

# **Gründach-Projekt der TU Dresden**

## **Gründach-Konstruktionsvarianten**

Welchen Einfluss hat die Gründachkonstruktion der Testfelder im Botanischen Garten der TU Dresden auf das „Modellprojekt Integrales Wassermanagement“?

### **Wissenschaftliche Arbeit**

am Institut für Bauklimatik, Fakultät Architektur, TU Dresden

**im Rahmen des Moduls PRO\_WissA**

**„Wissenschaftliche Arbeit“ im 6. Fachsemester**

vorgelegt von:

Lea Bartels 4871679 und Helen Beckmann 4868820

betreut durch: Dr.-Ing. Peggy Freudenberg

E-Mail: lea.bartels@mailbox.tu-dresden.de und helen.beckmann@mailbox.tu-dresden.de



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Grundlagen .....	2
2.1	Forschungsstand .....	3
2.2	Gründachvarianten .....	5
2.2.1	Intensivbegrünung .....	5
2.2.2	Einfache Intensivbegrünung .....	6
2.2.3	Extensivbegrünung .....	7
2.2.4	Biotopbegrünung .....	8
2.3	Gründachkonstruktionsvarianten .....	9
2.3.1	Dachformen .....	10
2.3.2	Dachaufbau .....	11
2.4	Bewässerungsvarianten .....	15
2.4.1	Drän-, Filter- und Entwässerungsschichten .....	16
2.4.2	Regenrückhaltung und Regengewinnung .....	16
2.5	Energie und bauklimatische Aspekte .....	18
2.5.1	Ökologische Ausgleichsfunktion .....	18
2.5.2	Klima .....	20
2.5.3	Brandschutz .....	22
2.5.4	Schallschutz .....	23
3	Dokumentation .....	24
3.1	Gründachprojekt Einleitung .....	25
3.2	Gründach Aufbauprinzip und Begrünungsvarianten .....	26
3.3	Testfelder .....	29
3.4	Kennwerte der Funktionsschichten .....	54
4	Schlussbemerkung .....	57
4.1	Zusammenfassung und Resümee .....	57
4.2	Weiterführende Fragen .....	59
5	Anhang .....	60
5.1	Literaturverzeichnis .....	60

5.2	Quellen .....	61
5.3	Abbildungsverzeichnis.....	62
5.4	Eigenständigkeitserklärung .....	66

# 1 Einleitung

In dieser Arbeit werden die Auswirkungen von Gründachkonstruktionsvarianten auf die Funktion von Gründächern in Abhängigkeit von ihren Standortbedingungen untersucht. Im Besonderen bezogen auf die Testfelder im Botanischen Garten der TU Dresden werden die Konstruktionsbedingungen vor Ort beschrieben und eingeordnet. Die Auswirkungen des Dachaufbaus auf die Untersuchungsergebnisse müssen eingeschätzt werden, um Aussagen über die Allgemeingültigkeit des untersuchten Wassermanagements treffen zu können. Das „Modellprojekt integrales Wassermanagement“ widmet sich der Untersuchung der Evapotranspiration bei einfachen Intensivbegrünungen. Dachbegrünungen sind variantenreich in ihrer Absicht, Konstruktion, Pflegeaufwand und stets abhängig von ihren Standortbedingungen. Jegliche Kombinationen weisen Besonderheiten auf und sind im Einzelnen zu erforschen und schwer berechenbar. Dennoch soll ein Einblick in die Zusammenhänge der Gründachthematiken gegeben werden. Primär wird auf Erfahrungswerte und Messergebnisse von anderen Gründachforschungsuntersuchungen zurückgegriffen. Letztlich dient der Überblick zur Einordnung des eigentlichen Untersuchungsgegenstandes, den Testfeldern des Botanischen Gartens der TU Dresden. Die präzise Einordnung dient der Eingrenzung aller möglichen Aussagen, die anhand der gegebenen Konstruktionen getroffen werden können, und der Abgrenzung zu allen anderen nicht gegebenen Bedingungen und damit den Grenzen der Untersuchungsmöglichkeiten.

Zielführend gestaltet sich die Betrachtung der Konstruktionsvarianten in Hinblick auf das integrale Wassermanagement. Welche Besonderheiten der Konstruktion sich für die Standortbedingungen vor- oder nachteilhaft erweisen und welchen Einfluss sie auf die Wasserversorgung der Vegetation nehmen, soll beantwortet werden. Dementsprechend erfolgt die Dokumentation unter vergleichenden Aspekten und übersichtlichen schematischen Lageplänen. Die anschließende Erläuterung der Dachkonstruktion im Detail ist essenziell für die Einordnung und Auswertung, wobei die Messergebnisse im Vordergrund stehen werden. Konkrete Daten sind schließlich das zu erreichende Ziel des Modellprojektes, diese bedürfen trotzdem einer Interpretation. Zur Einordnung und Einschätzung ist ein umfassender Überblick nötig, daher reihen sich zuvor die Grundlagen ein und bieten relevante Einblicke in die Leistungsfähigkeit und Eignung von Gründachvarianten.

## 2 Grundlagen

Das Potenzial eines Gründachs kann durch geeignete Konstruktion, Substrate und Vegetation für den jeweiligen Standort vollständig genutzt werden. Dazu nötiges Vorwissen aus der Literatur ergibt sich aus Erfahrungswerten anderer Gründächer in der Anwendung und den Materialeigenschaften unter Natureinflüssen. Grundlagenwissen ermöglicht resümierend die Einordnung der zu untersuchenden Testfelder und erlaubt, die Messergebnisse zu deuten. Zunächst erfolgt die Einleitung in den Forschungsstand des Modellprojekts, dem die Testfelder unterliegen und dem diese Arbeit sich inhaltlich widmet. Die Gründachthematik wird anschließend aus baukonstruktiver und bauklimatischer Sicht unserem Thema und dem Schwerpunkt des betreuenden Lehrstuhls entsprechend betrachtet. Dabei steht Nachhaltigkeit bei der Bauweise, der Nutzung und der Langlebigkeit im Fokus und eröffnet den Blick auf das Potenzial von Gründächern, einen positiven Beitrag für das Klima zu haben.



Abb. 1: Fotografie Projektaufbau Botanischer Garten, Quelle: Material Modellprojekt Integrales Wassermanagement (Stand:09.07.2022).

## 2.1 Forschungsstand

Das Projekt der TU Dresden mit dem Titel „Modellprojekt integrales Wassermanagement“:

Seit 2015 strebt das Teilprojekt Bauklimatik unter Nutzung des Gründaches im botanischen Garten die Analyse der Auswirkungen der natürlichen Klimabedingungen und geregelten Bewässerung mit Grauwasser auf die Evapotranspiration an. Gesammelte Daten dienen der Kalibrierung und Erweiterung des Programms DELPHIN, das der Beschreibung des „instationären gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport[s] in kapillarporösen Medien“<sup>1</sup> dient. Zum Vergleich wird das Dach unter den gleichen Bedingungen, aber ohne Begrünung analysiert. Fraglich ist, welches Kühlspotenzial von Dachbegrünungen ausgeht. Das Programm soll außerdem „mittels einer Varianten-Matrix [...] Konstruktionsaufbau, Dämmung, Substrat, Begrünung und Klima“<sup>2</sup> berücksichtigen und damit die Einsatzmöglichkeiten von Gründächern simulierbar machen.<sup>3</sup>

Das Forschungsteam des „Modellprojekts integrales Wassermanagement“ setzt sich neben dem Institut für Bauklimatik und dem botanischen Garten der TU Dresden aus den Professuren für Landschaftsbau, Siedlungswasserwirtschaft und Meteorologie zusammen und wird von dem Umweltamt der Stadt Dresden unterstützt.

Die erforschten Effekte der Evapotranspiration bei Extensivbegrünungen in vorangegangenen Forschungsprojekten sollen anhand eines Langzeitversuches bei einfachen Intensivbegrünungen durch Grauwasserzufuhr nach Aufbereitung bestätigt und optimiert werden. Die realen Bedingungen eines Gründaches sind gegeben und werden berücksichtigt. Zusätzlich werden Rahmenbedingungen und Wasserzufuhr variiert, wobei der Fokus auf der optimalen Wasserzufuhr unter diversen Bedingungen liegt. Konkret formuliert „sollen im Projekt [folgende Fragestellungen] betrachtet werden: Welche Flächengröße einer einfachen Intensivbegrünung lässt sich mit einem typischen Anfall von Grauwasser bewässern, um eine geschlossene, vitale Vegetationsdecke unter realen klimatischen Bedingungen und somit witterungsabhängiger Bewässerung zu erzielen? Wie wirken sich verschiedene durch Substratkennwerte gesteuerte Bewässerungsregime das Gesamterscheinungsbild und der Pflegeaufwand der Pflanzung, die Transpirationsleistung der Pflanzung, auf die kleinklimatische

---

<sup>1</sup> Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.1.

<sup>2</sup> Meyer und Kretzschmar, Modellprojekt Integrales Wassermanagement, URL: [https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set\\_language=de](https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set_language=de) (Stand:15.05.2022), S.1.

<sup>3</sup> vgl. Meyer und Kretzschmar, S.1.

Situation, auf die Regenrückhaltung, auf Transport-, Abbau- und/oder Akkumulationsprozesse und auf die Gebäudekühlung bzw. Dämmwirkung aus. Wie wirken sich Transport-, Abbau- und/oder Akkumulationsprozesse einzelner Wasserinhaltsstoffe insbesondere von Tensiden auf die Rückhaltekapazität eines Bodenkörpers aus und welchen Einfluss hat die Passage der Dachbegrünung auf die Emissionsbilanzen und Belastungsspitzen.“<sup>4</sup>



Abb. 2: Fotografie Projektaufbau Botanischer Garten von Oben, Quelle: Meyer und Kretzschmar, Modellprojekt Integrales Wassermanagement, URL: [https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set\\_language=de](https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set_language=de) (Stand:15.05.2022).

---

<sup>4</sup> vgl. Meyer und Kretzschmar, Modellprojekt Integrales Wassermanagement, URL: [https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set\\_language=de](https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set_language=de) (Stand:15.05.2022), S.1.

## 2.2 Gründachvarianten

Gründächer können diversen Anforderungen mittels unterschiedlicher Ausführungsvarianten gerecht werden. Das Spektrum des Erscheinungsbildes reicht von einer sich selbst überlassenen Flora bis zu einem umfänglich nutzbaren Dachgarten. Entsprechende Nutzungsansprüche können anhand der Konstruktionswahl ermöglicht werden, müssen jedoch den Standortbedingungen gerecht werden.

### 2.2.1 Intensivbegrünung

Intensive Dachbegrünungen entspringen der Idee der „Gärten und Grünflächen auf dem Dach“<sup>5</sup>. Dementsprechend sind sie ähnlich pflegeintensiv und ermöglichen eine große Pflanzenvielfalt. Be- und Entwässerungseinrichtungen können auf die Pflanzenauswahl abgestimmt und in den differenzierten Schichtaufbau integriert werden. Intensivbegrünungen haben meist hohe Substratschichten, die bei der Dimensionierung der Dachkonstruktion berücksichtigt werden sollten. Laut den FLL Dachbegrünungsrichtlinien „können [Intensivbegrünungen] flächig, höhendifferenziert oder punktuell ausgebildet sein. In der Nutzungs- und Gestaltungsvielfalt sind sie bei entsprechender Ausstattung mit bodengebundenen Freiräumen vergleichbar.“<sup>6</sup>



Abb. 3: Fotografie Intensivbegrünung, Quelle: <https://www.optigruen.de/fileadmin/contents/planerportal/Naturdach/Foto%201%20Umweltamt%20KA.JPG> (Aufgerufen:29.06.2022).

<sup>5</sup> Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.16.

<sup>6</sup> Lösken, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen Dachbegrünungsrichtlinie, Bonn 2008, S.11.

### 2.2.2 Einfache Intensivbegrünung

Nach den FLL Dachbegrünungsrichtlinien werden einfache Intensivbegrünungen „als bodendeckende Begrünungen mit Gräsern, Stauden und Gehölzen ausgebildet. Die Nutzungs- und Gestaltungsvielfalt ist im Vergleich zu Intensivbegrünungen eingeschränkt“<sup>7</sup>.

Die einfachere Form der Intensivbegrünung ist hinsichtlich der Herstellung und Unterhaltung kostengünstiger und leichter zu realisieren. Folglich sind gestalterische Ansprüche niedriger, so wie die Wuchshöhe aufgrund der dünneren Schichtaufbauten. Die Pflanzenauswahl ist demnach eingeschränkter, weil geringere Ansprüche an die Wasser- und Nährstoffversorgung gestellt werden dürfen.<sup>8</sup>



Abb.4: Fotografie Einfache Intensivbegrünung, Quelle: [https://www.optigruen.de/fileadmin/\\_processed\\_/5/5/csm\\_RD\\_2-1\\_5c2e546621.jpg](https://www.optigruen.de/fileadmin/_processed_/5/5/csm_RD_2-1_5c2e546621.jpg) (Aufgerufen:29.06.2022).

---

<sup>7</sup> Lösken, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen Dachbegrünungsrichtlinie, Bonn 2008, S.11.

<sup>8</sup> vgl. Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.18.

### 2.2.3 Extensivbegrünung

Die Abgrenzung von einfachen Intensivbegrünungen zu Extensivbegrünungen ergibt sich aus dem geringeren Anspruch an das Gründach. Verringerte Kosten bei der Herstellung und Unterhaltung reichen nicht aus, es erfolgt auch die Reduzierung der Wasser- und Nährstoffversorgung auf fast ausschließlich natürliche Prozesse. Die Lasten auf die Baukonstruktion sind ebenso geringer, da die Substratschicht dünner ausgeführt wird. Somit kann hier Material in der Höhe der Konstruktion eingespart werden. Die Wasserspeicherkapazität des Substrats fällt jedoch schlechter aus. Angepasst an wetterabhängige Trockenheit oder Nässe müssen ausgewählte Pflanzen verwendet werden. Es empfiehlt sich, einheimische Pflanzen anzusiedeln bzw. die Ansaat unter harten Bedingungen heranwachsen zu lassen.<sup>9</sup>

Die FLL-Dachbegrünungsrichtlinien definieren Extensivbegrünungen als „naturnah gestaltete Vegetationsflächen, die sich weitgehend selbst erhalten und weiterentwickeln. Es werden Pflanzen mit besonderer Anpassung an die extremen Standortbedingungen und hoher Regenerationsfähigkeit verwendet.“<sup>10</sup>



Abb. 5: Fotografie Extensivbegrünung, Quelle: <https://www.gartentipps.com/extensive-dachbegruenung-aufbau-geeignete-pflanzen-fuer-ein-bluehendes-gruendach-vorgestellt.html> (Aufgerufen:29.06.2022).

---

<sup>9</sup> vgl. Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.18f.

<sup>10</sup> Lösken, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen Dachbegrünungsrichtlinie, Bonn 2008, S.12.

