflanzsubstrat, evtl. Systemerde *Sedumteppich* oder *Steinrosenflur* ZinCo
- Filterschicht, evtl. Systemfilter SF ZinCo
- Drainageschicht, mineralische Drainschüttung z. Bsp. aus Blähton, Recyclingziegel oder Claylith

Weiter konnte der Aufbau nicht nachgewiesen werden, ohne dass eine Beschädigung der Konstruktion hätte erfolgen müssen. Wahrscheinlich folgt unterhalb der mineralischen Drainageschicht zum Dachaufbau hin eine Lage Drainageplatten, eine Speicherschutzmatte und ggf. ein zusätzlicher Wurzelschutz (ZinCo). Durch das Vorhandensein von Filtervlies und gesonderter Dränschicht kann aber in jedem Fall festgehalten werden, dass es sich um einen mehrschichtigen Extensivaufbau mit mineralischer Drainschüttung handelt ([FLL, 2018]).

3.2 Substratanalysen

Im Allgemeinen zeichnen sich Substrate für Extensivbegrünungen entsprechend den Ansprüchen der Vegetation und Bestimmungen zum Schutz der Dachfläche durch eine grobe Körnung, einen niedrigen Grad an organischer Substanz und Wasserspeicherung sowie ein hohes Luftvolumen aus ([ZinCo, 2021b]). Bei der Betrachtung der Vegetationstragsschicht in Abbildung 4 ist diese Grobkörnigkeit gut zu erkennen. Bei allen vier Substratproben liegt der Skelettanteil (Korngrößen > 2 mm) mit Werten zwischen 70% und 82 % im Rahmen der Empfehlungen. Die gemessene Mächtigkeit des Substrates war bei allen vier Proben im Bereich der Standardtiefen für Extensivbegrünungen, wobei in der Mitte des Daches die geringsten Schichtdicken aufgetreten sind. Eine Übersicht der Substratentnahmestellen ist in Anhang 3 einzusehen.



Abbildung 4: Links: Substratschicht der Extensivbegrünung auf dem Audimax. Zu sehen ist die Grobkörnigkeit und geringe Mächtigkeit des Substrates sowie das darunter anschließende Filtervlies. Rechts: Bestandteile des Skelettanteils.

Die Substratzusammensetzung konnte mit Produkten gängiger Anbieter (ZinCo GmbH, Bauder GmbH & Co. KG) verglichen werden. Das grobkörnige Mineralsubstrat bildet dabei die Hauptmasse und setzt sich aller Wahrscheinlichkeit nach aus einer Mischung von Tonziegel, Lava, Bims und Blähton zusammen (Abb. 4).

Der Substrat-pH-Wert liegt im schwach-sauren bis schwach-basischen Bereich (Siehe auch Tabelle 1). Um die Dominanz einzelner Arten sowie unerwünscht ausgeprägten Aufwuchs zu unterbinden, sollte der Stickstoffgehalt des Substrates 50 bis 80 mg/L nicht massiv überschreiten. Je nach Dichte der Substratzusammensetzung ergäbe das einen empfohlenen Stickstoffanteil von 0,007 bis 0.01 %. Der Gesamt-C-Gehalt liegt wesentlich über den 10%, die als Empfehlungswert für die organischen Anteile angegeben sind. Hier muss allerdings beachtet werden, dass die Werte nicht direkt vergleichbar sind, da der C-Anteil in der Organik nur etwa 50 - 58% ausmacht. Zudem setzt sich auf der anderen Seite der Gesamt-C nicht nur aus organischem, sondern auch mineralischem und elementarem Kohlenstoff zusammen. Andere Vergleichswerte standen leider nicht zur Verfügung. Für den Kalkgehalt sowie die effektive KAK und die Basensättigung (BS) liegen keine Standardwerte vor. Die über 99%ige Basensättigung sowie der pH-Wert sprechen für ein eher carbonathaltiges Feinsubstratmaterial oder aber Eintragung über Feinstäube ([Blume et al., 2011]). Dagegen stehen die äußerst geringen Kalkgehalte.

Die Originaldaten zur KAK und BS sind in Anhang 4 finden.

| Probe | S-Tiefe [cm] | Skelett [%] | Feinboden [%] | pH aq | pH CaCl2 |
|---------------------------------|--------------|-------------|---------------|-----------|----------|
| A1 | 8 | 81.70 | 18.30 | 7.20 | 6.29 |
| A2 | 8 | 75.80 | 24.20 | 7.11 | 6.59 |
| A3 | 10 | 70.90 | 29.10 | 7.47 | 6.72 |
| A4 | 12 | 81.70 | 18.30 | 6.89 | 6.21 |
| Empfehlung/ Standard | min. 4-8 | > 70 | < 30 | 6.0 - 8.5 | |

| Probe | N ges [%] | C ges [%] | Kalkgehalt [%] | KAK eff | BS [%] |
|---------------------------------|--------------|--------------------------|----------------|---------|--------|
| A1 | 0.56 | 24.8 | 0.30 | 18.00 | 99.36 |
| A2 | 0.44 | 18.8 | 0.16 | 17.23 | 99.47 |
| A3 | 0.33 | 20.8 | 0.18 | 13.61 | 99.49 |
| A4 | 0.60 | 20.9 | 0.12 | 22.31 | 99.30 |
| Empfehlung/ Standard | 0.007 - 0.01 | N. A. (< 10% Organik) | N. A. | N. A. | |

Tabelle 1: Ergebnisse der Substratanalysen. Bis auf die Substrat-Tiefe (erste Spalte) fanden alle Untersuchungen im Labor statt. KAK eff und BS wurde aus den Laborwerten berechnet.

Wichtige Substratparameter für die Dachbegrünung, die im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht wurden sind die Korngrößenverteilung, Wasserspeicherfähigkeit, Luftkapazität bzw. Porenverteilung und Salzgehalt ([FLL, 2018]). Die Untersuchungen konnten aufgrund mangelnder Material- und Raumverfügbarkeit nicht durchgeführt werden.

3.3 Temperaturmessung

Die von den Loggern dokumentierten Temperaturverläufe sind in Abb. 5 dargestellt. Der gesamte Verlauf vom 14.07. bis zum 14.09. ist in Anhang 5 einzusehen. Ein Überblick mit den Standorten der Temperaturlogger ist in Anhang 3 zu finden.

Die Kurven halten sich in einem Temperaturbereich zwischen 5 und 55 °C auf. In der Übersicht ist zu sehen, dass die täglichen Temperaturschwankungen aller Logger sehr ähnlich

verlaufen, wobei Logger 1 (Freies Substrat) insbesondere nach der zweiten Woche zwar die Kurvenform behält, vergleichsweise aber geringere Werte angibt. Deutlich erkennbar ist beim ersten Diagramm auch die Angleichung der intern und extern dokumentierten Temperaturen. Vor allem tagsüber unterscheidet sich die im Substrat gemessene Temperatur nur wenig von der bodennahen Luftschicht, nachts sinken die Werte des externen Sensors allerdings sichtlich weniger. Durchschnittlich unterscheiden sich die internen von den externen Sensormessungen um 4 K, wobei die Differenz für 71,7 % der Werte unter 5 K liegt und für 5,9 % bei über 10 K.

Bei Temperaturlogger 2 befindet sich der externe Sensor im Substrat unter einem Sedumpolster. Auf einen Blick ist im Diagramm der Effekt zu sehen: Die Amplituden der täglichen Temperaturschwankungen sind erheblich flacher als die des internen Sensors. Dieser ähnelt mit den Schwankungen im Temperaturverlauf den übrigen Kurven von Logger 1 bzw Logger 3. Sowohl tagsüber als auch nachts sind die Spitzenwerte der extern gemessenen Temperaturen weniger extrem ausgeprägt. Die Höchstwerte liegen bei 35 °C für den externen Logger, bei Logger 1 und 3 steigen die externen Messungen unter dem Substrat auf bis zu 47 °C. Die Differenz zwischen T_e (Temperatur externer Sensor) und T_i (Temperatur interner Sensor) liegt durchschnittlich bei 7 K, wobei der Unterschied für 52,1 % der Werte unter 5 K liegt und für 24,6 % über 10 K.

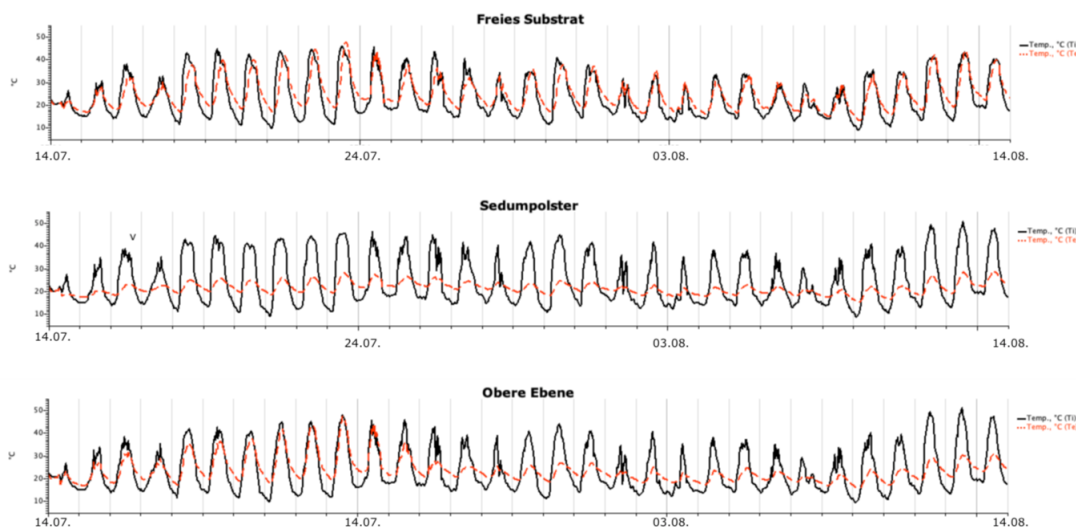


Abbildung 5: Temperaturverläufe der drei ausgebrachten Logger vom 14.07. bis zum 14.08.. T_i = Messwerte des internen Sensors (Im Gehäuse), T_e = Messwerte des externen Sensors (Im Substrat). Die Grafiken "Sedumpolster" und "Freies Substrat" bezeichnen die Logger auf der unteren Hauptfläche des Daches. Das untere Diagramm zeigt zum Vergleich die Werte des Messgerätes auf der oberen Dachebene.

Logger 3 wurde auf der oberen Dachfläche neben einer Wetterstation angebracht um Werte für einen Vergleich mit dieser zu sammeln. Leider konnten keine Zuständigkeiten für diese Station herausgefunden werden. Der externe Sensor von Logger 3 befand sich 2 Wochen lang im freien Substrat, danach wurde er wie Logger 2 ins Substrat unter einem Sedumpolster verlegt. Im Diagramm deutlich zu erkennen ist die Änderung der externen Temperaturkurve ab diesem Zeitpunkt. Diese Ergebnisse stützen die Beobachtungen zu Logger 1 und 2.

3.4 Vegetation

Die extensive Begrünung des Audimaxdaches wurde bereits in der Konzeption des Gebäudes geplant ([Weindel, 2000]). Die geplante Zielvegetation wird der charakteristischen Moos-Sedum-Begrünung zugeordnet ([Weindel, 2000], [FLL, 2018]). Auf den planerischen Grundrissen und Planskizzen im Bauantrag ist die Dachbegrünung sowohl für die Hauptfläche, als auch für die beiden Flächen auf der höheren Ebene markiert (Siehe Anhang 1). Zu bemerken ist, dass ein relativ breiter Randstreifen hier unmarkiert ist, also von der Begrünung ausgeschlossen bleiben soll. Ein solcher vegetationsfreier Dachrand "*dient der visuellen Kontrolle der Abdichtung, des Dachrandes und aufgehender Bauteile*" ([FLL, 2018]) und spielt für den Brandschutz, Spritzschutz sowie Kontroll- und Pflegearbeiten eine Rolle ([FLL, 2018]). Auf dem Audimax wird dieser Randstreifen von der geplanten Vegetationsfläche durch den unter 2 erwähnten Trittsteinweg abgegrenzt. Die Auflage besteht hier auch nicht aus dem unter 3.2 beschriebenen Substrat sondern einer Kiesschüttung. Dennoch ist die komplette Randstreifenfläche mit bis zu 100 %iger Deckung bewachsen. Insbesondere zu den Ecken der südöstlichen oberen Dachebene hin häufen sich graduell Deckung, Artenvielfalt sowie der Anteil an Spontanvegetation. Die niedrigwüchsigen und polsterartig wachsenden Arten dürfen hier trotzdem toleriert werden [FLL, 2018].

Die Flächen der geplanten Vegetation sind bis zu 50 % freies bzw. mit Moos und Flechten (siehe auch Anhang 6) bewachsenes Substrat, die Artenvielfalt fällt hier wesentlich geringer aus. Mit hoher Sicherheit setzt sich die bestandsbildende, geplante Begrünung aus folgenden Arten zusammen (vgl. auch Abb. 6):

| | | |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| <i>Phedimus hybridus</i> | Sibirische Glanzfetthenne | dichte, ± ausgedehnte Polster |
| <i>Phedimus kamtschaticus</i> | Kamtschatka-Glanzfetthenne | dichte, ± ausgedehnte Polster |
| <i>Phedimus spurius</i> | Kaukasus-Asienfetthenne | lockere, ± ausgedehnte Flecken |
| var. 'Summer Glory' | | |
| <i>Sedum sexangulare</i> | Milder Mauerpfeffer | vereinzelt/kleine Gruppen |
| <i>Sedum album</i> | Weißer Mauerpfeffer | vereinzelt/kleine Gruppen |
| var. 'Murale' | | |
| var. 'Coral Carpet' | | |



Abbildung 6: Sedumpolster als bestandsbildende Begrünung mit Sedum und Phedimus-Arten. Im Übersichtsfoto nicht zu sehen sind *S. album* und *S. sexangulare*.

Davon kommen *S. sexangulare* und *S. album* vor allem grüppchenweise am Rand des Daches vor, auf der Fläche nur einzeln oder in kleinen Gruppen. Die großblättrigen Phedimus-Arten wachsen auf der Fläche verteilt in Polstern bis ausgedehnten Flecken. Sedumarten sind sehr formenreich und existieren in vielfältigen Züchtungen ([Schmeil and Fitschen, 2011], [ZinCo, 2021a]). Die Angaben zu den Varietäten erheben daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Alle Arten wirken in ihrem Wuchs normal bis kräftig und sind in Abbildung 6 dargestellt. Detailliertere Angaben sind in der Kartierungsdokumentation in Anhang 7 zu finden, die Lage der kartierten Flächen im Überblick in Anhang 3.

Der Bereich mit der größten Dichte an Spontanvegetation ist in der anschließenden Abbildung 7 aus verschiedenen Blickrichtungen zu sehen.



Abbildung 7: Spontanvegetation in der süd-westlichen Ecke der Dachfläche aus verschiedenen Blickrichtungen. Einzelne Arten sind als Nahaufnahme abgebildet.

Eine Liste der weiteren Spontanvegetation am Randstreifen und insbesondere in den schattigen Windfängen der Ecken ist in Anhang 6 einzusehen.

Darüber hinaus fielen zwischen den *Sedum/Phedimus* Arten einige Pflanzen auf, die auf der gesamten Begrünungsfläche gleichmäßig verteilt in großen Anteilen vertreten waren:

| | | L | T | F | R |
|----------------------------|------------|---|---|---|---|
| <i>Medicago lupulina</i> | Hopfenklee | 7 | 5 | 4 | 8 |
| <i>Trifolium arvense</i> | Hasen-Klee | 8 | 6 | 3 | 2 |
| <i>Trifolium campestre</i> | Feld-Klee | 8 | 6 | 4 | 6 |
| <i>Trifolium dubium</i> | Zwerg-Klee | 8 | 6 | 3 | 6 |

Bei diesen Arten kann von einer Selbstetablierung ausgegangen werden, da nach Recherchen in gängigen Artenzusammensetzungen eine geplante Pflanzung weitgehend ausgeschlossen werden kann. *T. campestre*, *T. dubium* und *M. lupulina* traten in der Blüte zusammen im Mai auf, *T. arvense* dagegen konnte erst ab Juli beobachtet werden. In der Auflistung sind die Ellenberg-Zeigerwerte Lichtzahl (L), Temperaturzahl (T), Feuchtezahl (F) und Reaktionszahl (R) angegeben. Alle vier Arten sind (mäßig-)wärmezeigende Halblicht- bis Volllichtpflanzen, die auf (eher) trockenen Boden hinweisen. Während *T. arvense* als Starksäure- bis Säurezeiger gilt, weisen die anderen eher Basenzeigerwerte auf. Diese vier Arten sind als bestandesbildender Anteil der Spontanvegetation zu sehen.

3.5 Versuchsflächen

Spontanvegetation in Form von Moosen und Kräutern sind auf geplanten Dachbegrünungen tolerierbar, sofern diese nicht verdrängend wirken und den Gestaltungs- oder Nutzungsabsichten einer begrünten Fläche nicht entgegenstehen ([FLL, 2018]). Diese festgelegten Begrünungsbestrebungen sehen in diesem Fall eine Moos-Sedum-Flur vor. Eine Verdrängung der bestehenden Sedumarten zugunsten einer bestandesbildenden Krautbegrünung kann somit nicht das Ziel einer Versuchsfläche sein. Viel eher geht es darum, das offene Lebensraumpotential der vegetationslosen Dachareale zu nutzen. Das bestehende Artinventar kann dabei erweitert und insbesondere zugunsten der ökologischen Vielfalt verändert werden. Eine Nachrüstung von zusätzlichen Pflanzungen bedarf einer gesonderten statischen Überprüfung, sofern sich die Nutzungarten oder Parameter wie die Auflast dadurch stark ändern. Durch eine Ergänzung von Kräutern in den vegetationsfreien Flecken wird jedoch keine neue Auflast erzeugt, die nicht auch durch intensiveres Ausbreiten der bestehenden Vegetation hätte erreicht werden können. Eine geschlossene Vegetationsdecke ist darüber hinaus Ziel der meisten Extensivbegrünungen ([ZinCo, 2021a]). Die freistellenreiche Audimax-Dachfläche ist daher bestens geeignet für die Anlegung von Versuchsflächen zur Anreicherung mit gebietseigenen Wildpflanzen.