## 2.2.4 Biotopbegrünung

Biotopbegrünung ist „[u]ngestörte, sich selbst überlassene Vegetation ohne Pflege und Unterhaltungsaufwand. Die ausschließlich den natürlichen Kreisläufen von Aufwuchs, Selbstausaat und Streßselektion und -anpassung unterliegende Biotopdachbegrünung basiert auf natürlichen mineralischen [...] Pflanzentragschichten.“<sup>11</sup>



Abb. 6: Fotografie Biotopbegrünung, Quelle: <https://www.optigruen.de/fileadmin/contents/planerportal/Naturdach/Foto%203.JPG> (Aufgerufen:29.06.2022).

Der Ausführung von Biotopbegrünungen sind nahezu keine Grenzen gesetzt. Dachneigungen bis 38° gelten als wirtschaftlich. Sie sind technisch auch steiler möglich, aber entsprechend preisintensiver, da zusätzliche Sicherungen notwendig werden. Pflanzentragschichten können der Auflastsicherung dienen, müssen jedoch eigenständig lagesicher und erosionssicher sein. Randauflasten zur Windsogsicherung können durch höhere Schichtaufbauten in Form von Stein-, Kies- und Mineralschotterzuschlägen erzeugt werden. Alternativ sind Plattenbeläge zur Auflasterhöhung möglich und durch die Nähe zum Auflager statisch denkbar. Prinzipiell sollte aus vegetationstechnischen Gründen die Auflast von 400 N/m<sup>2</sup> nicht unterschritten werden.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995, S.11.

<sup>12</sup> vgl. Drefahl, S.13ff.

	<b>Intensiv- begrünung</b>	<b>Einfache Intensiv- begrünung</b>	<b>Extensiv- begrünung</b>	<b>Biotop- begrünung</b>
Kategorie	Garten/Grünfläche	Bodendeckende Begrünung	Einfache Vegetationsfläche	Ungestörte Vegetation
Pflanzenarten	Rasen, Stauden, Sträucher, Bäume	Gräser, Stauden, Sträucher	Moos, Sedum, Trockengräser, Sukkulente	Moos, Sedum, Gräser, Stauden, Sträucher, Bäume
Substratstärke	15 – 200 cm	12 – 25 cm	6 – 20 cm	unterschiedlich
Gewicht	200 – 3.000 kg/m <sup>2</sup>	15 – 300 kg/m <sup>2</sup>	60 – 250 kg/m <sup>2</sup>	-
Pflegeaufwand & Kosten	Hoch	Mittel	Gering	Sehr Gering

Abb. 7: Vergleich Gründachvarianten, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022.

Im Vergleich ergeben sich mit steigenden Nutzungsanforderungen höhere Kosten und größerer Pflegebedarf. Die Kosten ergeben sich zum einen aus dem entstehenden Materialaufwand, um größere Substratstärken zu erreichen, und zum anderen aus der Vegetationsvielfalt. Der unterschiedlichen Anforderung bezüglich Nährstoff- und Wasserzufuhr muss nachgegangen werden, woraus sich der erwähnte Pflegeaufwand ergibt. Die Wasserversorgung steht im Modellprojekt besonders im Fokus und muss im Normalfall an die Begrünungsart und den Standort angepasst werden. Bezüglich der Mehrkosten und den ökologischen Aspekten können nachhaltige Varianten in Form von Regenwassergewinnung und Regenwasserspeicherung sowie Grauwasseraufbereitung und Grauwassernutzung gefunden werden.

### 2.3 Gründachkonstruktionsvarianten

Die Ausbildung eines Gründaches auf einer vorhandenen Dachkonstruktion eines Bestandsgebäudes erfordert die Beurteilung der Eignung des Dachaufbaus hinsichtlich der Dachneigung, der Materialien und der Tragfähigkeit der Konstruktion. Dachsanierungen kommen oftmals durch ungünstige Materialkombinationen oder mangelnde Materialqualität zustande. Zur Beurteilung sollten in jedem Fall Experten zurate gezogen werden, um Dachabdichtung,

Bauphysik, Baukonstruktion und Statik zu beurteilen. Es muss überprüft werden, wie belastungsfähig Dämmung und Abdichtung sind, in welchem Zustand sich die Materialien befinden, wie die An- und Abschlüsse ausgeführt wurden und wie hoch die Lastreserven sind. Aufgrund dem zur Verfügung stehenden Gefälle, der Höhe der Randabschlüsse und Wasserdampfdiffusionsmöglichkeiten sowie der Tragfähigkeit ergeben sich Vorgaben und Einschränkungen bei der Wahl der Dachbegrünung.<sup>13</sup>

Bei der Planung eines neuen Gründaches können jegliche Nutzungsansprüche und Standortgegebenheiten bei der Konstruktion berücksichtigt werden. Zu den Kosten für den notwendigen konstruktiven Dachaufbau kommen zusätzliche Kosten für die vegetationstechnischen Schichten hinzu.

### 2.3.1 Dachformen

Begrünte Flachdächer mit entsprechenden Dränschichten benötigen kein Gefälle, da die Abdichtungen keinen Temperaturspannungen ausgesetzt sind.<sup>14</sup> Es sind jedoch auch andere Dachformen wie Sheddächer oder Tonnendächer begrünbar, solange eine Abdichtung vorliegt und die Statik entsprechende zusätzliche Lasten aufnehmen kann. Lasten von Extensivbegrünungen können auch von Leichtdach-Konstruktionen aufgenommen werden, wobei Durchbiegungen berücksichtigt werden müssen, um Pfützenbildung zu vermeiden. Für Intensivbegrünungen sollten tendenziell bewehrte Stahlbetondecken angenommen werden, um die Last des höheren Schichtaufbaus tragen zu können.<sup>15</sup>

Prinzipiell sollten Dachneigungen ab 15° mit Schubschwellen und Kanthölzern gegen Schub gesichert werden. Bei steileren Dächern ist außerdem die Wasserspeicherung problematisch und verlangt Anpassung hinsichtlich einer zusätzlichen Bewässerung oder einer resistenten Pflanzenauswahl gegen Trockenheit. Für Dächer ab einer Neigung von 36° empfiehlt es sich, wegen der erhöhten Abflussgeschwindigkeit der Bewässerung die Substratschicht in der Wachstumszeit der Ansaat ebenfalls mit Klebern wie Zellulose oder Alginaten zu stabilisieren. Später bilden die ausgewachsenen Pflanzen einen natürlichen vegetativen Oberflächenschutz für die Substratschicht, damit diese nicht abgetragen wird. Bei Dachneigungen ab 58° sind die Möglichkeiten der Realisierung eines Gründaches allmählich ausgeschöpft.<sup>16</sup>

---

<sup>13</sup> vgl. Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.20ff.

<sup>14</sup> vgl. Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995, S.31.

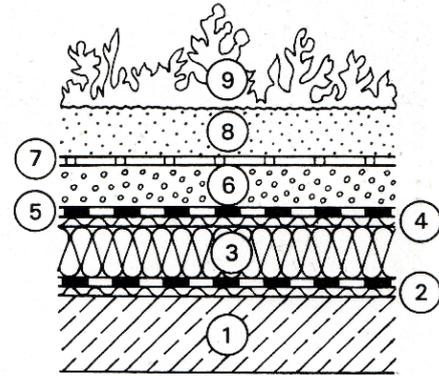
<sup>15</sup> vgl. Zink, Das grüne Dach Standardwerk für Planung und Ausführung genutzter Dachflächen; Planungshilfe, Unterensingen 1998, S.10.

<sup>16</sup> vgl. Kolb, Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.39ff.

### 2.3.2 Dachaufbau

Der Gründachaufbau unterscheidet sich vom natürlichen Bodenaufbau insofern, dass Gründachaufbauten leistungsfähiger sein müssen, weshalb Mutterboden und Unterbodenschichtungen reduziert auf derart dünne Schichtaufbauten nicht in der Lage sind, Luft, Wasser und Nährstoffe zuverlässig zur Verfügung zu stellen. Basierend auf konstruktions- und vegetationstechnischen Anforderungen hat sich ein Standardaufbau (Abb. 8) herauskristallisiert. Unterscheidungen werden bei den verwendeten Materialien, der Einbaustärke und den Funktionskombinationen mehrerer Schichten gemacht.<sup>17</sup>

Besonders bei Gründächern ist die Planung der wasserführenden Schichten und Anordnung der Abdichtung und Wärmedämmung relevant. Allgemein können vegetationstechnische Schichten gut von bautechnischen Schichten getrennt betrachtet werden, wodurch die Ausbildung von Warmdächern, Kaltdächern und Umkehrdächern mit Dachbegrünung kein Problem darstellt. An die Konstruktion sollte dennoch ganzheitlich gedacht werden, diese sollte an die Begrünungsvariante und Nutzungsanforderung angepasst sein. Anpassungen an die Begrünungsvarianten müssen hinsichtlich der Vegetationstragschicht getroffen werden. Die Eignung der Substrate ist bezogen auf die Schichtdicke der Begrünungsvarianten unterschiedlich. Speziell bei Extensivbegrünungen wird ohne einen Wasserstau geplant, dennoch wird das Ziel gesetzt, möglichst schnell eine geschlossene Vegetationsdecke vorzuweisen. Dies muss die Zusammensetzung der Substratschicht ermöglichen, indem sie luftreich, wasserdurchlässig, nährstoffarm, frostbeständig, erosionsfest, brandsicher, keimungs- und wurzelwachstumsfördernd ist. Zudem sollte die Substratschicht ein gutes Wasserspeichungsvermögen und höhere Bodenreaktionen haben, folglich einen stabilen pH-Wert zwischen 6,7 und 8,0. Mittlerweile werden Substratzusammensetzungen, die insbesondere eine gute Kornabstufung aufweisen, um Entmischungen und Auswaschungen vorzubeugen, ausführlich erprobt und als Fertigsubstrate angeboten. Die Begrünungsvarianten unterscheiden sich in ihren Anforderungen an die einzelnen Schichten ansonsten nicht so stark wie bei der Substratschicht.<sup>18</sup>



- 1 = Tragkonstruktion Stahlbeton
- 2 = Ausgleichsschicht und Dampfsperre
- 3 = Wärmedämmung
- 4 = Dampfdruckausgleich
- 5 = Wurzelbeständige Dachdichtung
- 6 = Dränschicht
- 7 = Filterschicht
- 8 = Vegetationstragschicht
- 9 = Vegetation

Abb. 8: Beispiel Gründachaufbau, Quelle: Kolb, Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.57.

<sup>17</sup> vgl. Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.53.

<sup>18</sup> vgl. Krupka, S.63f.

### 2.3.2.1 Bautechnische Schichten

Relevant bei Warmdächern ist, dass bei größeren Temperaturunterschieden keine Raumluft in die Dachkonstruktion eindringt und dort kondensieren kann. Eine Durchnässung der Wärmedämmung würde sonst über die Zeit stattfinden und deren dämmende Wirkung vermindern. Konkret wird eine Dampfsperre unterhalb der Wärmedämmung vorgesehen und eine Dachabdichtung oberhalb, damit keine Feuchtigkeit aus der Dachbegrünung eindringen kann. Insbesondere bei Gründächern müssen erhöhte Anforderungen bezüglich der Festigkeit an die Wärmedämmung gestellt werden, um der Auflast standzuhalten.

Die Möglichkeiten der Begrünung stehen auch hier wieder im Zusammenhang mit der Tragfähigkeit der Baukonstruktion. Leichte Holzkonstruktionen, die typisch für Kaltdächer sind, ermöglichen bspw. nur dünne Vegetationsschichten. Bei Kaltdächern hingegen kann anfallendes Kondensat in der Durchlüftungsschicht verdunsten.

Umkehrdächer müssen mit wasserdichten Dämmstoffen geplant werden, weil die Dachabdichtung unter der Wärmedämmung liegt und somit ungeschützt ist. Außerdem muss die Dampfdiffusion gewährleistet werden, daher ist auf grobkörniges Substrat zu achten. Dieser Umstand bedeutet, dass nur trockenheitsresistente Pflanzen angesiedelt werden können, da kein Wasserstau möglich ist.<sup>19</sup>

Niederschlag abzuhalten, ohne dabei in die Dachkonstruktion einzudringen, ist die gängige Aufgabe von Dachabdichtungen. Bei Gründächern wird den Dachabdichtungen zusätzlich abverlangt, widerstandsfähig gegenüber Wurzeln zu sein. Bitumenschweißbahnen eignen sich in dieser Hinsicht nicht. Stattdessen werden PE-Bahnen, Elastomerbahnen und Polymer-Bitumenbahnen empfohlen. Zusätzliche Schutzlagen sind erst dann erforderlich, wenn die Dachabdichtung die Anforderung an die Wurzelbeständigkeit nicht erfüllt.<sup>20</sup> Trennlagen werden gegebenenfalls zwischen der Dachabdichtung und der Wurzelschutzlage angeordnet.

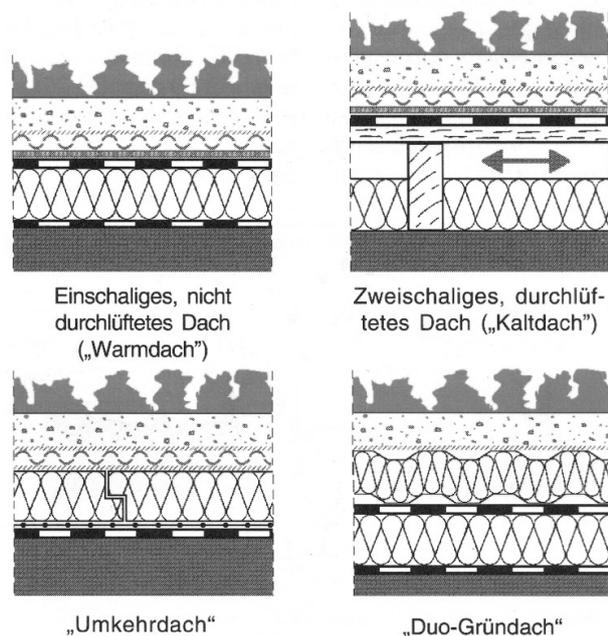


Abb. 9: Dachkonstruktionsvarianten, Quelle: Zink, Das grüne Dach Standardwerk für Planung und Ausführung genutzter Dachflächen; Planungshilfe, Unterensingen 1998, S.11.

<sup>19</sup> vgl. Kolb, Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.31ff.

<sup>20</sup> vgl. Kolb, Schwarz, S.42ff.