Eine Realisierung kann nach verschiedenen Ansätzen erfolgen. Im Laufe dieses Projektes wurde ein Konzept für die Anlegung von vier 1m² großen Flächen im Sinne der Biodiversität und des Artenschutzes entwickelt:

Fläche 1 dient als Vergleichs- und Beobachtungsfläche um die Veränderung der bestehenden Vegetation unbeeinflusst überwachen zu können.

Auf **Fläche 2** wird Saatgut standortangepasster Arten der Roten Liste bzw Vorwarnliste ausgebracht. Eine Saatgutmenge von etwa 1-3g ist für 1m² ausreichend. Die Samen werden auf der Oberfläche des Substrats ausgebracht (viele Lichtkeimer), leicht angewalzt um Verwehungen zu reduzieren und anschließend eingewässert.

Eine ähnliche bis gleiche Artmischung soll für **Fläche 3** in Form von Anpflanzung erfolgen. Aufgrund der tatsächlichen Verfügbarkeit wird die Auswahl zum Teil abweichen.

Für **Fläche 4** soll eine Veränderung des Substrates erfolgen, um Standortbedingungen für Arten der sauren Magerrasen zu simulieren. Dafür könnte das Substrat mit sandigen Anteilen vermischt oder für einen so kleinen Bereich auch komplett ersetzt werden [ZinCo, 2021a].

Die Liste der Artenauswahl für die jeweiligen Versuchsflächen ist in Anhängen 8 und 9 einzusehen.

Ziel der Versuchsflächen ist die Keimung und das Gedeihen der eingebrachten Arten nach 1 bis 3 Jahren mit anschließender Bestandesstabilisierung durch Selbstausbreitung. Dabei sollen die freien Substratflächen zwischen den Sedumpolstern besiedelt werden. Im Idealfall entsteht somit ein vielfältiges Artenmosaik. Nach Ausbringung der Samen und Pflanzen sollte für vier bis sechs Wochen ein regelmäßiges Wässern der Flächen erfolgen. Eine Begleitung der Flächen mit Bildokumentation und Angaben zu den angewachsenen Arten und deren Zustand sowie eine regelmäßige Überprüfung z. Bsp. alle zwei Monate sollte miteingeplant werden. Aufkeimende Arten und Wachstumsverhalten der Pflanzen sollten als Entwicklungsstadien und Erfolgskontrolle festgehalten werden. Eine Betreuung der Flächen sollte auch auf lange Zeit hin sicher gestellt werden, bevor die Umsetzung der Maßnahmen stattfindet. Diese kann z. Bsp. über Projekte oder HiWi-Stellen durch Studierende erfolgen. Generell ist ein jährlicher Kontroll- und Pflegegang durch eine Fachaufsicht nahezulegen ([FLL, 2018]).

Im Zuge der Versuchsflächenanlegung können weitere Pflegemaßnahmen erfolgen. Insbesondere der unerwünschte Spontanaufwuchs sollte dabei entfernt werden.

4. Diskussion

4.1 Technische Daten

Die Angaben wurden zum Großteil den Beschreibungen zum Neubau des Osteuropazentrums entnommen. In Bezug auf den Dachaufbau wurde der Audimax-Hörsaal explizit im Text erwähnt, was eine gleiche oder zumindest ähnliche Bauweise nahelegt. Dennoch ist festzuhalten, dass unmittelbare Originalunterlagen zu den tatsächlichen Konstruktionsplänen nicht vorlagen und die angenommenen Gegebenheiten damit nicht vollständig verifiziert werden können. Bei der Begrünungsplanung ist davon auszugehen, dass ein etwas abweichender Schichtbau gewählt wurde. Insbesondere Unterlagen zur Entwässerung und weiteren technischen Einbauten wären noch von Bedeutung um schließlich fundierte Aussagen zu den nötigen Pflegemaßnahmen und den Grenzen des Intensivierungspotentials der Begrünung treffen zu können.

4.2 Substratanalysen

Die durchgeführten Analysen richteten sich in erster Linie nach den zeitlich und technisch verfügbaren Methoden und konnten weniger nach ihrer Bedeutung und Sinnhaftigkeit ausgewählt werden. Auffällig sind z. Bsp. die KAK-Werte, die sich bei den vier Proben stark unterscheiden. Dies könnte am Dachgefälle liegen, wodurch Stoffe in der flachen Dachmitte gehalten werden, auf dem Weg zu Rand hin mit zunehmendem Neigungsabfall aber verlagert werden (geringste KAK) um sich dann am Rand wieder abzulagern (höchste KAK). Die effektive KAK ist außerdem im Wesentlichen vom Feinerdeanteil (< 30 %) und der Korngrößenverteilung abhängig, welche nicht bestimmt wurde. Der große Skelettanteil mit Korngrößen von teilweise über 20 mm erschwert eine zuverlässige Interpretation der gegebenen Werte. In den groben Poren der Bims und Lavastücke sammelt sich außerdem eine Menge des Feinsubstrates, welches also bei den Analysen ebensowenig untersucht werden konnte. Auch fehlen geeignete Vergleichswerte um die Ergebnisse gröbentechnisch einzuordnen und zu bewerten. Bezüglich der Stickstoffangaben ist zu erwähnen, dass die Literaturwerte hier den Stickstoffgehalt nach VDLUFA, also den löslichen mineralischen Stickstoff, angeben und nicht, wie bei den Messergebnissen der Proben, den Gesamtgehalt. Ebenso verhält es sich in Bezug auf den Kohlenstoffgehalt, in den zwar 50 - 58 % der Gesamtorganik einfließen, der sich jedoch zudem aus mineralischem und elementarem C-Gehalten zusammensetzt. Festzuhalten ist jedoch, dass das Dachsubstrat wesentlich basengesättigter ist als angenommen wurde, wofür auch der pH-Wert spricht. Generell lagen alle zuverlässig vergleichbaren Werte im Bereich der Empfehlungen und Standards aus den FFL-Richtlinien. Gesamt-Stickstoff und Gesamt-Kohlenstoff liegen vermutlich aufgrund der unterschiedlichen Analysemethoden bei wesentlich höheren Werten. Für eine Wiederholung bzw. weitere Dachsubstratanalysen sollten basierend auf den für die FLL-Angaben verwendeten Analysen passendere Methoden ausgewählt sowie weitere Parameter untersucht werden:

- Nährstoffe nach VDLFUA A 6.x.x.x (je nach Nährstoff)

- Gehalt an organischer Substanz
- Wasserspeicherkapazität und Wasserdurchlässigkeit
- Luftkapazität und Gesamtporenvolumen
- Korngrößenverteilung
- Rohdichte
- Salzgehalt

4.3 Temperaturmessung

Der Wertebereich der gemessenen Temperaturen von 5° bis 55°C ist als plausibel einzustufen ([Ministerium für Wirtschaft, 2021]). Aufgrund der fehlenden Vergleichswerte der Wetterstation wurde auf absolute Aussagen verzichtet und nur relativ über die Ergebnisse gesprochen. Ohne Vergleichsdaten ist die Aussagenkonfidenz zu hinterfragen. Da für eine einwandfreie Messung die externen Sensoren der Logger einen guten Substratkontakt benötigen, könnte die Grobkörnigkeit außerdem zu verfälschten Messungen geführt haben. Auch Niederschlagsereignisse beeinflussen die Messung durch die im feuchten Substrat veränderte Wärmeleitfähigkeit. Dennoch bilden die Ergebnisse ein sehr klares Bild ab. Deutlich sind die mildernden Auswirkungen der Vegetationsdecke für den Ausgleich täglicher Temperaturschwankungen im Boden zu erkennen. Das flacht nicht nur mikroklimatische Temperaturspitzen ab, sondern dient auch dem Material- und Bauwerksschutz und macht den Substratboden zum potentiellen Lebensraum. Dabei ist der kühlende Effekt tagsüber wesentlich aussagekräftiger als die wärmehaltenden Effekte nachts, die auch beim freien Substrat aufgetreten sind. Die ausgleichenden Wirkungen lassen sich auf die erhöhte Feuchtigkeit durch Transpiration und bodenwasserhaltende Wurzeln sowie direkte Beschattung und Wärmedämmung durch das Sedumpolster zurückführen.

Für weitere Interpretationen können Signifikanztests oder Datenvergleiche anderer Dachbegrünungen oder Wetterstationen durchgeführt werden.

4.4 Vegetation

Die sedumdominierte Dachfläche ist Zielvegetation der geplanten Begrünung. Als bestandesbildend haben sich Arten von *Trifolium* und *Medicago* selbst etabliert, die an die trockenen Voraussetzungen angepasst sind. Die Wände am Dachrand bilden einen Windfang und bieten Schatten und Feuchtigkeit, was die Sammlung von angetragenem Saatgut und dessen Etablierung fördert. Dadurch konnte es besonders dort zu vermehrtem und deckungsreichen Spontanaufwuchs kommen. Die dabei aufgekommenen Gehölze sind keine Keimlinge mehr, sondern wachsen seit mindestens 3 bis 5 Jahren auf der Fläche. Das lässt auch vermuten, dass eine regelmäßige Pflege und Kontrolle der Begrünung nach der Fertigstellungspflege nicht stattgefunden hat.