Die Abdichtungsebene wird durch den darüberliegenden Aufbau vor zusätzlicher Korrosion, Witterung und insbesondere vor großen Temperaturspannungen geschützt. (Abb. 10) Sie erreicht damit eine höhere Bauwerkslebensdauer als bei üblichen Dachaufbauten, weil sie nicht mehr zusätzlich von den wechselhaften Umweltbedingungen beansprucht wird. So kann sie problemlos ihrer eigentlichen Aufgabe gerecht werden.<sup>21</sup>

Verkehrslasten ergeben sich aus Niederschlag in Form von Regen und Schnee sowie aus temporären Belastungen durch Reparatur-, Wartungs- und Pflegearbeiten. Hinzu kommt die ständige Last des Schichtaufbaus, die bei Gründächern durch Vegetationstragschichten deutlich größer ist. Beachtet werden muss außerdem die Dichte der Stoffe im wassergesättigten Zustand, die oberhalb der Dachdichtung liegen. Ebendies gilt für Anstaubewässerung. Wie viel Wasser gespeichert werden kann oder soll, ist überaus wichtig für die Statik. Außerdem nimmt die Masse der Bepflanzung erst mit der Zeit zu, aus diesem Grund sollte ausreichend Spielraum für zusätzliches Gewicht im Vorhinein miteingeplant werden.<sup>22</sup>

### 2.3.2.2 Vegetationstechnische Schichten

Die Vegetationstragschicht wird nach Vegetationssubstraten in folgende Stoffgruppen unterteilt: Schüttstoffe, Substratplatten, Wasserspeicherschichten und Vegetationsmatten. Die Auswahl richtet sich nach den Ansprüchen in Bezug auf die gewünschte Drän- und Schutzfunktion, sowie der aufnehmbaren Lasten.

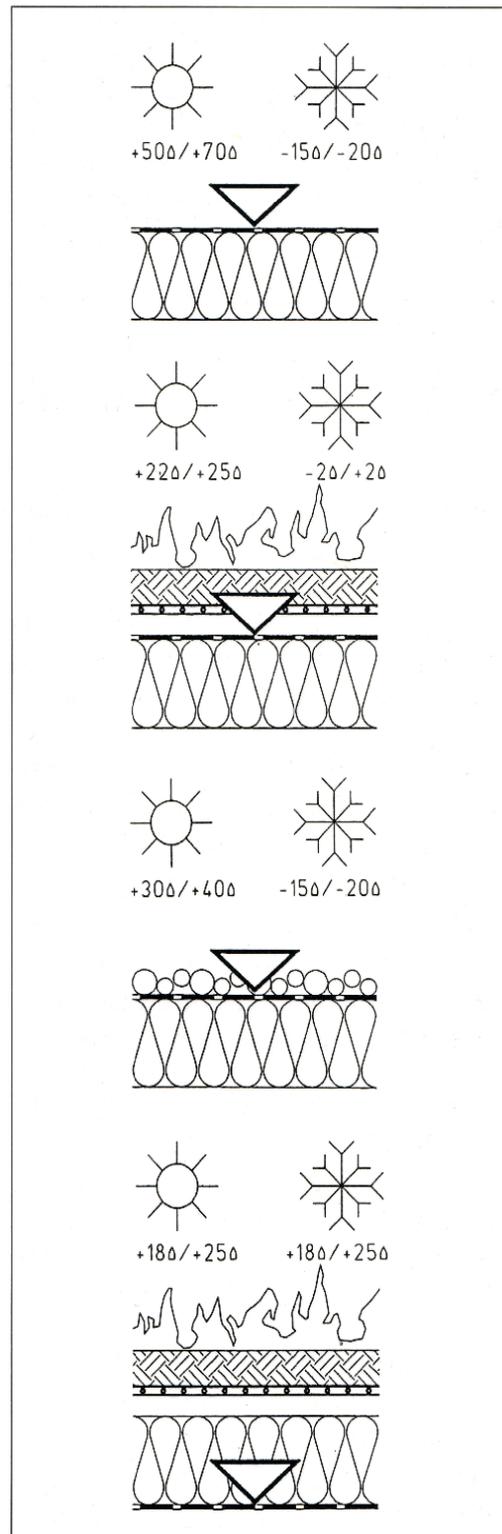


Abb. 10: Einfluss Umgebung auf Dachkonstruktion, Quelle: Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995, S.21.

<sup>21</sup> vgl. Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995, S.29.

<sup>22</sup> vgl. Kolb, Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.42.

Die Vegetation betreffend, wird das Substrat je nach Begrünungsart ausgewählt. Zudem kann die gewählte Vegetationsschicht den Aufwand der Pflege des Gründachs beeinflussen. Generell gilt es Sackung, Vernässung und Fäulnis zu vermeiden, wofür der Anteil an organischen Materialien reduziert werden sollte.<sup>23</sup>

Die Eignung verschiedener Substrate für Gründächer zeichnet sich an ihrer dauerhaften Strukturstabilität ab. Damit Wurzeln nicht ersticken, vertrocknen oder verfaulen muss ein gutes Verhältnis von Bodenluft und Wassergehalt konstant gewährleistet werden. Ebenfalls spielt das Nährstoffspeichungsvermögen eine wichtige Rolle, wobei davon ausgegangen werden kann, dass dies umso besser ist, je ähnlicher die Struktur eines Substrats dem eines natürlichen Bodens ist. Substrate ohne „gute Kornabstufung, [und] ausreichende Anteile von Humus und Ton“<sup>24</sup> wie Lava oder Blähton müssen dann gegebenenfalls zu anfangs zusätzlich gedüngt werden. Zuviel Düngung ist grundsätzlich jedoch sehr schädlich, vor allem langfristig.<sup>25</sup>

Die Kriterien für die Auswahl der passenden Pflanzen sind an zahlreiche Standortbedingungen geknüpft, aber auch an pflanzenspezifische Eigenschaften. Auftretende Wechselwirkungen können nur ungenau vorbestimmt werden, daher müssen Erfahrungswerte gesammelt und ggf. Anpassungen getroffen werden. Von den Standortbedingungen lassen sich zunächst Frosthärte, Windfestigkeit und Strahlungsfestigkeit ableiten. Darüber hinaus müssen die Pflanzen auf das jeweilige Substrat, Düngungen und andere Pflanzen abgestimmt werden.<sup>26</sup> Nicht geeignet sind für Intensivbegrünungen windbruchgefährdete Gehölze, wie generell Großbäume und speziell Nadelbäume. Ebenfalls ungeeignet sind Eigenschaften wie eine geringe Standfestigkeit, Frostempfindlichkeit und Krankheitsanfälligkeit. Insbesondere die Wurzeln müssen prädestiniert für die Nutzung als Dachbegrünung sein. Sie dürfen nicht übermäßig empfindlich sein und zu tief oder zu stark wachsen.<sup>27</sup>

Für extensive Dachbegrünungen wird dahingegen eine vollkommen andere Pflanzenauswahl getroffen. Frosthärte und Windfestigkeit sind ebenfalls relevante Eigenschaften. Hinzu kommen die Trockenheitsresistenz, Regenerationsfähigkeit, Konkurrenzfähigkeit, Ausbreitungsfähigkeit und Verträglichkeit gegenüber zeitweiser Vernässung. Demnach spielt hier die Vergesellschaftung der einzelnen Pflanzen miteinander eine entscheidende Rolle. Saatgut von

---

<sup>23</sup> vgl. Lösken, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen Dachbegrünungsrichtlinie, Bonn 2008, S.53f.

<sup>24</sup> Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.55.

<sup>25</sup> vgl. Krupka, S.55.

<sup>26</sup> vgl. Krupka, S.98.

<sup>27</sup> vgl. Krupka, S.113.

Ziergartenpflanzen ist völlig ungeeignet, da die Aussaat vom Beginn an unter schwierigen Bedingungen herangezogen werden muss, um später überleben zu können. Typischerweise werden heimische, europäische und vorderasiatische Gewächse, die von natürlichen xerothermen Standorten stammen, genutzt. Moose, Sukkulenten, Zwiebelpflanzen, Gräser, Kräuter und Gehölze sind prinzipiell geeignete Pflanzenarten. Es empfiehlt sich durch Artenvielfalt das Überleben des Gründaches zusätzlich zu sichern. Wenn eine Pflanzenart ausfällt, können andere mit anderen Anpassungsfähigkeiten und Überlebensstrategien den Ausfall kompensieren. Die Ansiedlung ist im Gegensatz zur Intensivbegrünung variantenreich und kostensparend. Es eröffnen sich die Methoden der Aussaat/Ausstreuung, Verlegung von Vegetationsmatten oder Fertigrasen und Pflanzung von vorkultivierten Stauden oder Flachballen.<sup>28</sup>

## 2.4 Bewässerungsvarianten

Die Begrünungsvarianten unterscheiden sich grundlegend in ihren Bewässerungsanforderungen. Prinzipiell werden nur Intensivbegrünungen zusätzlich bewässert. Extensivbegrünungen können für die Anzucht bzw. in der Fertigstellungspflege zusätzlich zu natürlichen Niederschlägen bewässert werden oder um zeitweise Trockenperioden zu überbrücken. Intensivbegrünungen werden regelmäßig bewässert. Hier bieten sich ebenfalls vielfältige Möglichkeiten an, um dies umzusetzen. Die Bewässerung kann automatisiert im Anstauverfahren in die Konstruktion integriert sein oder mittels vollautomatischen versenkbaren Flächenberegnern erfolgen. Eine weitere Möglichkeit stellt die Bewässerung per Hand dar, diese kann mit dem Schlauch oder Bergner erfolgen oder alternativ als Tröpfchenbewässerung, die mit Zeitschaltuhr versehen werden kann, ausgeführt werden.<sup>29</sup>

Hinsichtlich des Modellprojekts ist die unterschiedlich starke Bewässerung der einfachen Intensivbegrünung mit Extensiv-Mehrschichtsubstrat insofern interessant, weil diese Substratvariante für gewöhnlich nicht regelmäßig bewässert wird. Daher stellt sich die Frage, welche Veränderungen durch vermehrte Wasserzufuhr zu beobachten sind, ob diese das Pflanzenwachstum begünstigen und wie die Konstruktionsschichten dieses aufnehmen. Komponenten der Bewässerungsvariante werden automatisiert überwacht und sind exakt steuerbar, wodurch die Messergebnisse bezüglich der Wasserzufuhr nicht verfälscht werden können. Des Weiteren werden die konkreten Aufgaben der wasserführenden Schichten untersucht und Bewässerungsvarianten detaillierter betrachtet.

---

<sup>28</sup> vgl. Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.114ff.

<sup>29</sup> vgl. Krupka, S.51.

#### 2.4.1 Drän-, Filter- und Entwässerungsschichten

Dränschichten leiten das durch die Vegetationsschicht gesickerte Wasser in den Ablauf ein, wodurch Staunässe verhindert wird. Für eine unterschiedlich schnelle Weiterleitung und ggf. Wasserspeicherung stehen unterschiedliche Materialien zur Verfügung. Natürliche Mineralstoffe mit geschlossenen Poren eignen sich kaum, da die hohe Dichte keine Wasserrückhaltung ermöglicht. Sande und Kiese reihen sich hier ein, jedoch mit geringeren Festigkeiten. Offenporige Natursteine wie Lava und Bims hingegen können Wasser sogar bei geringerem Gewicht speichern. Dränschichten werden häufig durchwurzelt, eine wasserspeichernde Funktion des Materials wäre daher hilfreich. Diese Funktion weisen auch Dränschichten aus synthetischen Mineralstoffen auf und eignen sich daher für Gebiete mit viel Niederschlag. Für einen nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen sind mineralische Recyclingstoffe in Betracht zu ziehen. Ziegel aus Bauwerksabbruch eignen sich auch für Dränschichten, es muss jedoch nach FLL-Richtlinien geprüft werden, ob es „durch auswaschbare Kalkanteile zu einer Versinterung der Abläufe kommt.“<sup>30</sup>

Offenporige Schlacke bspw. aus Kohlekraftwerken, bevorzugt als gebrochenes Material, eignet sich ebenfalls gut. Schaumglas hat zusätzlich eine wärmedämmende Funktion und nimmt geringere Wassermengen auf. Des Weiteren gibt es Dränschichten aus Kunststoffen.<sup>31</sup> Filterschichten filtern Schlammstoffe, die ansonsten mit dem Wasser von der Vegetationsschicht in die Dränschicht gespült werden. Damit stellt sie die Funktion der Dränschicht sicher und verhindert das Verstopfen der Abflussleitungen. Sie können aus organischen Stoffen oder Geotextilien bestehen.<sup>32</sup> Allgemein muss sichergestellt werden, dass die Abläufe frei von Vegetation sind und ausreichend Gefälle das Wasser von überall in die Abläufe einleiten kann.

#### 2.4.2 Regenrückhaltung und Regengewinnung

Neben der konventionellen zusätzlichen Beregnung mit Schläuchen können Bewässerungssysteme in die Konstruktion integriert werden. Zum einen kann mit der sogenannten Anstau-bewässerung ein permanenter Wasserstau in der Dränschicht erzeugt werden. Dafür wird ein erhöhter Ablaufstutzen eingebaut, und das überlaufende Wasser ist über den Dachablauf an eine Zisterne angeschlossen. In der Dränschicht darf kein angestautes Wasser kapillar in die Vegetationstragschicht gelangen, daher muss die Dränschicht ein grobkörniges Substrat sein.

---

<sup>30</sup> Kolb und Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.61.

<sup>31</sup> vgl. Kolb und Schwarz, S.59ff.

<sup>32</sup> vgl. Kolb und Schwarz, S.64f.

Die Pflanzen bilden ihre Wurzeln bis zum Anstauhorizont aus, daher muss dieser mit möglichst geringen Schwankungen gehalten werden. Ansonsten drohen die Wurzeln bei zu langen Trockenheitsphasen auszutrocknen und bei zu viel angestaumtem Wasser, das nicht abgeführt wird, zu ersticken.

Für Extensivbegrünungen hingegen kann die Tröpfchenbewässerung auch bei Steildächern eingebaut werden. (Abb. 11) In der Dränschicht auf einer Schutzlage aus Kunststoffvlies wird ein Tropfschlauch eingebettet. Die Wasserzufuhr kann mit einem Feuchtesensor automatisch gesteuert werden, dieser ist jedoch nicht für rein mineralische oder grobkörnige Substrate geeignet.<sup>33</sup> Die Schläuche und Leitungen müssen korrosionsbeständig, frostsicher und vollständig zu entleeren sein. Problematische Stellen sind dabei die Eck-, Rand- und überdachten Bereiche, Stahlablenkungen oder Windabdriften, da diese nachbewässert werden müssen.<sup>34</sup>

Grauwasser kann mittels Pflanzenkläranlagen eine Zweitnutzung erhalten und stellt damit eine ökologische Variante der Bewässerung dar. Die Speicherung des aufbereiteten Wassers nimmt zur umfangreichen Bereitstellung von Wasser in Trockenheitsperioden eine große Rolle ein. Der kontinuierliche Anfall von Grauwasser erfordert ein geringes Speichervolumen gegenüber sporadisch anfallendem Regenwasser. Da dieses nicht nur bei gelegentlichen Starkregenereignissen anfällt, müssen Speicherkapazitäten nicht über lange Zeiträume bereitstehen. Folglich können auch Abwassersysteme und Kläranlagen entlastet werden. Retentionspeicher können sowohl Grauwasser als auch Regenwasser speichern und mittels Steuereinheit die Abgabe in bestimmten Mischverhältnissen erfassen und steuern.<sup>35</sup> (Abb. 12)

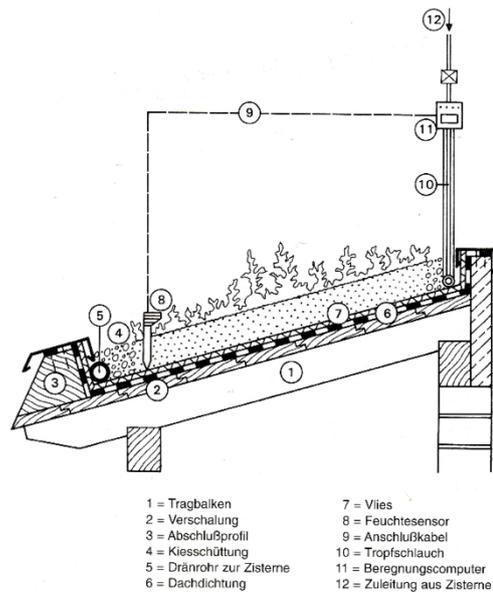


Abb. 11: Bewässerung Steildach, Quelle: Kolb und Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.122.

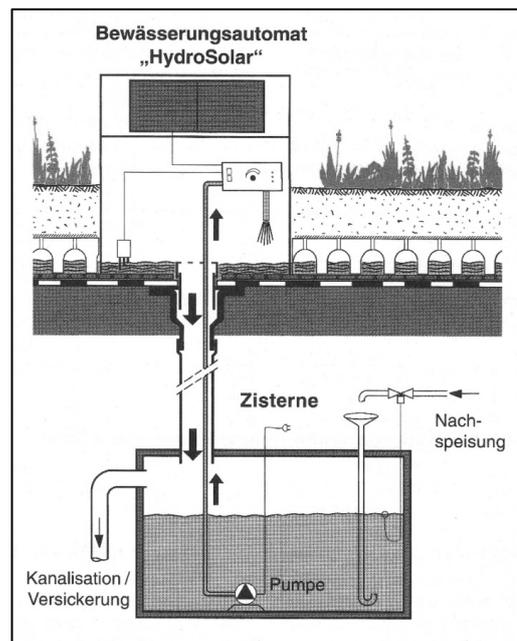


Abb. 12: Schema Bewässerungsautomat, Quelle: Zink, Das grüne Dach Standardwerk für Planung und Ausführung genutzter Dachflächen; Planungshilfe, Unterensingen 1998, S.10.

<sup>33</sup> vgl. Kolb und Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S. 118f.

<sup>34</sup> vgl. Lösken, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen Dachbegrünungsrichtlinie, Bonn 2008, S.44.

<sup>35</sup> vgl. Well u.a., Regen- und Grauwasser als alternative Wasserquelle für Vertikalbegrünung, GebäudeGrün (3) 2020, S.22f.

## 2.5 Energie und bauklimatische Aspekte

Welchen Wert Gründächer im städtischen Raum haben, wird nicht nur gestalterisch schnell deutlich, sondern auch ökologisch haben diese einen Mehrwert. Wie Menschen ihre bebaute Umwelt erleben, wirkt sich maßgeblich auf ihr Wohlbefinden aus. Den wohnungsnahen Raum mit Pflanzen zu besiedeln, ist durch Dachbegrünungen und Wandbegrünungen zumeist die einzige Möglichkeit. Auch wenn Dachgärten nicht für alle frei zugänglich sind, können sie visuell erlebt werden. Dies steigert erheblich den Erlebniswert einer Stadt.

Ebenso gewinnbringend ist, wie Dachbegrünungen durch Klimatisierung und Oberflächenwasserbewirtschaftung ökologisch wirksam werden. Besonders bei Sanierungen sollten Dachbegrünungen berücksichtigt werden, um die Natur ein Stück weit zurück in die Städte zu bringen.<sup>36</sup>

Im Nachfolgenden wird erläutert, welchen Mehrwert Gründächer vor allem im städtischen Raum für den Mensch und die Umwelt haben können. Neben dem baukonstruktiven Aspekt soll hier auch der bauklimatische Aspekt berücksichtigt werden. Besonders ausdrücklich kann auf die Langlebigkeit und Amplitudenregulation von Gründächern im Allgemeinen verwiesen werden.

### 2.5.1 Ökologische Ausgleichsfunktion

Die Baustoffe einer Dachkonstruktion „sind aufgrund von Temperaturspannungen durch Sonne und Frost, UV-Einstrahlung, Schwingungsbeanspruchung und Flatterbewegungen durch Winddruck und -sog, Umwelt, Hagelschlag und Vandalismus die am meisten beanspruchten Bauteile eines Gebäudes. [...] Der wirksamste Schutzpuffer und preiswerteste Langzeitschutz ist eine fachgerecht eingebaute Erdschicht.“<sup>37</sup>

Der Umgang mit Baustoffen ist besonders in der heutigen Zeit relevant. Auch wenn es stofflich noch keine perfekten nachhaltigen Alternativen gibt, kann bedachtes Planen und Bauen gewährleisten, dass die Beanspruchung der Baustoffe auf natürliche Weise verringert und ihre

---

<sup>36</sup> vgl. Kolb und Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S. 27.

<sup>37</sup> Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995, S.29.

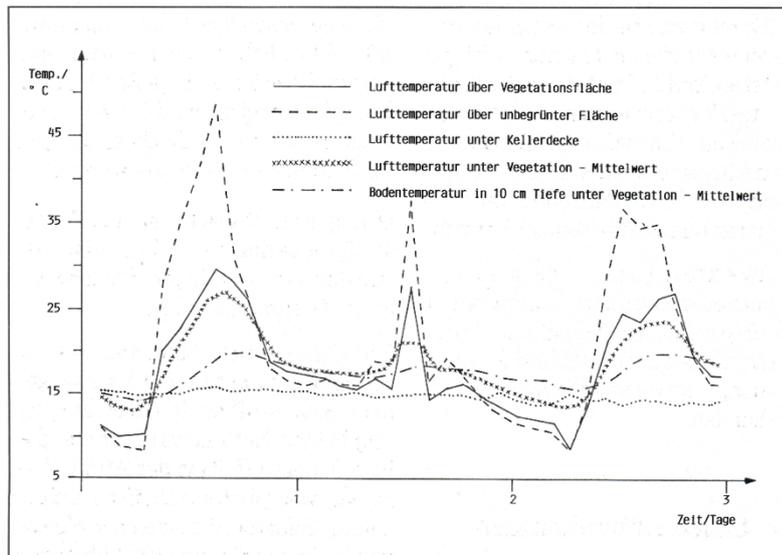


Abb. 13: Grafik Vergleich Lufttemperatur, Quelle: Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.12.

Lebensdauer verlängert wird. Zumeist besteht ihre Aufgabe nicht darin, allen Umwelteinflüssen standzuhalten, sondern zu dämmen, zu filtern oder zu dichten. Wenn diese Baustoffe durch Vegetationstragschichten vor Umwelteinflüssen geschützt sind, können sie höhere Bauwerkslebensdauern erreichen. Vegetationsbestände auf Dächern können auch zur Temperaturminderung von Innenräumen beitragen und wirken damit ähnlich wie ein sommerlicher Wärmeschutz. Sonstige Dachflächen heizen sich im Sommer bis zu 80 °C auf, wohingegen Pflanzen durch die stetige Wasserverdunstung Temperaturen zwischen 35 °C und 38 °C haben. (Abb. 13) Die immensen Temperaturschwankungen sind für ungeschützte Dächer generell eine Herausforderung und letztlich führen ständiges Dehnen und Schrumpfen zu rascher Materialalterung. Dachabdichtungen bei Gründächern hingegen liegen im temperaturkonstanten Bereich. Dank der ausgleichenden Wirkung der Vegetationsbestände bei Temperaturunterschieden und Verminderung der direkten Strahlungseinflüsse haben die Konstruktionsmaterialien eine längere Lebensdauer.<sup>38</sup> Dachbegrünungen speichern Niederschlagswasser, wodurch dem Effekt der Versiegelung vor allem im städtischen Bereich entgegengewirkt wird. Das Wasser wird nicht sofort abgeleitet, sondern von den Pflanzen genutzt, oder es verdunstet später. Die Folgen sind bessere Luftqualitäten und damit ein Beitrag zur Verbesserung der Umwelt. Für die Dachbegrünungen gilt daher, je höher die Wasserspeicherkapazitäten des Substrats und der Vegetation, desto besser die Wasserrückhaltung auf dem Gründach und damit die ökologische Ausgleichsfunktion. Pflanzen im Besonderen haben einen positiven Einfluss auf das Stadtklima, indem sie Staub binden, Windgeschwindigkeiten vermindern, transpirieren, Strahlungsreflexion minimieren und Temperaturschwankungen ausgleichen.<sup>39</sup>

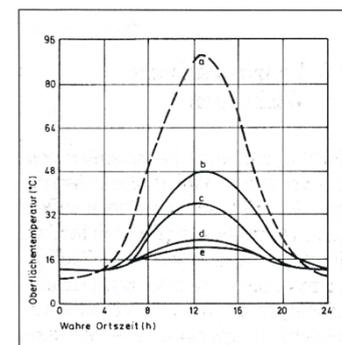
<sup>38</sup> vgl. Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.15.

<sup>39</sup> vgl. Krupka, S.11f.

Die Abwasserinfrastruktur und Wasseraufbereitungsanlagen in Städten sind bei Starkregeneignissen ohnehin wegen dem hohen Grad an Versiegelung stark beansprucht. Daher könnten Gründächer besonders in städtischen Gebieten einen positiven Ausgleich darstellen. Zum einen wirken sie dem Effekt der Versiegelung entgegen und zum anderen entlasten sie Abwasserkanäle und Kläranlagen. Es kann davon ausgegangen werden, dass Gründächer etwa die Hälfte des Niederschlagswassers zurückhalten. Aufgrund dessen gilt diese Fläche als teilversiegelt und es können sogar Abwassergebühren gespart werden.<sup>40</sup> Unter bio-ökologischen Gesichtspunkten sind Gründächer wichtig, weil sie einen Lebensraum und sogar Zufluchtsort für Tiere und Pflanzen darstellen. Viele Ackerkräuter, die früher geläufig waren, sind nun aufgrund von Bekämpfung mit Pflanzenschutzmitteln bedrohte Arten. Gründächer können diese bedrohten Arten erhalten, indem sie ihnen einen Raum zum Kultivieren geben. Wenn Insekten und bodenbrütende Vögel im städtischen Raum die Möglichkeit haben, Nahrung zu finden, siedeln sie sich dort auch wieder zunehmend an. Bauwerke könnten somit anstatt von einer biologischen Wüste eine biologische Insel inmitten von Städten sein.<sup>41</sup> Dies würde zunehmend einen Beitrag zur Änderung des Verständnisses von Städtebau hervorrufen und ökologische Notwendigkeiten in den baulichen Alltag integrieren.

## 2.5.2 Klima

Der Wohnraum unmittelbar unterhalb von Dächern hat sowohl im Sommer wie im Winter zumeist kein gutes Raumklima. Gründächer können etwaige Temperaturextreme der Region gut ausgleichen. Trotz der beachtlichen wärmedämmenden Wirkung sind Dachbegrünungen nicht Bestandteil der Wärmeschutzverordnung. Auch bezogen auf das Stadtklima werden hohe Temperaturen oberhalb der Dächer, die durch Sonneneinstrahlung entstehen, vermieden.<sup>42</sup> (Abb. 14) Die klimatischen Probleme in Städten sind jedoch tiefgründiger. Das Aufheizen von Gebäudeflächen bewirkt Luftumwälzungen und den Luftaustausch, was bei der vorhandenen Schadstoffbelastung wünschenswert wäre.<sup>43</sup> Die Emissionen können jedoch nicht von Gründächern allein kompensiert werden und sollten auch keine langfristige Lösung dafür darstellen, sondern lediglich eine ökologische Bereicherung sein.



Oberflächentemperaturen verschiedener Dächer:

- a) Bitumendach, schwarz
- b) Kiesschüttung, hell
- c) reflektierender heller Anstrich
- d) nass, bepflanzt
- e) bepflanzt

Abb. 14: Grafik Vergleich Oberflächentemperatur, Quelle: Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.12.

<sup>40</sup> vgl. Kolb, Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.18.

<sup>41</sup> vgl. Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.10ff.

<sup>42</sup> vgl. Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995, S.17f.

<sup>43</sup> vgl. Krupka, S.12f.

Dennoch ist die bauwerksbezogene Verbesserung des Klimas beachtlich. Bei Untersuchungen des Wärmedämmverhaltens von Gründächern in Hitze- und Kälteperioden im Jahr 2009 wird deutlich, wie amplitudenausgleichend sich Gründächer auswirken. In der beispielhaft ausgewählten Sommerwoche (Abb.15) verursacht die Außenlufttemperatur (schwarz) bei unbegrüntem Dachern (grau) Bauteiloberflächentemperaturen bis zu 40 Kelvin über den gemessenen Temperaturen, die bei begrünten Dächern in der Abdichtungsebene (bunt) herrschen. In der Winterwoche (Abb. 16) bestätigt sich die Annahme erneut, dass vor allem hohe Temperaturschwankungen durch höhere Substratschichten (Feld III, IV, V) ausgeglichen werden können. Interessant ist der Unterschied der Felder IV und V (Abb. 17), da das Feld IV eine höhere Dämmschichtdicke aufweist, die Oberflächentemperatur dennoch geringer ist. Der Unterschied besteht in der Art der Begrünung, auf Feld IV sind Vegetationsmatten verlegt und auf Feld V Grassoden.<sup>44</sup>

Damit die Baukonstruktion bauklimatisch die besten Werte erreicht, muss folglich nicht nur die Substratschicht ausreichend stark ausgebildet werden, sondern auch die Vegetationsform kann darauf Einfluss nehmen. Der Deckungsgrad der Vegetation spielt dabei eine maßgebende Rolle. Die Dämmschichtdicke hingegen bewirkt in dieser Untersuchung nur zweitrangig einen Ausgleich der Temperaturamplituden. Dementsprechend wichtig und wirksam ist es tatsächlich eine Dachbegrünung zu verwirklichen und nicht ausschließlich große Wärmedämmschichten zu dimensionieren.

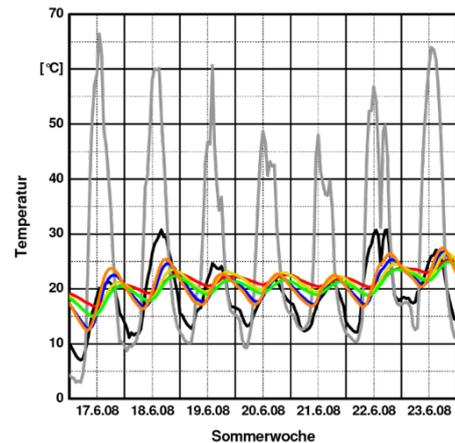


Abb. 15: Grafik Temperatur Sommer, Dr.-Ing. Frank Otto u.a., Abschlussbericht-Ermittlung des Wärmedämmverhaltens von Gründächern, 2009, URL: <https://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-24242.pdf> (Stand:07.07.2022), S.7.