4.5 Versuchsflächen

Da die vorhandene Begrünung bereits geplant, genehmigt und angelegt wurde, ist davon auszugehen, dass ein passender Extensivschichtaufbau gewählt wurde, der auch für krautige Arten geeignet sein muss, solange diese mit einer Substrattiefe von 8 bis 12 cm zurechtkommen. Die Lastenannahmen für Extensivpflanzungen liegen unabhängig von den gängigen Artenzusammenstellungen bei 0.10 KN/m² bzw 10 kg/m² ([FLL, 2018], S. 117). Einer Anreicherung mit Dachkräutern spricht also auch hinsichtlich der zusätzlichen Auflast nichts entgegen. Zudem ist die geschlossene Vegetationsschicht eine

Zielangabe von Sedumbegrünungen. Die FLL sieht dabei eine 90%ige projektive Boden- deckung nach etwa zwei bis drei Jahren der Fertigstellungs- und Entwicklungspflege vor ([FLL, 2018]). Zum Einen weist die geringere Dichte der Vegetationsdecke auf eventuell nicht (vollständig) erfolgte Pflegearbeiten hin. Zum Anderen liefert dieser Zustand einen weiteren Anreiz, die Freistellen nachzubegrünen und so das vorhandene Potential zu nutzen.

Für eine Anlegung von Versuchsflächen können die erforderlichen Bestimmungen ein- gehalten werden, sodass eine Beschädigung der Dach- und Begrünungskonstruktion durch die Veränderungen ausgeschlossen sind. Die Artauswahl basiert auf der Anwendung öko- logischer Parameter (Ellenberg-Zeigerwerte, ökologische Strategietypen) in Abgleich mit den Erkenntnissen der selbstetablierten Arten sowie Angaben und Empfehlungen aus der Fachliteratur. Ein Anwuchserfolg ist von verschiedenen, einander beeinflussenden Faktoren abhängig und kann besonders für jede Einzelart niemals zweifellos garantiert werden. Bei zuverlässiger Anwuchspflege und regelmäßiger Kontrolle sollten jedoch Erfolge und Ergeb- nisse bestimmter Art verzeichnet werden können. Im Idealfall würde sich die Zielvegetation für eine hypothetisch komplette Dachfläche von einer artenarmen Moos-Sedum-Begrünung zu einer artenreicheren Kraut-Sedum-Begrünung mit erweiterten Funktionen im Sinne des Nahrungs- und Habitatangebots, der Artenvielfalt und des Artenschutzes verändern. Im Mindesten aber werden die gewonnenen Erkenntnisse aufzeigen, welche Form der Artenein- führung langfristig zuverlässiger funktioniert und inwiefern die Veränderung des Substrates zu einer Erweiterung des potentiellen Artenkataloges führen kann.

5. Fazit

Die angewandten Methoden konnten zeigen, dass eine zusätzliche Begrünung nicht nur möglich, sondern auch in vielerlei Hinsicht sinnvoll ist. Durch eine geschlosseneren Vegetationsdecke werden die positiven Dachbegrünungseffekte des Temperatenausgleiches und der Regenwasserretention verstärkt. Das Potential der Fläche könnte im Sinne des Artenschutzes und der Biodiversität ausgeschöpft werden.

Hierfür ist im ersten Schritt die Anlegung der Versuchsfächen zu realisieren. Das vielversprechendste Konzept kann ausgebaut und in größerem Maße - für die gesamte Dachfläche - umgesetzt werden. Durch einen obligatorischen einjährigen Kontroll- und Pflegegang kann die Fläche langfristig erhalten bleiben und sich im Rahmen der sicherheitstechnischen Möglichkeiten weiterentwickeln.

Auch für weitere Extensivbegrünungen - auf dem KIT-Campus und allgemein - können die hier vorliegenden und im Laufe der Aufwertungsarbeiten noch entstehenden Erkenntnisse genutzt werden. Denn insbesondere in Hinblick auf die bereits erfolgenden und vermutlich noch kommenden Klimaveränderungen und Artenverluste ist jede Ausgleichschance wahrzunehmen.

6. Ausblick und Resultat

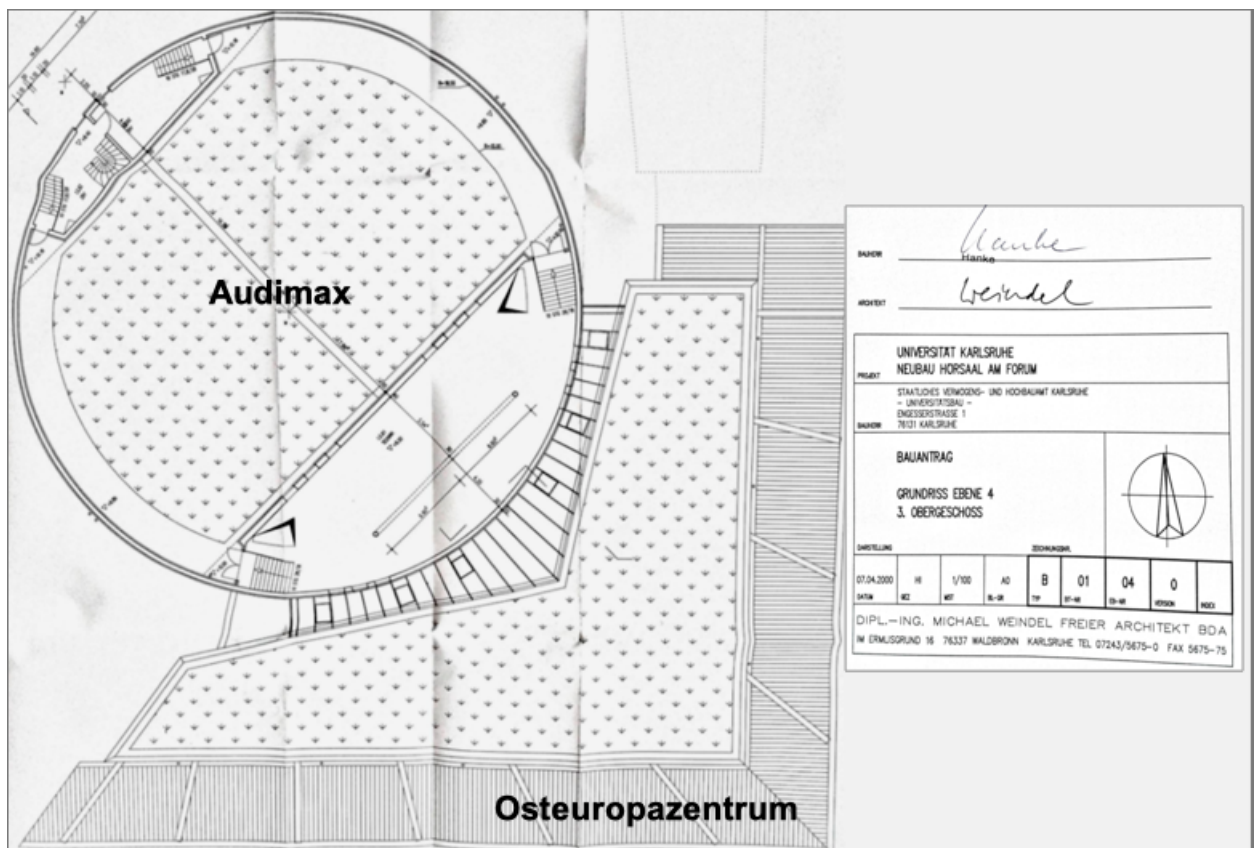
Der erarbeitete Vorschlag für eine Versuchsflächenanlegung soll mit den zuständigen Instanzen abgestimmt und im Idealfall zeitnah umgesetzt werden. Schon aufgrund der Dauer für eine Bestellung des Saat- und Pflanzgutes (Lieferzeit bis zu drei Wochen) und die anschließende Nachpflege (1-2 Monate) ist eine Realisierung im Rahmen dieses zeitlich begrenzten Forschungsprojektes nicht möglich. Eine Ausbringung und Anpflanzung sollte daher auf das Frühjahr 2022 angestezt werden. Die Bestellung der Samen kann noch im Winter 2021 erfolgen, die der Pflanzenballen im März/April der kommenden Jahres. Bis dahin können sowohl finanzielle Mittel und rechtliche Rahmenbedingungen als auch Verantwortlichkeiten geklärt werden. Vorstellbar ist beispielsweise die Einbindung in eine Masterarbeit oder ein weiteres Forschungsprojekt im Zuge einer Studienleistung, die Einstellung einer wissenschaftlichen Hilfskraft oder eine Durchführung in einem Netzwerk von verantwortlichen Personen. Auch die langfristige Beobachtung und Auswertung der Versuchsflächen muss gesichert werden.

Eine Entfernung der unerwünschten Spontanvegetation, insbesondere der Gehölze, soll bereits im Vorfeld erfolgen um eine weitere Ausbreitung zu verhindern. Dies kann und soll als Nachleistung zum Projekt stattfinden. Darüber hinaus sollte vom Projekt unabhängig ein regelmäßiger (z. Bsp. einjähriger) Pflege- und Kontrollgang im Sinne der Unterhaltungspflege durch Fachpersonal erfolgen.