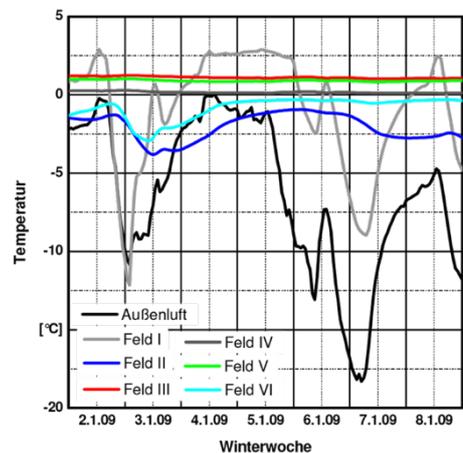


Abb. 16: Grafik Temperatur Winter, Dr.-Ing. Frank Otto u.a., S.4.

Feld Nr.	Dämmschichtdicke [cm]	Substratschichtdicke [cm]	Vegetationsform
I	20	0	–
II	20	8	Vegetationsmatte, Nr. 2
III	20	15	Grassoden, Nr. 1
IV	20	15	Vegetationsmatte, Nr. 2
V	10	15	Grassoden, Nr. 1
VI	10	8	Vegetationsmatte, Nr.3

Abb. 17: Beschriftung zu Abb.14&15, Dr.-Ing. Frank Otto u.a., S.11.

<sup>44</sup> vgl. Dr.-Ing. Frank Otto u.a., Abschlussbericht-Ermittlung des Wärmedämmverhaltens von Gründächern, 2009, URL: <https://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-24242.pdf> (Stand:07.07.2022), S.7ff.

### 2.5.3 Brandschutz

Die DIN 4102-4 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ beinhaltet keine besonderen Bestimmungen für Gründächer. Jedoch können Intensivbegrünungen als „Harte Bedachung“ betrachtet werden und sind somit gegen Flugfeuer widerstandsfähig. In den FLL Dachbegrünungsrichtlinien werden Extensivbegrünungen als ausreichend widerstandsfähig eingestuft, wenn sie bestimmte Eigenschaften aufweisen können. Konkrete Vorgaben können in den Bundesländern abweichen.<sup>45</sup>

Pflanzentragschichten für Biotopbegrünungen sind mineralisch und können selbst einer hohen Brandlast standhalten. Ältere Bauten mit Holzzementdächern und Abdeckungen aus Kies oder Lehm erwiesen sich ebenfalls als sehr brandresistent. Folglich gelten Biotopbegrünungen als „Harte Bedachung“, da „bis ca. 8 cm Stärke [...] aufgrund des lockeren Pflanzenbestandes und geringerer Pflanzenhöhe eine Brandgefährdung der Trockenstandortvegetation auszuschließen“<sup>46</sup> ist. Extensivbegrünungen sind mit ihrer Vegetation und durch Wasser- und Nährstoffzufuhr gefährdeter. Es besteht die Gefahr eines sich selbst entzündenden Oberflächenbrandes, wenn in Hitzeperioden die Vegetation stark austrocknet. Dem entgegenwirkend sollte bei den Substratbestandteilen auf „brennbare Zusätze wie Kunststoff-Flocken, erhöhte Torf- und organische Zuschläge etc., die einen Schwelbrand im Untergrund begünstigen können“<sup>47</sup> verzichtet werden.<sup>48</sup> Angesprochene, in den FLL Dachbegrünungsrichtlinien geforderte, Eigenschaften der Extensivbegrünungen sind daher eine „mineralisch bestimmte Zusammensetzung der Vegetationstragschicht und 3 cm Mindestschichtdicke; Vegetationsformen mit geringer Brandlast; Abstandsstreifen aus massiven Platten oder Grobkies [...]; alle 40 m eine 30 cm hohe Aufkantung aus nichtbrennbaren Stoffen oder ein 1 m breiter Streifen aus massiven Platten oder Grobkies, wenn die Brandwände nicht über das Dach hinaus geführt werden müssen.“<sup>49</sup>

Eine Brandschutzuntersuchung aus dem Jahr 2011 der Firma ZinCo AG bestätigt, dass begrünte Dächer zu den „harten Bedachungen“ zählen. (Abb. 18) Auf den begrünten Dachaufbauten, mit verschiedenen Sedum Arten wurden zwei Brandsätze und ein zusätzlicher Luftstrom aus einem Gebläse eingesetzt. Die Vegetation hielt dem Feuer test stand und die Brandsätze erloschen nach 12 Minuten von selbst, ohne dass die Vegetation Feuer fing.

---

<sup>45</sup> vgl. Lösken, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen Dachbegrünungsrichtlinie, Bonn 2008, S.33f.

<sup>46</sup> Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995, S.27.

<sup>47</sup> Drefahl, S.27.

<sup>48</sup> vgl. Drefahl, S.26f.

<sup>49</sup> Lösken, S.34.

Es fand weder eine flächige Brandausbreitung noch ein Durchbrennen statt. Es hat lediglich eine Austrocknung im Bereich um die Brandsätze gegeben. Der Versuch zeigte, dass einige Dachbegrünungen die Ausbreitung des Feuers verhindern können und keine Brandübertragung in das Innere des Gebäudes stattfindet.<sup>50</sup>



Abb. 18: Brandschutzuntersuchung, Quelle: Appl, ZinCo-Neue Brandschutzuntersuchungen an begrünten Dächern, URL: <https://www.zinco.de/brandschutz-untersuchungen> (Stand:06.07.2022), S.1.

#### 2.5.4 Schallschutz

Allgemein können Dachbegrünungen dazu beitragen, dass eine Lärminderung durch Schallabsorption und die Minderung der Schallreflexion eintritt. Dabei ist der Grad der Schallabsorption von dem Aufbau abhängig und wird maßgebend von der Masse der Substratschicht beeinflusst. Die Schallreflexion ist dahingegen merklich von dem Deckungsgrad der Vegetation abhängig.

Einer Untersuchung von Lagström aus dem Jahr 2004 zufolge sollen Dächer in feuchtem Zustand zu einer höheren Lärminderung beitragen. Eine andere Untersuchung von HOSANNA zeigte außerdem, dass begrünte Schrägdächer gegenüber begrünten Flachdächern zu einer höheren Lärminderung beitragen können. Dachbegrünungen können außerdem positive trittschalldämmende Eigenschaften aufweisen, die zum Beispiel bei Nutzungen von Dachterrassen den dabei entstehenden Körperschall mindern.<sup>51</sup>

---

<sup>50</sup> vgl. Appl, ZinCo-Neue Brandschutzuntersuchungen an begrünten Dächern, URL: <https://www.zinco.de/brandschutz-untersuchungen> (Stand:06.07.2022), S.1.

<sup>51</sup> vgl. Mann, Lärminderung durch Gebäudebegrünung, 2019, URL: <https://www.derbauleiter.info/laerminderung-durch-gebäudebegrünung/> (Stand:02.06.2022), S.12f.

### 3 Dokumentation

Die Dokumentation dient dem Modellprojekt, der Überwachung der Zusammenhänge und Abhängigkeiten der Messwerte, bezogen auf die jeweiligen Feldbedingungen. Um darüber vergleichend Aussagen treffen zu können, wird jedes Feld im gleichen Raster dokumentiert. Die Felder unterscheiden sich maßgeblich hinsichtlich der Bewässerungsmenge und des Standortes, sodass die Auswirkungen dieser Komponenten bei gleicher Gründachvariante, Konstruktionsaufbau, Vegetationstragschicht und Vegetation untersucht werden können. Durch eine geringere Komponentenvariation können Veränderungen mit höherer Wahrscheinlichkeit auf ihre Ursache zurückgeführt werden und daraus Erkenntnisse erlangt werden. Für diese Arbeit stehen die Auswirkungen der unterschiedlich starken Sonneneinstrahlung und der variierenden Wasserzufuhr auf den Konstruktionsaufbau im Mittelpunkt. Dafür wären Temperaturunterschiede der Oberflächentemperaturen und Abflussmengen relevante Messwerte.



Abb. 19: Stadtplan Dresden-Zentrum mit Verortung Botanischer Garten, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022.

### 3.1 Gründachprojekt Einleitung

Das Projektdach mit den einzelnen Forschungsfeldern befindet sich auf dem Gelände des Botanischen Gartens der TU Dresden. (Abb. 19) Das Gelände verfügt über zwei Wetterstationen, die Messwerte für das Projekt liefern.

Die Wetterstation des Botanischen Gartens (Abb. 20) liefert lokale Wetterdaten. Das Forschungsprojekt hat eine eigene meteorologische Wetterstation, die die folgenden Kennwerte aufzeichnet: Luftfeuchte, Temperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Net-Radiation (Sonnenstrahlung, Geostrahlung) und Niederschlag. (Abb. 21) Die an den Forschungsfeldern durchgeführten Untersuchungen sollen somit direkt in Bezug zu den aufgezeichneten Messungen der Wetterstationen gesetzt werden können.



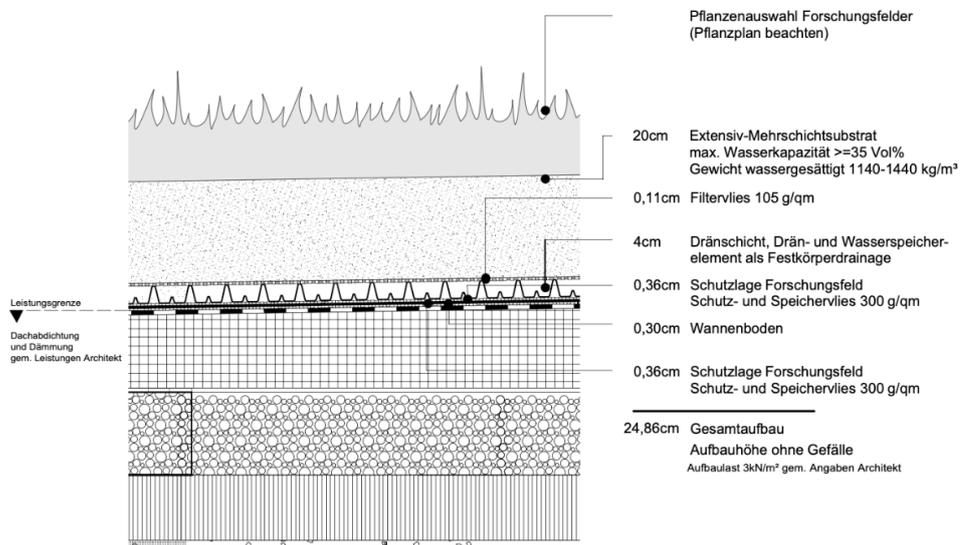
Abb. 20: Fotografie Wetterstation Botanischer Garten, Quelle: Reinfried, Wetterstation Botanischer Garten auf dem neuesten Stand, URL: [https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/archiv/2016/10/pm\\_101.php](https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/archiv/2016/10/pm_101.php) (Stand:05.07.22).



Abb. 21: Fotografie Wetterstation Forschungsprojekt, Quelle: Material Modellprojekt Integrales Wassermanagement (Stand:09.07.2022).

### 3.2 Gründach Aufbauprinzip und Begrünungsvarianten

Diese Kapitel erläutert umfassend den einheitlichen Schichtaufbau (Abb. 22) und die Eigenschaften der gewählten Materialien im Versuchsaufbau, um die Möglichkeiten der Wasseraufnahme, die Wasserspeicherung und die Vegetationsentwicklung zu erfassen.



Detail A | M 1:10  
Einfache Intensivbegrünung Forschungsfelder

Abb. 22: Detail Schichtaufbau Forschungsfelder, Quelle: Institut für Landschaftsarchitektur TU Dresden, (Stand:06.05.2019).

Es handelt sich bei den Gründachaufbauten um eine Ausführung in Form einer einfachen Intensivbegrünung. Die Vegetationstragschicht besteht aus Extensiv-Mehrschichtsubstrat von *Optigrün E* (Abb. 23), womit ein breites Pflanzenspektrum durch die stabile Struktur erreicht werden kann. Dem Produktdatenblatt kann entnommen werden, dass das Substrat den FLL-Richtlinien entspricht.<sup>52</sup>

<b>Material (Hauptbestandteile)</b>	Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost. Je nach Region in variabler Zusammensetzung.
<b>Gewicht trocken (verdichtet)</b>	mind. 750 kg/m <sup>3</sup> (leichte Variante) mind. 1.000 kg/m <sup>3</sup> (schwere Variante)
<b>Gewicht wassergesättigt (verdichtet)</b>	1.140-1.440 kg/m <sup>3</sup> (leichte Variante) 1.320-1.680 kg/m <sup>3</sup> (schwere Variante)
<b>max. Wasserkapazität</b>	>= 35 Vol%
<b>pH-Wert</b>	6,0 - 8,5
<b>Salzgehalt</b>	<= 3,5 g/l
<b>Wasserdurchlässigkeit</b>	>= 0,6 mm/min
<b>Verdichtungsfaktor</b>	1,2
<b>organische Substanzen</b>	< 65 g/l
<b>Gesamtporenvolumen</b>	> 60 - 70 Vol%
<b>Lieferform</b>	- lose geschüttet mit offenem LKW - geblasen im Silo-LKW - im Big-Bag mit offenem LKW - als Sackware auf Europalette per Spedition

Abb. 23: Ausschnitt Datenblatt, Quelle: Optigrün, Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/Datenblaetter/Optigruen\\_Datenblaetter\\_NEUES\\_LAYOUT/04%20Substrate/Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/Datenblaetter/Optigruen_Datenblaetter_NEUES_LAYOUT/04%20Substrate/Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E_01.pdf) (Stand:18.05.2022), S.1.

<sup>52</sup> Optigrün, Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/Datenblaetter/Optigruen\\_Datenblaetter\\_NEUES\\_LAYOUT/04%20Substrate/Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/Datenblaetter/Optigruen_Datenblaetter_NEUES_LAYOUT/04%20Substrate/Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E_01.pdf) (Stand:18.05.2022), S.1.

Darunter schließt das Filtervlies *Optigrün FIL 105* (Abb. 24) an und trennt die Substratschicht von der Dränschicht. Es ist ein Endlofaservlies, das wasserdurchlässig ist. Die Funktion besteht in der horizontalen Filterung von Feinanteilen, die sonst durch Niederschlag aus dem Substrat ausgespült werden würden. Besonders nennenswerte Eigenschaften sind die hohe Festigkeit und die Wiederverwertbarkeit.<sup>53</sup>

Material	PP (Polypropylen)
Nennstärke	ca. 1,1 mm
Flächengewicht	ca. 105 g/m <sup>2</sup>
Farbe	grau
Geobustheitsklasse	GRK 2
mechanische Filterwirksamkeit	0,06 ≤ gew. O <sub>90</sub> ≤ 0,2 mm (EN ISO 12956)
Höchstzugkraft längs/quer	7,5 / 7,5 kN/m (EN ISO 10319)
Dehnung längs/quer	90 / 75 % (EN ISO 10319)
Stempeldurchdrückkraft	1.200 N (EN ISO 12236)
vertikale Wasserdurchlässigkeit	130 l/s x m <sup>2</sup> (EN ISO 11058)
Menge/Liefereinheit	200 m <sup>2</sup> /Rolle = 2,0 x 100,0 m 2.200 m <sup>2</sup> /Palette
Lieferform	11 Rollen auf Europalette 80 x 120 cm
Packmaß	Durchmesser ca. 0,28 m, Höhe ca. 2,0 m / pro Rolle
Liefergewicht	ca. 21,0 kg/Rolle - ca. 255,0 kg/volle Europalette
mechanisch verfestigt	ja
detektorgeprüft	ja

Abb. 24: Ausschnitt Datenblatt, Quelle: Optigrün, Optigrünen-Filtervlies-FIL-105\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Fliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Fliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf) (Stand:18.05.2022), S.1.