Im Zuge des Teilmoduls *Forschungsprojekt Ökologie* durfte ich ein aus ökologischer und planerischer Sicht bedeutsames und aktuelles Thema bearbeiten. Ich konnte meine Kenntnisse in Vegetationsökologie und Biodiversitätsforschung erweitern und in Bezug auf anthropogen geprägte Vegetationsbestände setzen. Durch die Auseinandersetzung ineinandergreifender Arbeitsbereiche habe ich intensive Einblicke in reale Prozesse, Möglichkeiten und Grenzen von gängigen Methoden erhalten. So konnte ich insbesondere meine planungstechnischen und forschungspraktischen Fähigkeiten erproben.

Anhang

- 1 Grundriss der Dachebene des Audimax-Hörsaals aus den Plänen des Bauantrages.



Quelle: [Weindel, 2000]

2 Auszüge aus der Leistungsbeschreibung für den Neubau des Ost-europazentrums zum Dachaufbau

11.01 Abdichtung von Dachflächen,

Dachaufbau mit Wärmedämmung, nicht durchlüftet,
Dachneigungsgruppe I, als Flachdach.

Untergrund Beton (Ort: Dach Hörsaal / Rundling)
oder

Untergrund Trapezblech ausbetoniert (Ort: Dach Eingangshalle)

Voranstrich aus Bitumenlösung.

Trenn-/Ausgleichsschicht

aus Glasvlies-Bitumendachbahnen DIN 52 143 - V 13,
jedoch Unterseite grob bestreut, punkt- oder streifenweise heiss kleben.
mit vollflächig geklebten Nahtüberdeckungen.

Dampfsperrschicht

aus Bitumen-Schweissbahnen DIN 52 131, jedoch
Al 0,1 + G 200 S 5 (5 mm dick), mit Aluminiumbandeinlage 0,1 mm dick und
Glasgewebeeinlage 200 g/m², vollflächig kleben.

Wärmedämmschicht

im Bereich Halle als Gefälledämmung ausgebildet,

aus Polystyrol-Hartschaum,

expandiert, PS 30, TYP PSP-WD-040

vollflächig geklebt.

Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040.

1. Lage der Dachabdichtung selbstklebend,
dampfdruckentspannend,
aus Polymerbitumenbahnen PYE, ca. 3 mm dick,
mit Glasgewebe /-Vlies Kombieeinlage

2. Lage der Dachabdichtung
vollflächig kleben/schweissen,
aus Polymerbitumenschweißbahnen DIN 52133 PYE
- PV 200 S 5 (5 mm dick) mit Polyestervlieseinlage
200/250 g/m²

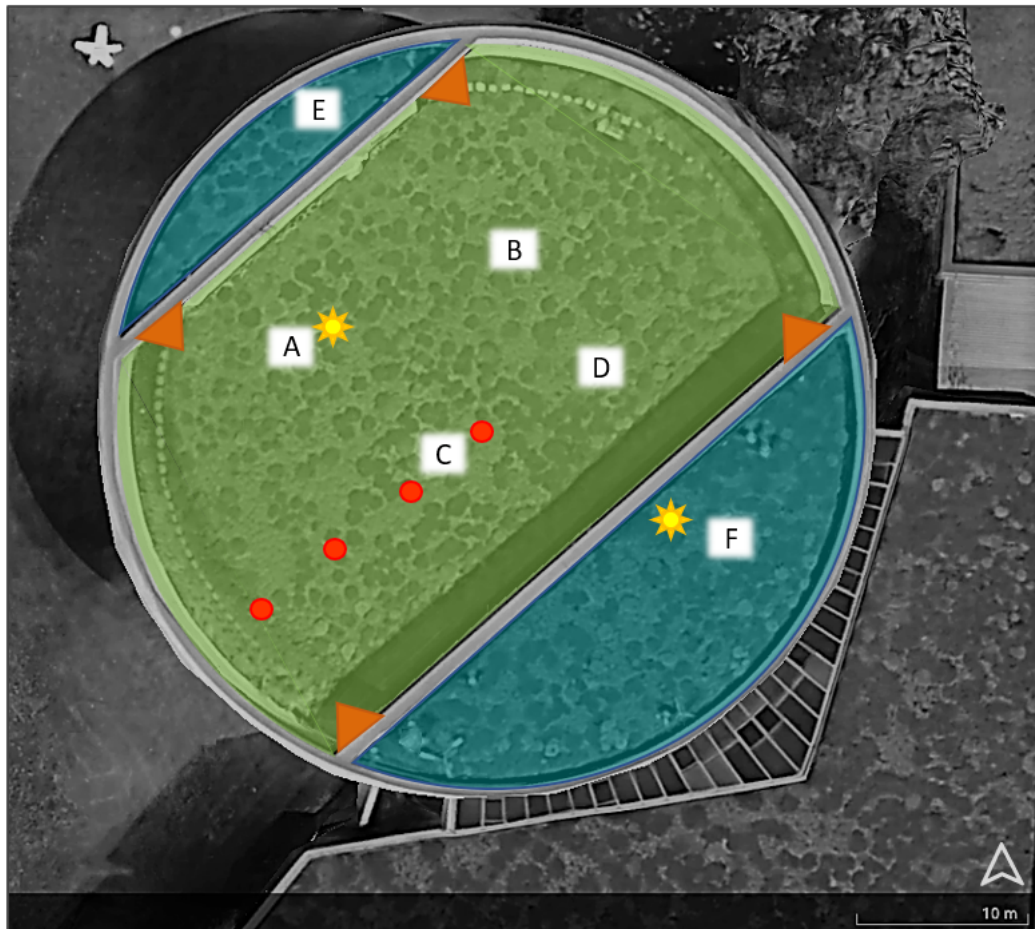
3. Lage der Dachabdichtung
vollflächig kleben/schweissen,
aus Polymerbitumenschweißbahnen DIN 52133 PYE
- PV 200 S 5 (5 mm dick) mit Metallbandeinlage,
200/250 g/m²,
wurzelfest mit FLL-Prüfzeugnis,
beschiefert







Schutzlage

aus Gummischnitzelmatte, d = 10 mm

Quelle: [Karlsruhe, 2001]

3 Aufsicht des Audimax-Daches mit Überblick der angewandten Methoden auf der Fläche



| | | | |
|---|--------------------------------------|---|-------------------|
|  | Hauptdachfläche |  | Zugang |
|  | Nebendachflächen |  | Substratprobe |
|  | Kartierte Flächen (1m ²) |  | Temperaturmessung |

Kartengrundlage: Stadt Karlsruhe VLW, Geobasis-DE/BKG ©2009.