Das Drän- und Wasserspeicherelement, das unter dem Filtervlies liegt, ist aus tiefgezogenem HDPE-Regenerat von *Optigrün FKD 40*. (Abb. 25) Das Element ist „mit Wasserspeicherfunktion, unterseitigem Kanalsystem zur Dränierung sowie mit Diffusions- und Entwässerungsbohrungen zum Einsatz bei Extensiv- und einfachen Intensiv-Begrünungen in mehrschichtiger Bauweise“<sup>54</sup> geeignet. Es ist ebenfalls recycelbar und zeichnet sich durch geringes Gewicht und hohe Dränleistung aus. Überschusswasser wird gezielt und sicher abgeleitet, wodurch es sich auch für Flachdächer ohne Gefälle eignet.<sup>55</sup>

Material	HDPE-Recycling-Regenerat
Nennstärke	ca. 40 mm
Flächengewicht	ca. 2.300 g/m <sup>2</sup>
Farbe	schwarz/grau
max. Druckfestigkeit unverfüllt	ca. 144 kN/m <sup>2</sup> (nach DIN EN ISO 25619-2) bei 8,4 % Stauchung
max. Druckfestigkeit verfüllt	ca. 280 kN/m <sup>2</sup> bei 10 % Stauchung und 2,0 cm Überfüllung
Wasserleitvermögen (DIN EN ISO 12958)	Gemessen bei σ=20 kPa, weich/hart, MD, mit oberseitiger Filtervliesauflage Typ 105: i = 0,01 (=1 % Gefälle): 1,60 l/(m*s) i = 0,02 (=2 % Gefälle): 2,31 l/(m*s) i = 0,05 (=5 % Gefälle): 3,76 l/(m*s) i = 1 (senkrecht): 16,64 l/(m*s)
Entflammbarkeit	Baustoffklasse E, gemäß DIN EN 13501, geprüft nach DIN EN ISO 11925-2
Wasserspeicher (unverfüllt)	kleine Noppe nach oben (Schriftzug lesbar): ca. 8,7 l/m <sup>2</sup>
Füllvolumen	kleine Noppe nach oben (Schriftzug lesbar): ca. 16,0 l/m <sup>2</sup>
Menge/Liefereinheit	2 m <sup>2</sup> /Platte = 2,0 x 1,0 m 600 m <sup>2</sup> /Einwegpalette
Lieferform	600 m <sup>2</sup> auf Einwegpalette 2,05 x 1,05 m
Packmaß	LxBxH 2.000 x 1.000 x 40 mm
Liefergewicht	ca. 4,6 kg/Platte - ca. 1.405,0 kg/volle Einwegpalette LxBxH 2,05x1,05x1,50 m

Abb. 25: Ausschnitt Datenblatt, Quelle: Optigrün, Optigrünen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Draenelemente/14868-Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Draenelemente/14868-Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf) (Stand:18.05.2022), S.1.

<sup>53</sup> vgl. Optigrün, Optigrünen-Filtervlies-FIL-105\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Fliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Fliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf) (Stand:18.05.2022), S.1.

<sup>54</sup> Optigrün, Optigrünen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Draenelemente/14868-Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Draenelemente/14868-Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf) (Stand:18.05.2022), S.1.

<sup>55</sup> vgl. Optigrün, Optigrünen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf, S.1.

Das Schutz- und Speichervlies von *Optigrün RMS 300* (Abb. 26) ist ein Kombielement. Es schützt die Dachabdichtung, trennt sie von materialunverträglichen Stoffen und speichert Wasser und Nährstoffe. Das Vlies besteht aus Recycling-Kunststofffasern. Es kann nicht verrotten, aber recycelt werden.<sup>56</sup> Die vegetationstechnischen Schichten schließen im Anschluss mit dem Boden der Wannen ab. Die Dachabdichtung, die Wärmedämmung und die übrigen konstruktions-technischen Schichten des Daches folgen darunter, wovon der eigentliche Gründach-aufbau unberührt bleibt.

Material	PP/PES/Acryl-Recyclingfasern
Nennstärke	ca. 3,6 mm
Flächengewicht	ca. 300 g/m <sup>2</sup>
Farbe	Multicolor mit Aufdruck
Geobustheitsklasse	GRK 2
Wasserspeicher	ca. 2,0 l/m <sup>2</sup>
Liefergewicht	ca. 30,0 kg/Rolle - ca. 205,0 kg/volle Europalette
Packmaß	Durchmesser ca. 0,45 m, Höhe ca. 2,0 m / pro Rolle
Menge/Liefereinheit	100 m <sup>2</sup> /Rolle = 2,0 x 50,0 m 600 m <sup>2</sup> /Europalette
Lieferform	6 Rollen auf Europalette 80 x 120 cm
Lagerung	trocken und UV-geschützt
mechanisch verfestigt	ja
detektor geprüft	ja
verrottungsfest	ja

Abb. 26: Ausschnitt Datenblatt, Quelle: Optigrün, Optigruen-Trenn-Schutz-und-Speichervlies-RMS-300\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf) (Stand:18.05.2022), S.1.

Die Forschungsfelder sind mit verschiedenen Messgeräten ausgestattet, die beispielsweise das Wasserspeicherverhalten oder die Verdunstungskapazität der verschiedenen Felder im Verlauf eines Jahres ermitteln. Betrachtete Aspekte sind dabei beispielsweise die Evapotranspirationsmenge oder das Retentionsvermögen.<sup>57</sup>



Abb. 27: Fotografie Pflanzenkläranlage, Quelle: Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.12.

Bewässert werden die Forschungsfelder mithilfe einer Tröpfchenbewässerung mit aufbereitetem Grauwasser. Das anfallende Abwasser aus Duschen und Waschbecken wird mithilfe einer Pflanzenkläranlage (Abb. 27) gereinigt. Diese dient zusätzlich als Zwischenspeicher. „Gemessen werden in den 21 Testfeldern die zur Bewässerung eingesetzte Wassermenge, das im Substrat gespeicherte Wasser und die über den Überlauf abgelaufene Wassermenge.“<sup>58</sup>

<sup>56</sup> vgl. Optigrün, Optigruen-Trenn-Schutz-und-Speichervlies-RMS-300\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf) (Stand:18.05.2022), S.1.

<sup>57</sup> vgl. Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022, S.28f.

<sup>58</sup> Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022, S.29.

### 3.3 Testfelder

Der Versuchsaufbau befindet sich auf einer Höhe von circa 1,3 m gegenüber dem umliegenden Gelände, da es sich um ein Sockelgeschoss eines Nebengebäudes handelt. Diese Höhe entspricht dennoch einer realen Einbausituation von beispielsweise einsehbaren Dachflächen von Gebäuden mit unterschiedlichen Höhenstaffelungen oder begrünten Garagen, bei denen einfache Intensivbegrünungen Anwendung finden.<sup>59</sup>

Im Südwesten neben dem Versuchsaufbau befindet sich ein Verwaltungsgebäude, das aufgrund seiner Größe für verschiedene Verschattungssituationen auf den Forschungsfeldern sorgt. Auf dem Dach sind insgesamt 21 Forschungsfelder mit einer jeweiligen Größe von 3,5 m<sup>2</sup> umgesetzt worden. Diese sind als Aluminium-Wannen mit einer Höhe von 30 cm und Abmessungen von 1,03 m \* 3,50 m bzw. 1,88 m \* 1,88 m umgesetzt.

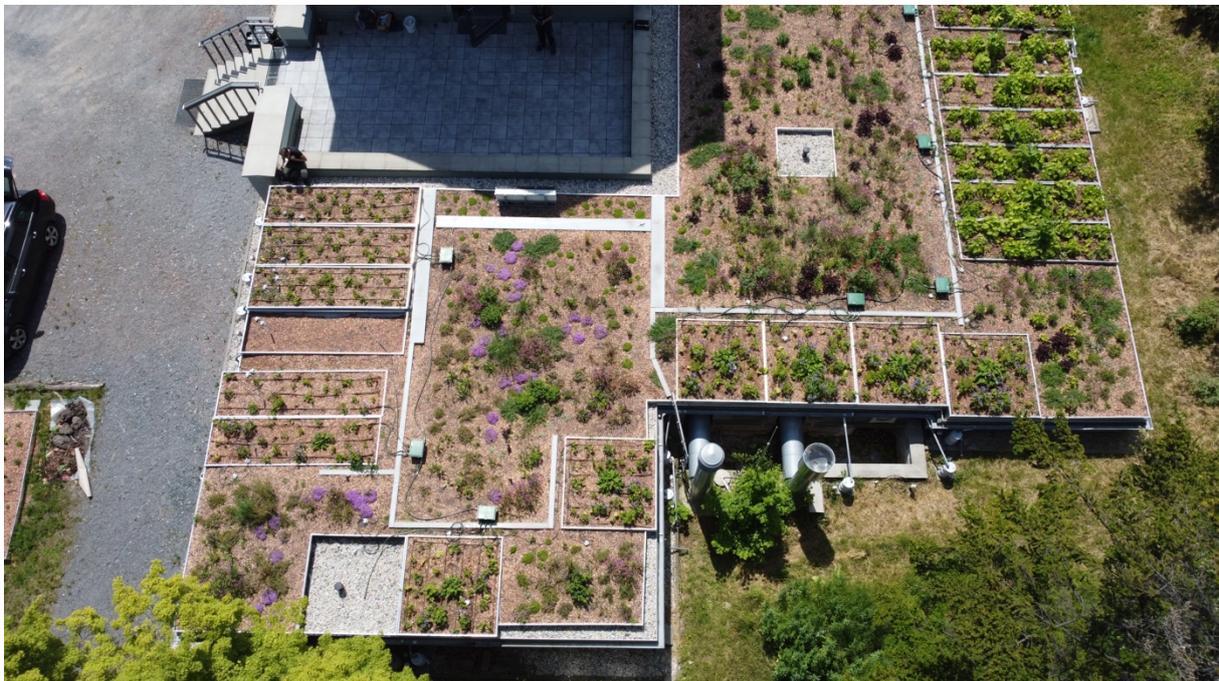


Abb. 28: Drohnenaufnahme Testfelder von schräg oben Norden, Quelle: Material Modellprojekt Integrales Wassermanagement (Stand:09.07.2022).

---

<sup>59</sup> vgl. Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.7.

Zunächst wird die konkrete Lage der Testfelder vorgestellt, da die Standortbedingungen im Großen wie im Kleinen relevant für die Einordnung der Messwerte sind. Lage-, Bepflanzungspläne und Schattendiagramme dienen der Verortung auf dem Gelände des Forschungsprojektes und Einschätzung der Standortgegebenheiten. (Abb. 29)

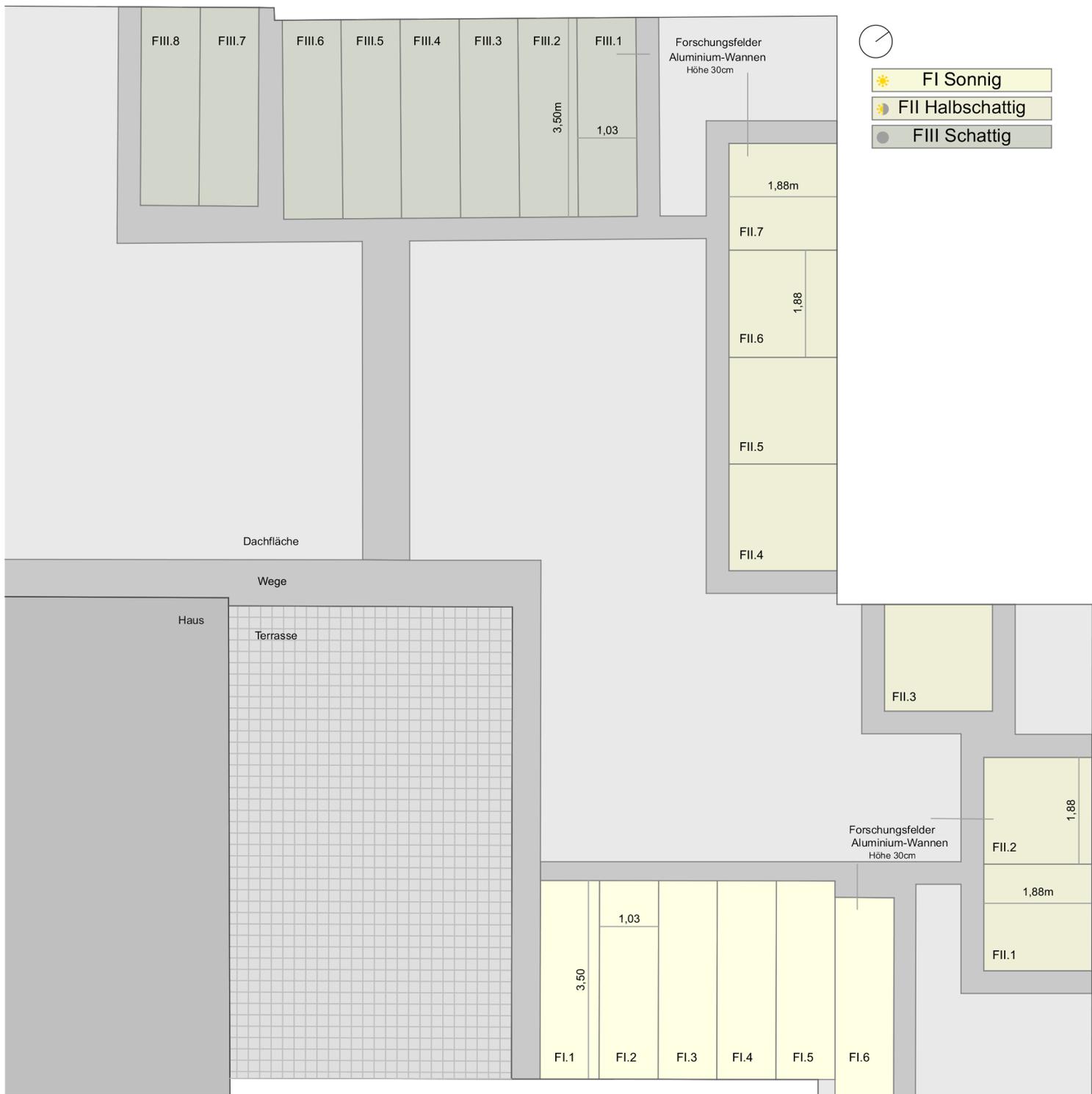


Abb. 29: Aufsicht Gründachprojekt-Dachaufbau, Standort, M1:100, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann.

Dem Bewässerungsplan sind die Intervalle zu entnehmen, wie oft die Testfelder zusätzlich bewässert werden. Außerdem sind die Gefälle des Dachs inklusive der Neigungsrichtungen vermerkt. (Abb. 30)

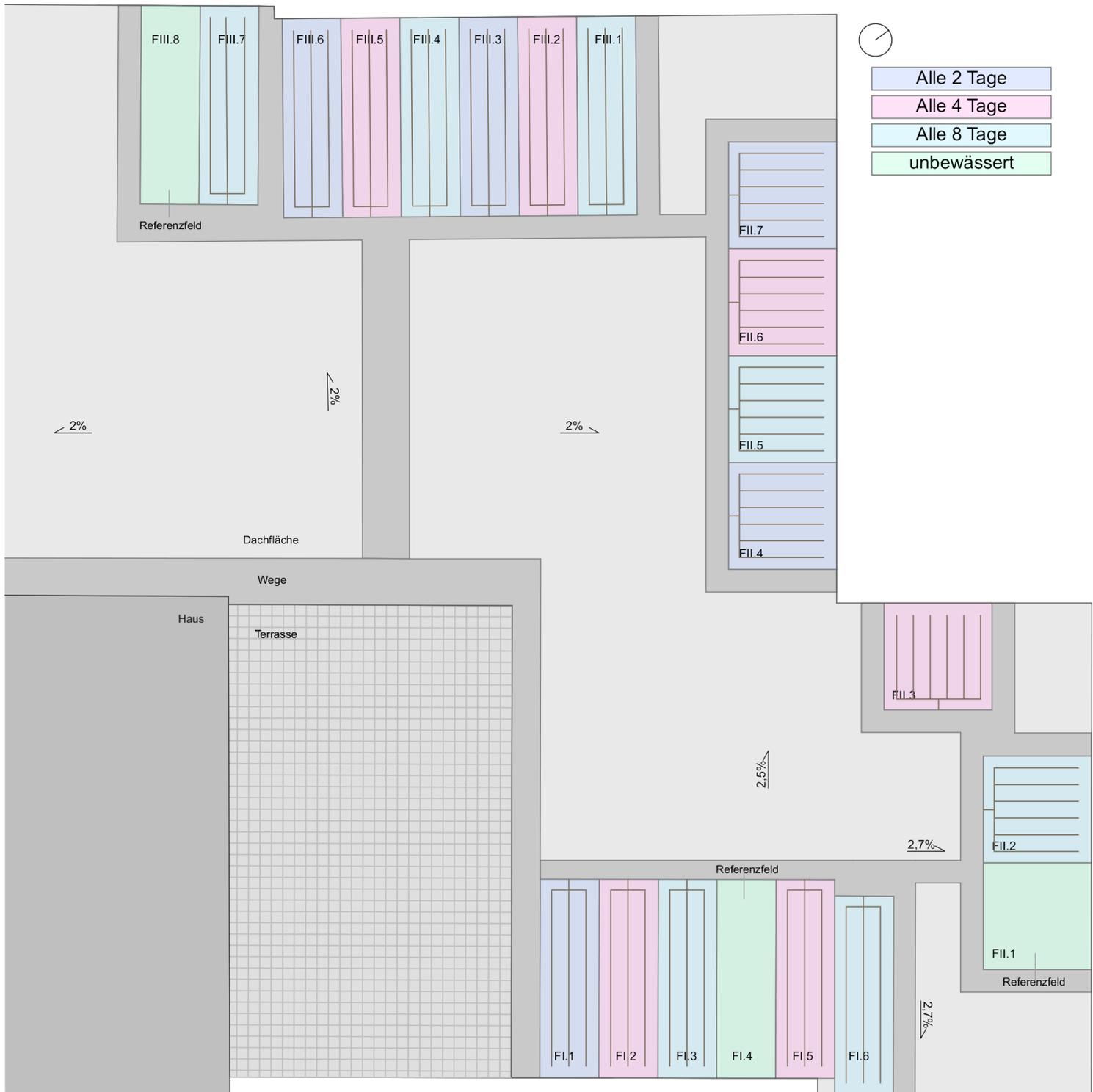


Abb. 30: Aufsicht Gründachprojekt-Dachaufbau, Bewässerung, M1:100, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann.

Der Bepflanzungsplan gibt die Positionen und Arten der Vegetation auf den Feldern an. Es wird ersichtlich, welche Pflanzen auf welchen Feldern und mit welcher Bewässerungsmenge ausgefallen sind und nachgepflanzt werden mussten. Die Nachpflanzungen beziehen sich auf den 30.03.2022. (Abb. 31)

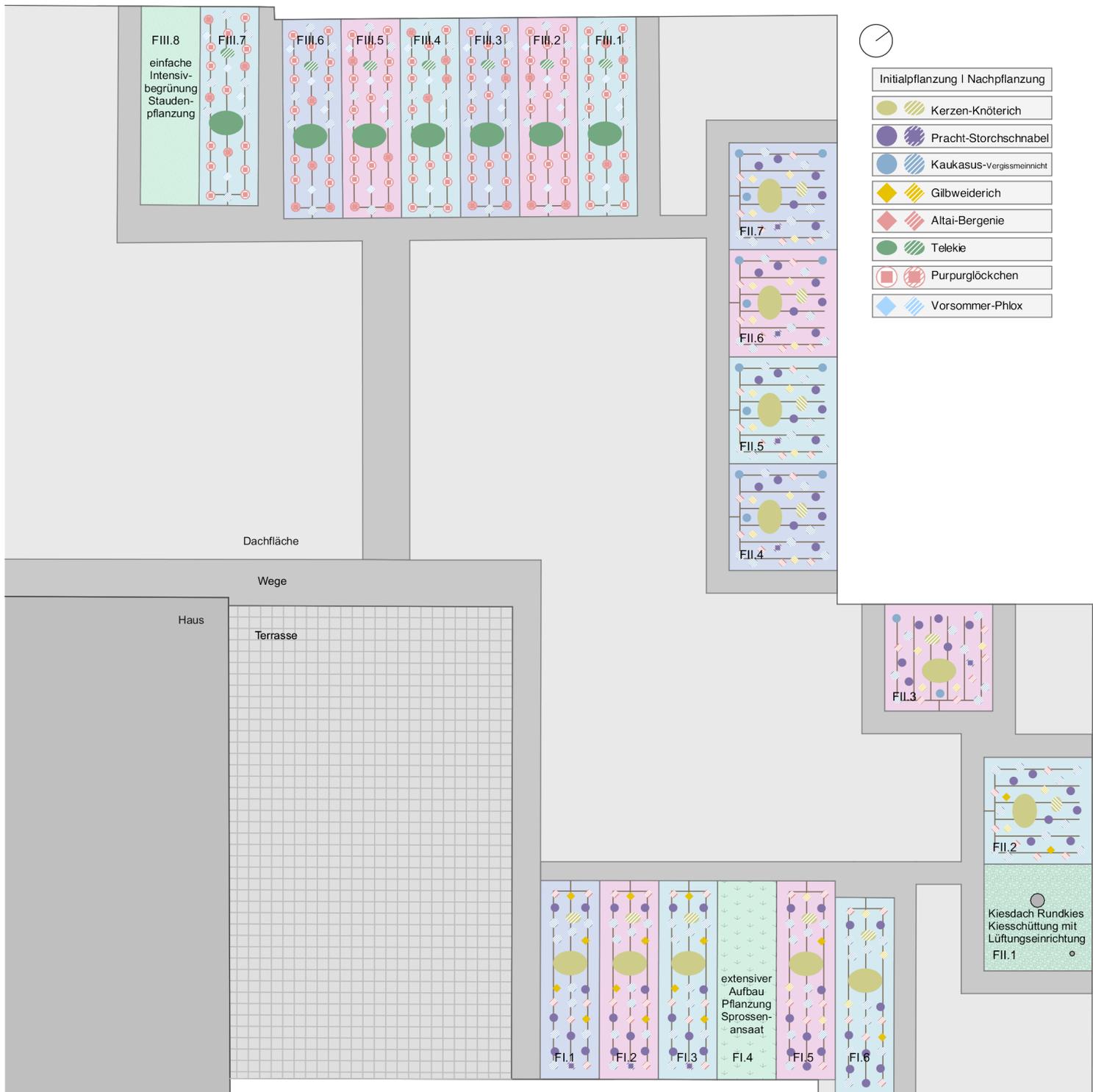


Abb. 31: Aufsicht Gründachprojekt-Dachaufbau, Bepflanzung Stand 30.03.2022, M1:100, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann.

## Forschungsfeld FI.1

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

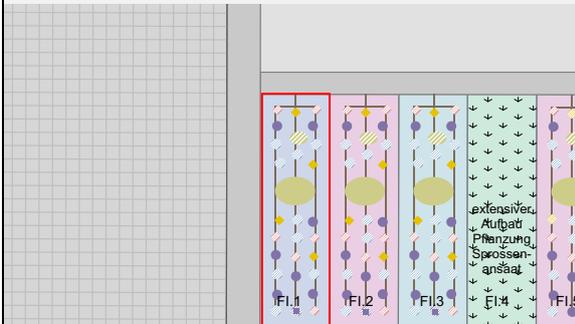
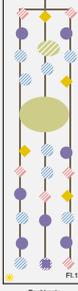


Abb. 32: FI.1 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

**Legende**  
 Intensivpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Polygonum amplexicaule  
 ● Kerzen-Knöterich  
 ● Geranium x magnificum Rosemoore  
 ● Pracht-Storchschnabel  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kaukasus-Vergersprenzel  
 ● Lysimachia punctata  
 ● Gelbweiderich  
 ● Bergenia cordifolia  
 ● Alta-Bergenia

Stand 30.03.2021

Dachkante



**Legende**  
 Intensivpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Teleskia speciosa  
 ● Teleskia  
 ● Heuchera villosa var. Macrorrhiza  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kaukasus-Vergersprenzel  
 ● Phlox idahensis  
 ● Viorneamarphosa

**Legende**  
 Standort

● Sonnig  
 ● Halbschattig  
 ● Schattig

### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell sonnig, Südostkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 2 Tage, maximal

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost

### PFLANZENAUSWAHL

Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FI.2

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

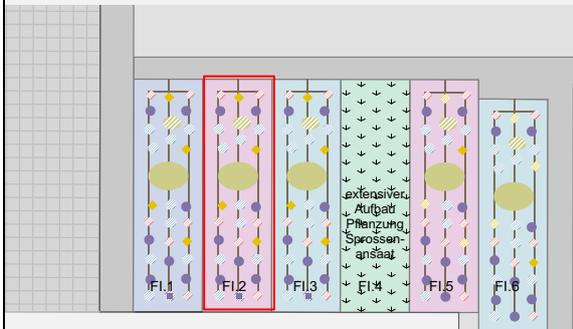


Abb. 33: FI.2 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

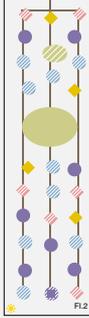
- Legende**  
 Intimpflanzung | Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmichicht
  - Lysimachia punctata
  - Gelbweiderich
  - Bergenia cordifolia
  - Atlas-Bergenie

- Legende**  
 Intimpflanzung | Nachpflanzung
- Tadelia speciosa
  - Tadelia
  - Heuchera villosa var. Macrorhiza
  - Püpperglöckchen
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmichicht
  - Phlox idahensis
  - Voronin-Phlox

- Legende**  
 Standort
- ☀ Sonnig
  - ☀ Halbschattig
  - Schattig

Stand 30.03.2021

Dachmitte



Dachkante

<b>KONSTRUKTION</b>	0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300), 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40), 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)
<b>BEGRÜNUNGSART</b>	Einfache Intensivbegrünung
<b>STANDORT</b>	Tendenziell sonnig, Südostkante
<b>BEWÄSSERUNG</b>	Alle 4 Tage, medial
<b>VEGETATIONSTRAGSCHICHT</b>	19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost
<b>PFLANZENAUSWAHL</b>	Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FI.3

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

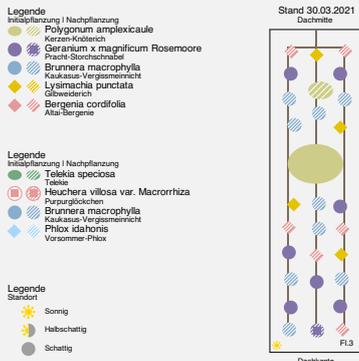
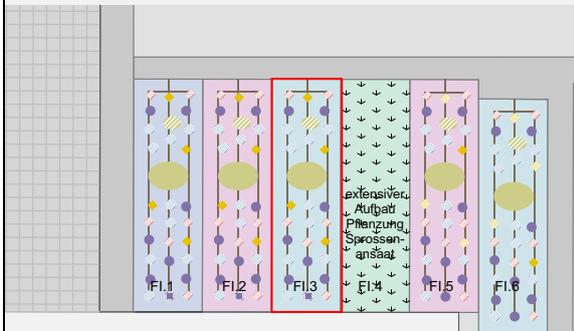


Abb. 34: FI.3 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

<b>KONSTRUKTION</b>	0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300), 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40), 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)
<b>BEGRÜNUNGSART</b>	Einfache Intensivbegrünung
<b>STANDORT</b>	Tendenziell sonnig, Südostkante
<b>BEWÄSSERUNG</b>	Alle 8 Tage, minimal
<b>VEGETATIONSTRAGSCHICHT</b>	19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost
<b>PFLANZENAUSWAHL</b>	Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FI.4 Referenzdach

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

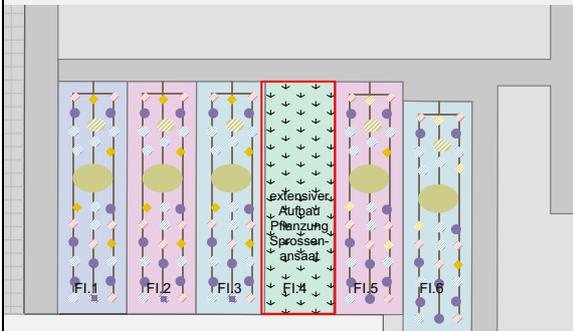


Abb. 35: FI.4 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

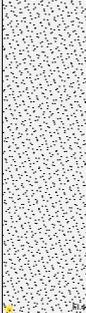
- Legende**  
 Initialpflanzung | Nachpflanzung
- *Polygonum amplexicaule*
  - Kerzen-Knöterich
  - *Geranium x magnificum* Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - *Brunnera macrophylla*
  - Kaulstauden-Vergrünemisch
  - *Lysimachia punctata*
  - Glöckchen
  - *Bergenia cordifolia*
  - Altai-Bergene

- Legende**  
 Initialpflanzung | Nachpflanzung
- *Tetelia spaciola*
  - Teufels
  - *Heuchera villosa* var. *Macrorrhiza*
  - Papurglöckchen
  - *Brunnera macrophylla*
  - Kaulstauden-Vergrünemisch
  - *Phlox idahoensis*
  - Vorwimmer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- Sonnig
  - Halbschattig
  - Schattig