4 Basisdaten und Berechnungen für die effektive Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung

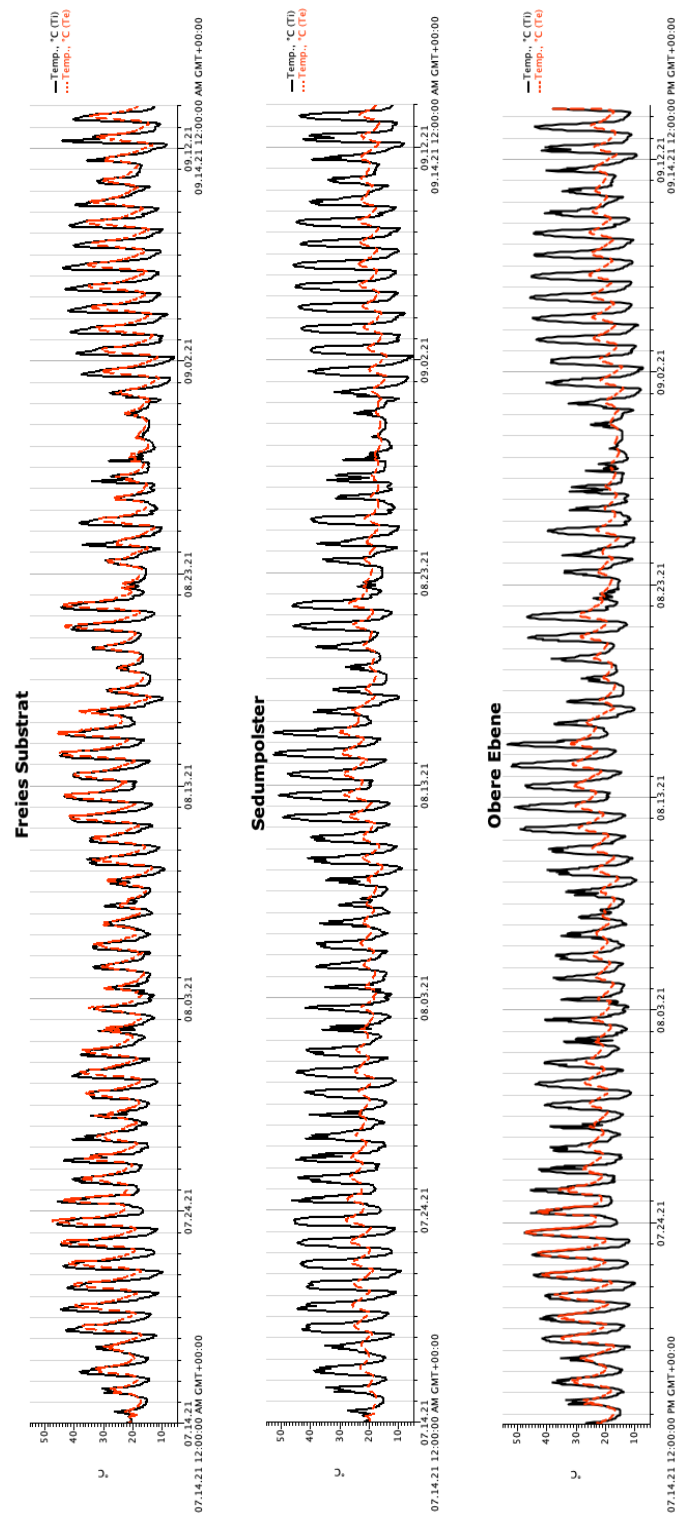
| Solution Label | Al | Ba | Ca | Cu 327.395 nm mg/L | Fe 238.204 nm mg/L | K 766.491 nm mg/L | Mn 257.610 nm mg/L | Na 589.592 nm mg/L | Zn 213.857 nm mg/L | |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|
| | 396.152 nm mg/L | 455.403 nm mg/L | 396.847 nm mg/L | | | | | | | |
| Audimax 1 | 0,4562 | 1,4087 | 163,3345 | 0,004 | 0,2317 | 17,1035 | 6,6333 | 0,0252 | 0,9869 | 0,0063 |
| Audimax 2 | 0,3588 | 1,2721 | 151,0427 | 0,0023 | 0,1878 | 19,7739 | 6,4063 | 0,0257 | 1,2213 | 0,0044 |
| Audimax 3 | 0,2826 | 0,8396 | 119,7283 | 0,0026 | 0,147 | 16,8949 | 5,4909 | 0,0153 | 1,0464 | 0,0089 |
| Audimax 4 | 0,5874 | 1,2152 | 190,4789 | 0,0051 | 0,3243 | 32,6729 | 9,616 | 0,0407 | 1,3705 | 0,0073 |
| Blind 1 | 0,0121 | -0,0089 | 0,0398 | -0,0019 | 0,0456 | -0,0019 | -0,0038 | -0,0041 | -0,0531 | 0,0018 |
| Blind 2 | 0,0129 | -0,0076 | 0,0638 | -0,002 | 0,0454 | -0,0101 | 0,0016 | -0,0034 | -0,0294 | 0,0045 |
| Blind 3 | 0,0121 | -0,0022 | 0,2198 | -0,0021 | 0,0468 | -0,0092 | 0,0009 | -0,0042 | 0,0295 | 0,0039 |
| Blind 4 | 0,0116 | -0,0091 | 0,0512 | -0,0026 | 0,0452 | -0,0189 | -0,0024 | -0,0042 | -0,0405 | 0,0047 |
| Molmasse g/mol | 27 | 137,3 | 40 | 63,5 | 55,8 | 39,1 | 24,3 | 55 | 23 | 65,4 |
| Ladungen | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 |

| Kation mg/kg | = (Kation [mg/L] - Blindwert) x Verdünnung x Vol Extrakt [ml] / Einwaage | | | | | | | | | |
|--------------|--|--------|----------|-------|-------|---------|---------|-------|--------|--------|
| Audimax 1 | 8,640 | 27,580 | 3176,940 | 0,115 | 3,621 | 332,790 | 129,126 | 0,570 | 20,233 | 0,088 |
| Audimax 2 | 6,863 | 25,391 | 2995,613 | 0,085 | 2,825 | 392,540 | 127,077 | 0,577 | 24,815 | -0,002 |
| Audimax 3 | 5,304 | 16,506 | 2343,304 | 0,092 | 1,965 | 331,453 | 107,647 | 0,382 | 19,939 | 0,098 |
| Audimax 4 | 11,379 | 24,196 | 3763,393 | 0,152 | 5,516 | 646,083 | 190,087 | 0,887 | 27,885 | 0,051 |

| Kation molc/kg | = Kation [mg/kg] / Molmasse [mg/mol] x Zahl der Ladungen x 100 | | | | | | | | | |
|----------------|--|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Audimax 1 | 0,096 | 0,040 | 15,885 | 0,000 | 0,019 | 0,851 | 1,063 | 0,002 | 0,088 | 0,000 |
| Audimax 2 | 0,076 | 0,037 | 14,978 | 0,000 | 0,015 | 1,004 | 1,046 | 0,002 | 0,108 | 0,000 |
| Audimax 3 | 0,059 | 0,024 | 11,717 | 0,000 | 0,011 | 0,848 | 0,886 | 0,001 | 0,087 | 0,000 |
| Audimax 4 | 0,126 | 0,035 | 18,817 | 0,000 | 0,030 | 1,652 | 1,565 | 0,003 | 0,121 | 0,000 |

| KAKeff = (K, Na, Mg, Ca, Fe, Al) | BS% = (K, Na, Mg, Ca)/KAKeff x 100 | | | | Einwaagen [g]: | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|------|--------|-----------|----------------|--|--|--|
| KAKeff 1 | 18,002 | BS 1 | 99,359 | Audimax 1 | 2,57 | | | |
| KAKeff 2 | 17,227 | BS 2 | 99,469 | Audimax 2 | 2,52 | | | |
| KAKeff 3 | 13,606 | BS 3 | 99,489 | Audimax 3 | 2,55 | | | |
| KAKeff 4 | 22,311 | BS 4 | 99,300 | Audimax 4 | 2,53 | | | |

5 Komplette Darstellung der aufgenommenen Temperaturverläufe



Temperaturverläufe der drei ausgebrachten Logger vom 14.07. bis zum 14.09.. T_i = Messwerte des internen Sensors (Im Gehäuse), T_e = Messwerte des externen Sensors (Im Substrat). Die Datumsachse ist in der Voreinstellung des HOBO-Programms dargestellt: MM.DD.YY..

6 Gesamtliste aller auf dem Dach aufgenommenen Pflanzenarten mit Moosen und Flechten

| Wissenschaftlicher Name | Deutscher Name | Häufigkeit | Entfernung Notwendig |
|--|------------------------------|------------|-------------------------|
| Geplante Vegetation | | | |
| <i>Phedimus spurius</i> (M. Bieb.) 't Hart | Kaukasus-Asienfetthenne | | |
| <i>Phedimus hybridus</i> (L.) 't Hart | Sibirische Glanzfetthenne | | |
| <i>Phedimus kamtschaticus</i> (Fisch.) 't Hart | Kamtschatka-Glanzfetthenne | | |
| <i>Sedum album</i> L. | Weiße Fetthenne | | |
| <i>Sedum sexangulare</i> L. | Milder Mauerpfeffer | | |
| Spontanvegetation | | | |
| <i>Acer campestre</i> L. | Feldahorn | + | x |
| <i>Acer platanoides</i> L. | Spitzahorn | + | x |
| <i>Asplenium ruta-muraria</i> L. | Mauerraute | + | |
| <i>Calamagrostis epigeios</i> L. | Land-Reitgras | 1 | x |
| <i>Cornus sanguinea</i> L. | Roter Hartriegel | + | x |
| <i>Dianthus armeria</i> L. | Raue Nelke | + | |
| <i>Dryopteris filix-mas</i> L. | Gemeiner Wurmfarne | + | x |
| <i>Erigeron annuus</i> L. | Einjähriges Berufkraut | 1 | |
| <i>Hedera helix</i> L. | Gemeiner Efeu | + | (x) |
| <i>Hieracium</i> sp. | Habichtskraut | 1 | |
| <i>Hylotelephium spectabile</i> (Boreau) H. Ohba | Prächtige Fetthenne | + | (x) |
| <i>Hypochaeris radicata</i> L. | Gewöhnliches Ferkelkraut | + | |
| <i>Lactuca muralis</i> (L.) Dumort | Mauerlattich | 1 | (x) |
| <i>Lonicera</i> sp. | Heckenkirsche | + | x |
| <i>Medicago lupulina</i> L. | Hopfenklee | 2a | |
| <i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold&Zucc.) Planch. | Dreilappige Jungfernrebe | + | (x) |
| <i>Plantago lanceolata</i> L. | Spitzwegerich | 1 | |
| <i>Plantago major</i> L. | Breitwegerich | 1 | |
| <i>Prunus avium</i> L. | Vogel-Kirsche | + | x |
| <i>Taraxacum</i> sp. | Löwenzahn | + | (x) |
| <i>Trifolium arvense</i> L. | Hasen-Klee | 2a | |
| <i>Trifolium campestre</i> Schreb. | Feld-Klee | 2a | |
| <i>Trifolium dubium</i> Sibth. | Zwerg-Klee | 2a | |
| <i>Ulmus</i> sp. | Ulme | + | x |
| <i>Veronica arvensis</i> L. | Feld-Ehrenpreis | 1 | |
| <i>Vicia angustifolia</i> L. | Schmalblättrige Wicke | 1 | |
| <i>Vicia hirsuta</i> (L.) Gray | Rauhaarige Wicke | 1 | |
| Moose/Flechten | | | |
| <i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid. | Purpurstieliges Hornzahnmoos | | |
| <i>Cladonia fimbriata</i> (L.) Fr. | Trompetenflechte | | |
| <i>Cladonia portentosa</i> (Dufour) Coem. | Ebenästige Rentierflechte | | |
| <i>Cladonia spec.</i> | | | |
| <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt. | Rotstängelmoos | | |
| <i>Rhytidiadelphus loreus</i> (Hedw.) Warnst. | Riemenstengel-Kranzmoos | | |
| <i>Rhytidiadelphus squarrosus</i> (Hedw.) Warnst. | Sparriges Kranzmoos | | |
| <i>Rhytidium rugosum</i> (Hedw.) Kindb. | Runzelmoos | | |

Die Angaben zur Häufigkeit erfolgen nach der erweiterten Braun-Blanquet-Skala. Gehölze sind ausschließlich als Keimlinge oder Jungpflanzen vertreten. Arten mit dem Vermerk (x) sind zwar nicht unmittelbar schädigend für die Dachkonstruktion, eine Entfernung sollte dennoch aufgrund ihres Wuchsortes überprüft werden.

7 Aufnahmebogen der kartierten Dachflächen

| Kartierung Dachbegrünung Audimax | | | | |
|---|--|--------------------------------|----------------------------|----------------|
| Maria Höver | | | | |
| 26.07.21 | | | | |
| Von der Mitte des Daches wurde viermal per Zufallswurf eine 1 qm große Fläche aufgenommen. Für die oberen Flächen erfolgte je ein Zufallswurf vom Rand aus. | | | | |
| Die Deckungsabschätzung erfolgte nach der erweiterten Braun-Blanquet-Skala. | | | | |
| | | Wissenschaftlicher Name | Deutscher Name | Deckung |
| Fläche A | | | | |
| | | <i>Phedimus kamtschaticus</i> | Sibirische Glanzfetthenne | 3 |
| Gesamtdeckung % | | <i>Phedimus spurius</i> | Kamtschatka-Glanzfetthenne | 2b |
| Kraut: 3 | | <i>Sedum album</i> | Weißer Fetthenne | 1 |
| M/F: 3 | | <i>Sedum sexangulare</i> | Milder Mauerpfeffer | 2m |
| Frei: 3 | | <i>Trifolium arvense</i> | Hasenklees | 2a |
| Fläche B | | | | |
| | | <i>Phedimus hybridus</i> | Kaukasus-Asienfetthenne | 1 |
| Gesamtdeckung % | | <i>Phedimus kamtschaticus</i> | Sibirische Glanzfetthenne | 4 |
| Kr: 5 | | <i>Phedimus spurius</i> | Kamtschatka-Glanzfetthenne | 2m |
| M/F: 2a | | <i>Sedum sexangulare</i> | Milder Mauerpfeffer | 1 |
| Frei: 1 | | <i>Trifolium arvense</i> | Hasenklees | 2a |
| Fläche C | | | | |
| | | <i>Phedimus hybridus</i> | Kaukasus-Asienfetthenne | 1 |
| Gesamtdeckung % | | <i>Phedimus kamtschaticus</i> | Sibirische Glanzfetthenne | 1 |
| Kraut: 4 | | <i>Phedimus spurius</i> | Kamtschatka-Glanzfetthenne | 4 |
| M/F: 3 | | <i>Sedum sexangulare</i> | Milder Mauerpfeffer | 1 |
| Frei: 1 | | <i>Trifolium arvense</i> | Hasenklees | 1 |
| Fläche D | | | | |
| | | <i>Phedimus hybridus</i> | Kaukasus-Asienfetthenne | 3 |
| Gesamtdeckung % | | <i>Phedimus kamtschaticus</i> | Sibirische Glanzfetthenne | 3 |
| Kraut: 5 | | <i>Phedimus spurius</i> | Kamtschatka-Glanzfetthenne | 1 |
| M/F: 2a | | <i>Sedum sexangulare</i> | Milder Mauerpfeffer | 1 |
| Frei: 1 | | <i>Trifolium arvense</i> | Hasenklees | 2a |
| Fläche E (oben Nord) | | | | |
| | | <i>Phedimus hybridus</i> | Kaukasus-Asienfetthenne | 3 |
| Gesamtdeckung % | | <i>Phedimus kamtschaticus</i> | Sibirische Glanzfetthenne | 3 |
| Kraut: 4 | | <i>Phedimus spurius</i> | Kamtschatka-Glanzfetthenne | 1 |
| M/F: 2b | | <i>Sedum sexangulare</i> | Milder Mauerpfeffer | 1 |
| Frei: 1 | | <i>Trifolium arvense</i> | Hasenklees | 2m |
| Fläche F (oben Süd) | | | | |
| | | <i>Phedimus hybridus</i> | Kaukasus-Asienfetthenne | 3 |
| Gesamtdeckung % | | <i>Phedimus kamtschaticus</i> | Sibirische Glanzfetthenne | 2a |
| Kraut: 4 | | <i>Phedimus spurius</i> | Kamtschatka-Glanzfetthenne | 2a |
| M/F: 3 | | <i>Sedum album</i> | Weißer Fetthenne | 1 |
| Frei: 1 | | <i>Sedum sexangulare</i> | Milder Mauerpfeffer | 2m |
| | | <i>Trifolium arvense</i> | Hasenklees | 2a |

8 Artenauswahl für die Versuchsfelder, Tabelle 1/2

| Name | Status | Eignung/Bedeutung | Preis per Stück/ Sampportion [€] |
|---|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Fläche 2 - Saatgut | | | |
| <i>Anthemis tinctoria</i> Färber-Hundskamille | - | TZ, Insekten | 2,00 |
| <i>Anthericum ramosum</i> Ästige Graslilie | besonders geschützt | TZ | 2,20 |
| <i>Armeria maritima</i> Grasnelke | besonders geschützt | | 1,70 |
| <i>Clinopodium vulgare</i> Wirbeldost | - | Insekten | 1,70 |
| <i>Dianthus carthusianorum</i> Kartäusernelke | besonders geschützt | TZ, Insekten | 2,00 |
| <i>Helianthemum nummularium</i> Sonnenröschen | Vorwarnliste | Insekten | 2,00 |
| <i>Hieracium pilosella</i> Kleines Habichtskraut | - | Insekten | 2,20 |
| <i>Prunella grandiflora</i> Große Braunelle | Vorwarnliste | TZ, Insekten | 1,70 |
| <i>Salvia pratensis</i> Wiesensalbei | Vorwarnliste | TZ, Hummeln, Insekten | 1,70 |
| <i>Sanguisorba minor</i> Kleiner Wiesenknopf | - | TZ, Insekten | 1,70 |
| <i>Teucrium chamaedrys</i> Edel-Gamander | - | TZ, Hummeln | 2,00 |
| <i>Thymus pulegioides</i> Arznei-Thymian | - | Schmetterlinge | 1,90 |
| <i>Verbascum phoeniceum</i> Purpur-Königskerze | Stark gefährdet | TZ | 1,70 |
| <i>Veronica teucrium</i> Großer Ehrenpreis | Vorwarnliste | TZ | 1,90 |
| Fläche 2 – Pflanzgut | | | |
| <i>Anthemis tinctoria</i> Färber-Hundskamille | - | TZ, Insekten | 0,99 |
| <i>Anthericum ramosum</i> Ästige Graslilie | besonders geschützt | TZ | 3,40 |
| <i>Armeria maritima</i> Grasnelke | besonders geschützt | | 0,99 |
| <i>Dianthus carthusianorum</i> Kartäusernelke | besonders geschützt | TZ, Insekten | 0,99 |
| <i>Helianthemum nummularium</i> Sonnenröschen | Vorwarnliste | Insekten | 0,99 |
| <i>Petrohragia saxifraga</i> Felsennelke | gefährdet | TZ, Insekten | 0,99 |
| <i>Prunella grandiflora</i> Große Braunelle | Vorwarnliste | TZ, Insekten | 3,40 |
| <i>Salvia pratensis</i> Wiesensalbei | Vorwarnliste | TZ, Hummeln, Insekten | 2,80 |
| <i>Teucrium chamaedrys</i> Edel-Gamander | - | TZ, Hummeln | 0,99 |
| <i>Teucrium montanum</i> Berg-Gamander | Vorwarnliste | TZ | 3,90 |
| <i>Thymus pulegioides</i> Arznei-Thymian | - | Schmetterlinge | 3,40 |
| <i>Thymus serpyllum</i> Sand-Thymian | Vorwarnliste | TZ, Schmetterlinge | 0,99 |
| <i>Veronica teucrium</i> Großer Ehrenpreis | Vorwarnliste | TZ | 0,99 |

Die Auflistung ist abgestimmt auf verfügbare Arten von Anbietern und stellt eine veränderbare Auswahl dar. Die Preise sind abzüglich der Versandkosten angegeben. Angaben zur Eignung und Bedeutung sind in erster Linie den Angaben auf www.floraweb.de entnommen und erheben ebenfalls keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

9 Artenauswahl für die Versuchsfelder, Tabelle 2/2

| Name | Status | Eignung/Bedeutung | Preis per Stück/ Sampportion [€] |
|--|---|--------------------|-------------------------------------|
| Fläche 4 – Substratänderung „Sandmagerrasern“ | | | |
| <i>Aira caryophylla</i> Nelken-Haferschmiele | Vorwarnliste | - | - |
| <i>Alyssum montanum</i> Berg-Steinkraut | gefährdet, besonders geschützt | TZ | - |
| <i>Antennaria dioica</i> Katzenpfötchen | gefährdet, besonders geschützt | - | 2,20 |
| <i>Dianthus deltoides</i> Heidenelke | besonders geschützt | TZ | 2,00 |
| <i>Hieracium aurantiacum</i> Orangerotes Habichtskraut | - | | 2,00 |
| <i>Jasione montana</i> Bergsandglöckchen | - | TZ, Schmetterlinge | 2,00 |
| <i>Jurinea cyanoides</i> Sand-Silberscharte | Stark gefährdet, streng geschützt | TZ | - |
| <i>Potentilla aurea</i> Gold-Fingerkraut | - | - | - |
| <i>Rumex acetosella</i> Kleiner Sauerampfer | - | Schmetterlinge | - |
| <i>Silene conica</i> Kegel-Leimkraut | gefährdet | TZ | - |
| <i>Silene oitides</i> Ohrlöffel-Leimkraut | gefährdet | TZ | - |
| <i>Teesdalia nudicaulis</i> Bauernsenf | - | TZ | - |
| <i>Veronica officinalis</i> Echter Ehrenpreis | - | - | 1,70 |
| <i>Vicia lathyroides</i> Platterbsenwicke | Vorwarnliste | TZ | - |
| Preise über Onlineshops: | Hof-Berggarten – shop.hof-berggarten.de Dachbegrünung – www.dach-begruenung.de | | |

Die Auflistung stellt eine veränderbare Auswahl dar. Die Verfügbarkeiten dieser Arten sind eingeschränkt. Eventuell muss Saatgut über botanische Gärten angefragt oder eigenständig gesammelt werden. Die Preise sind abzüglich der Versandkosten angegeben. Angaben zur Eignung und Bedeutung sind in erster Linie den Angaben auf www.floraweb.de entnommen und erheben ebenfalls keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Bearbeitung: Maria Höver

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich einigen Personen danken, die die Realisierung des Projektes in dieser Form möglich gemacht haben. Der Dank gilt

- Prof. Dr. Sebastian Schmidlein vom IfGG (Gruppe Vegetation) für die Bereitstellung des Themas und die Betreuung,
- Silke Rittershofer vom Zukunftscampus für die Bereitstellung von Zugang und Unterlagen zur Audimax-Dachfläche,
- Dipl. Chem. Martin Kull, Dipl. Geogr. Andre Velescu und Tobias Fabian vom IfGG (Gruppe Böden) des KIT für die Beratung und Durchführung der Substratanalysen,
- Dipl. Geoökol. Reiner Gebhardt vom IfGG (Gruppe Vegetation) für die Beratung und Bereitstellung von Materialien für die Temperaturmessungen,
- Prof. Dr. Peter Nick, Dr. Gabi Jürges und Dr. Maren Riemann vom Botanischen Institut für die Beratung und Unterstützung bei botanischen Fragen,
- Peter Zöllner vom Amt für Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Referatsleitung Grünflächenmanagement für die Ermöglichung und Unterstützung der Projektes,
- allen oben genannten Personen für ihre Bereitschaft der Vernetzung und Zusammenarbeit.

Literaturverzeichnis

- BBSR. Städtebauliche Nachverdichtung im Klimawandel. *ExWoSt-Informationen*, 46(1), 2014.
- BBSR. Anpassung an den Klimawandel in Stadt und Region - Forschungserkenntnisse und Werkzeuge zur Unterstützung von Kommunen und Regionen, 2016. ISBN 978-3-87994-176-6.
- Dominique Bertsch. Ökosystemleistungen der Biotope des KIT-Campus Süd Geländes. Master's thesis, Karlsruher Institut für Technologie - Institut für Geographie und Geoökologie, 2017.
- BfN. Bundesamt für Naturschutz: FloraWeb. Daten und Informationen zu Wildpflanzen Deutschlands, 2021. URL www.floraweb.de. Letzter Zugriff am 27.09.2021.
- Hans-Peter Blume, Karl Stahr, and Peter Leinweber. *Bodenkundliches Praktikum: Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, Land- und Forstwirte, Geo- und Umweltwissenschaftler*. Spektrum Akad. Verlag Heidelberg, 2011.
- Gerhard Braun. Was bringt die Norm DIN 18531 "Dachabdichtungen"? *Schadenprisma*, 4, 1982.
- BuGG. BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2020 Dach-, Fassaden- und Innenraumbe- grünung Deutschland, 2020. URL www.gebaeudegruen.info. Letzter Zugriff am 15.09.2021.
- Stefan Eggenberg, Christophe Bornand, Philippe Juillerat, Michael Jutzi, Adrian Möhl, Reto Nyffeler, and Helder Santiago. *Flora Helvetica - Exkursionsführer*. Haupt Verlag, Bern, 2018.
- Heinz Ellenberg and Christoph Leuschner. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 2010.
- eza. Dachbegrünung: Gut für Insekten und das Wohnklima, 2021. URL www.eza-allgaeu.de/news-detail/dachbegruenung-gut-fuer-insekten-und-das-wohnklima/1. Letzter Zugriff am 15.09.2021.
- FLL. *Dachbegrünungsrichtlinien: Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Dachbegrünungen*. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2018.
- Miriam Herrmann. Fassaden- und Dachbegrünung Im Hinblick auf Klimawandel und Biodiversität. Master's thesis, Karlsruher Institut für Technologie - Institut für Geographie und Geoökologie, 2020.
- Universität Karlsruhe. Leistungsbeschreibung Neubau Osteuropazentrum. S. 38 + 39, 2001.
- Walter Kolb. *Dachbegrünung: Planung, Ausführung, Pflege*. Ulmer, 2016.

- Konrad Lauber and Gerhart Wagner. *Flora Helvetica*. Haupt Verlag, Bern, 2012.
- LUBW. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg: Arten, Biotope, Landschaft. Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten., 2018. URL pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/94209. Letzter Zugriff am 10.09.2021.
- Thomas Meyer. Flora-de: Flora von Deutschland, 2021. URL www.blumeninschwaben.de. Letzter Zugriff am 27.09.2021.
- Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg Ministerium für Wirtschaft. Städtebauliche Klimafibel Online. Hinweise für die Bauleitplanung, 2021. URL www.staedtebauliche-klimafibel.de. Letzter Zugriff am 10.09.2021.
- Hofstetter Mühle. Dachbegrünung - Pflanzen für grüne Dächer, 2021. URL www.dach-beruenung.de. Letzter Zugriff am 25.09.2021.
- E. Oberndorfer, J. Lundholm, R. R. Bass, B. ans Coffman, H. Doshi, N. Dunett, S. Gaffin, M. Köhler, K. K. Y. Liu, and B. Rowe. Green Roofs as Urban Ecosystems. Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 47(10), 2007.
- PAN. Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH: Evaluation der Ökokontoverordnung Baden-Württemberg, 2018. URL www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/389779/Evaluation_OekokontoV0_Endbericht.pdf. Letzter Zugriff am 15.09.2021.
- Nils Polzin. Dachbegrünungen als Ausgleichsmaßnahme für einen Eingriff in Natur und Landschaft. Master's thesis, HCU, HafenCity Universität Hamburg, 2017. URL https://repos.hcu-hamburg.de/bitstream/hcu/156/1/Polzin_Nils_Master_20181113.pdf. Letzter Zugriff am 15.09.2021.
- Christian Prof. Dr. Küpfer. Wie viele Ökopunkte für welches Gründach? Bewertung verschiedener Dachbegrünungen im Zusammenhang mit Eingriffsregelung und kommunaler Förderung. 2019.
- Werner Rothmaler. *Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband*. Springer Spektrum, 2017.
- Fritz Scheffer, Paul Schachtschabel, and S Thiele-Brune. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Spektrum Akad. Verlag Heidelberg, 2010.
- Otto Schmeil and Jost Fitschen. *Die Flora Deutschlands und der angrenzenden Länder, 95. Auflage*. Quelle und Meyer Verlag, Wiebelsheim, 2011.
- Roland Schröder, Daniel Jeschke, Ralf Walker, and Katrin Kiehl. Extensive Dachbegrünung mit gebietseigenen Wildpflanzenam Beispiel Nordwestdeutschlands - Ein Leitfaden für die Praxis. Master's thesis, Hochschule Osnabrück, 2020.
- Umweltbundesamt. Bodenversiegelung, 2020. URL www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#was-ist-bodenversiegelung. Letzter Zugriff am 10.09.2021.
- Rian Van Staden. Klimawandel: Was er für Städte bedeutet. Kernergebnisse aus dem Fünften Sachstandsbericht des IPCC. *Klima: Everyone's Business*, 2014. URL <https://www.klimafakten.de/branchenbericht/was-der-klimawandel-fuer-die-staedte-bedeutet>. Letzter Zugriff am 15.09.2021.
- Michael Weindel. Bauantrag Hörsaalgebäude. Grundriss Ebene 4, 3. Obergeschoss, 2000.
- Volkmar Wirth and Ruprecht Düll. *Farbatlas Flechten und Moose*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 2000.

GmbH ZinCo. ZinCo - Leben auf dem Dach, 2021a. URL www.zinco.de. Letzter Zugriff am 27.09.2021.

GmbH ZinCo. Substrate und Systemerden für Dachbegrünungen, 2021b. URL www.zinco.de/substrate. Letzter Zugriff am 24.09.2021.