Stand 30.03.2021

Dachmitte



Dachkante

### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Extensive Dachbegrünung

### STANDORT

Tendenziell sonnig, Südostkante

### BEWÄSSERUNG

unbewässert

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

Keine Information, vermutlich: 19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost

### PFLANZENAUSWAHL

Pflanzung Sprossenansaat

## Forschungsfeld FI.5

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

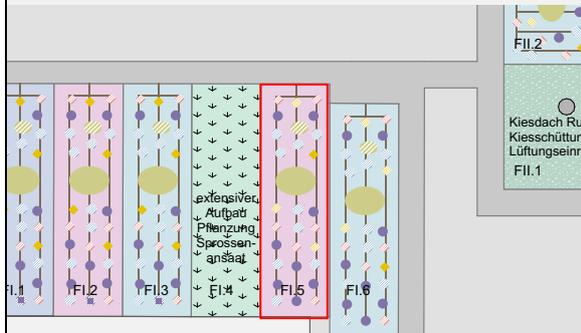


Abb. 36: FI.5 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

**Legende**  
Inisäplanzung | Nachplanzung

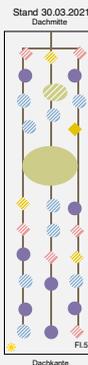
- Polygonum amplexicaule
- Kerzen-Knöterich
- Geranium x magnificum Rosemoore
- Pracht-Storachschnabel
- Brunneria macrophylla
- Kaukasus-Vergrisenmönch
- Lysimachia punctata
- Gelbweiderich
- Bergenia cordifolia
- Alta-Bergenie

**Legende**  
Inisäplanzung | Nachplanzung

- Telekia speciosa
- Teite
- Heuchera villosa var. Macrorrhiza
- Purpurlockchen
- Brunneria macrophylla
- Kaukasus-Vergrisenmönch
- Phlox idahonis
- Vorsonnen-Phlox

**Legende**  
Standort

- Sonlig
- Halbschattig
- Schattig



#### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

#### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

#### STANDORT

Tendenziell sonnig, Südostkante

#### BEWÄSSERUNG

Alle 4 Tage, medial

#### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost

#### PFLANZENAUSWAHL

Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FI.6

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

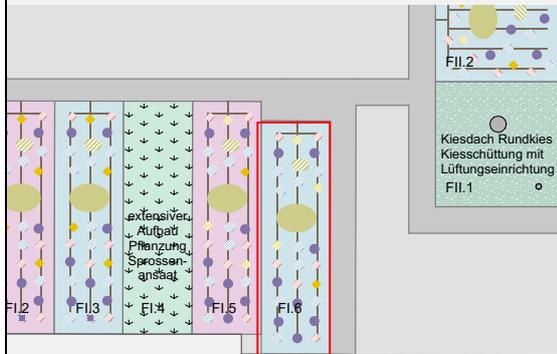


Abb. 37: FI.6 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

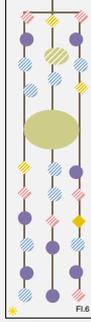
- Legende  
 Initialpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Polygnum amplexicaule  
 ● Kerzen-Knöterich  
 ● Geranium x magnificum Rosemoore  
 ● Pracht-Storchschnabel  
 ● Brunneria macrophylla  
 ● Kaukasus-Vergissmichicht  
 ● Lysimachia punctata  
 ● Gelbweiderich  
 ● Bergenia cordifolia  
 ● Alta-Bergenie

- Legende  
 Initialpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Teufelskuckuck  
 ● Heuchera villosa var. Macrorrhiza  
 ● Purpurglockchen  
 ● Brunneria macrophylla  
 ● Kaukasus-Vergissmichicht  
 ● Phlox idahoensis  
 ● Vorkornen-Phlox

- Legende  
 Standort  
 ☀️ Sonnig  
 ☀️ Halbschattig  
 ● Schattig

Stand 30.03.2021

Dachmitte



### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell sonnig, Südostkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 8 Tage, minimal

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost

### PFLANZENAUSWAHL

Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygnum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FII.1 Referenzdach

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

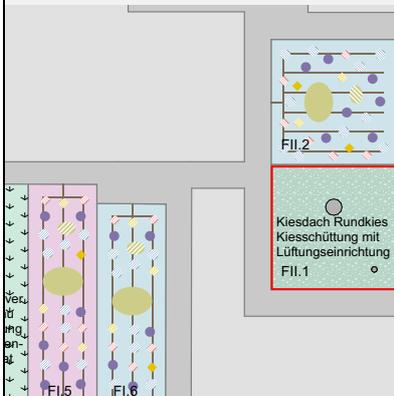
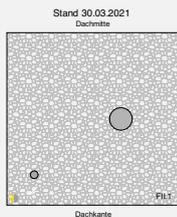


Abb. 38: FII.1 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Initialpflanzung | Nachpflanzung
- *Polygonum amplexicaule*
  - Kerzen-Klotterich
  - *Geranium x magnificum* Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - *Brunneria macrophylla*
  - Kaukasus-Vergissmichent
  - *Lysimachia punctata*
  - Glibweidenrich
  - *Bergenia cordifolia*
  - Altai-Bergenie

- Legende**  
 Initialpflanzung | Nachpflanzung
- *Teloktia speciosa*
  - Telesia
  - *Heuchera villosa* var. *Macrorrhiza*
  - Purpurglöckchen
  - *Brunneria macrophylla*
  - Kaukasus-Vergissmichent
  - *Phlox idahoensis*
  - Vorsoester-Phlox

- Legende**  
 Standort
- ☀ Sonnig
  - ☀ Halbschattig
  - Schattig



### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Keine Begrünung, Kiesdach

### STANDORT

Tendenziell halbschattig, Nordkante

### BEWÄSSERUNG

unbewässert

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

Keine, Kiesdach Rundkies, Kiesschüttung mit Lüftungseinrichtung

### PFLANZENAUSWAHL

Keine

## Forschungsfeld FII.2

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

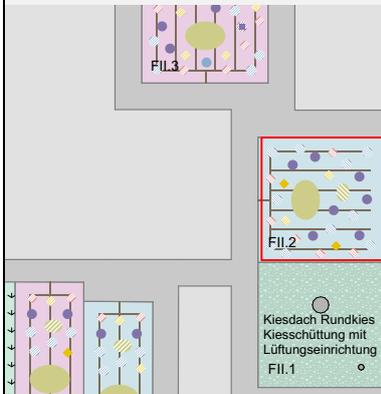
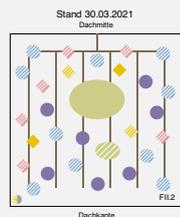


Abb. 39: FII.2 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Inisäpflanzung / Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmichicht
  - Lysimachia punctata
  - Gllweiderich
  - Bergenia cordifolia
  - Alta-Bergenie

- Legende**  
 Inisäpflanzung / Nachpflanzung
- Telekia speciosa
  - Telesie
  - Heuchera villosa var. Macromhiza
  - Purpurglöckchen
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmichicht
  - Phlox idahensis
  - Vorsummer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- Sonnig
  - Halbschattig
  - Schattig



### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell halbschattig, Nordkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 8 Tage, minimal

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost

### PFLANZENAUSWAHL

Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FII.3

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

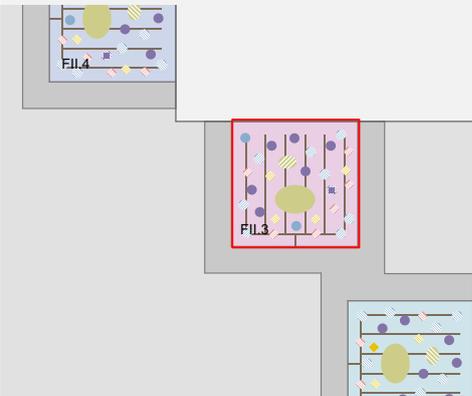
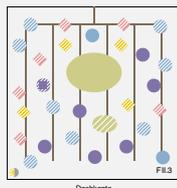


Abb. 40: FII.3 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Inlämpflanzung | Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmich
  - Lysimachia punctata
  - Gelbweiderich
  - Bergenia cordifolia
  - Alta-Bergene

Stand 30.03.2021



- Legende**  
 Inlämpflanzung | Nachpflanzung
- Takakia speciosa
  - Teisek
  - Heuchera villosa var. Macrorrhiza
  - Purpurglöckchen
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmich
  - Phlox idahensis
  - Vorsovmer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- Sonlig
  - Halbschattig
  - Schattig

### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell halbschattig, Nordkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 4 Tage, medial

### VEGETATIONSTRAGSCHIHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost

### PFLANZENAUSWAHL

Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld Fil.4

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

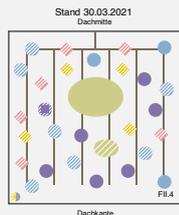


Abb. 41: Fil.4 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Initialpflanzung | Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergermeischt
  - Lysimachia punctata
  - Gelbweiderich
  - Bergenia cordifolia
  - Alta-Bergene

- Legende**  
 Initialpflanzung | Nachpflanzung
- Teitkia speciosa
  - Teitkia
  - Heuchera villosa var. Macrorrhiza
  - Purpurglöckchen
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergermeischt
  - Phlox idahoensis
  - Vorssommer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- ☀ Sonnig
  - ☀ Halbschattig
  - Schattig



<b>KONSTRUKTION</b>	0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300), 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40), 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)
<b>BEGRÜNUNGSART</b>	Einfache Intensivbegrünung
<b>STANDORT</b>	Tendenziell halbschattig, Nordkante
<b>BEWÄSSERUNG</b>	Alle 2 Tage, maximal
<b>VEGETATIONSTRAGSCHICHT</b>	19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost)
<b>PFLANZENAUSWAHL</b>	Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FII.5

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

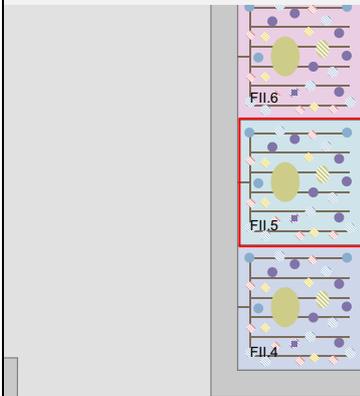
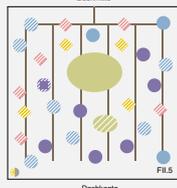


Abb. 42: FII.5 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Inbepflanzung | Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchnabel
  - Brunneria macrophylla
  - Naukasus-Vergissmichnicht
  - Lysimachia punctata
  - Gelbweiderich
  - Bergenia cordifolia
  - Alta-Bergene

Stand 30.03.2021



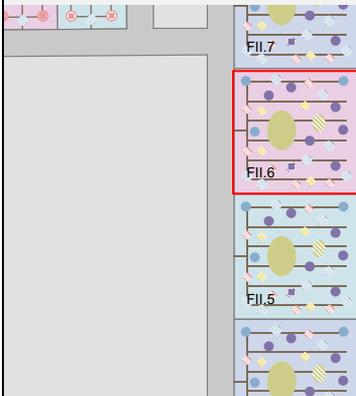
- Legende**  
 Inbepflanzung | Nachpflanzung
- Tallisia speciosa
  - Teichrose
  - Heuchera villosa var. Macrorrhiza
  - Purpurglockchen
  - Brunneria macrophylla
  - Naukasus-Vergissmichnicht
  - Phlox idahensis
  - Vorsummer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- Sonning
  - Halbschattig
  - Schattig

<b>KONSTRUKTION</b>	0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300), 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40), 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)
<b>BEGRÜNUNGSART</b>	Einfache Intensivbegrünung
<b>STANDORT</b>	Tendenziell halbschattig, Nordkante
<b>BEWÄSSERUNG</b>	Alle 8 Tage, minimal
<b>VEGETATIONSTRAGSCHICHT</b>	19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost)
<b>PFLANZENAUSWAHL</b>	Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FII.6

### AUSSCHNITT LAGEPLAN



- Legende**  
 Initialpflanzung / Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - Brunnera macrophylla
  - Keulbäume-Vergissmich
  - Lysimachia punctata
  - Gelbweiderich
  - Bergenia cordifolia
  - Altes Bergene

- Legende**  
 Initialpflanzung / Nachpflanzung
- Teleskia speciosa
  - Teleskia
  - Heuchera villosa var. Macrorrhiza
  - Purpurglockchen
  - Brunnera macrophylla
  - Keulbäume-Vergissmich
  - Phlox idahoensis
  - Vor Sommer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- ☀ Sonnig
  - ☀ Halbschattig
  - Schattig

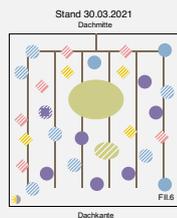
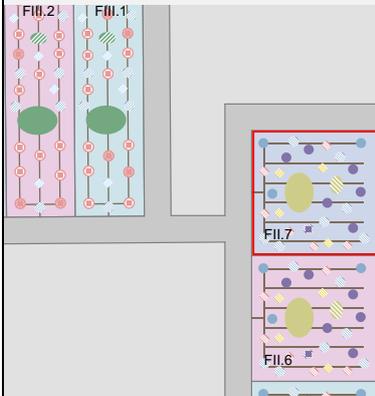


Abb. 43: FII.6 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

<b>KONSTRUKTION</b>	0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300), 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40), 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)
<b>BEGRÜNUNGSART</b>	Einfache Intensivbegrünung
<b>STANDORT</b>	Tendenziell halbschattig, Nordkante
<b>BEWÄSSERUNG</b>	Alle 4 Tage, medial
<b>VEGETATIONSTRAGSCHICHT</b>	19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost
<b>PFLANZENAUSWAHL</b>	Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FII.7

### AUSSCHNITT LAGEPLAN



- Legende  
 Inisäpflanzung | Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - Brunnera macrophylla
  - Neuland-Vergrünemilch
  - Lysimachia punctata
  - Gelbweiderich
  - Bergenia cordifolia
  - Alta-Bergene

- Legende  
 Inisäpflanzung | Nachpflanzung
- Teliskia speciosa
  - Telesia
  - Heuchera villosa var. Macrorrhiza
  - Purpurglöckchen
  - Brunnera macrophylla
  - Neuland-Vergrünemilch
  - Phlox idahensis
  - Vorkommen-Phlox

- Legende  
 Standort
- ☀ Sonnig
  - ☀ Halbschattig
  - Schattig

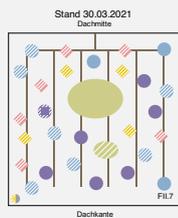


Abb. 44: FII.7 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

<b>KONSTRUKTION</b>	0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300), 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40), 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)
<b>BEGRÜNUNGSART</b>	Einfache Intensivbegrünung
<b>STANDORT</b>	Tendenziell halbschattig, Nordkante
<b>BEWÄSSERUNG</b>	Alle 2 Tage, maximal
<b>VEGETATIONSTRAGSCHICHT</b>	19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost
<b>PFLANZENAUSWAHL</b>	Lysimachia punctata (Gelbweiderich), Geranium x magnificum Rosemoore (Pracht-Storchschnabel), Polygonum amplexicaule (Kerzen-Knöterich)

## Forschungsfeld FIII.1

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

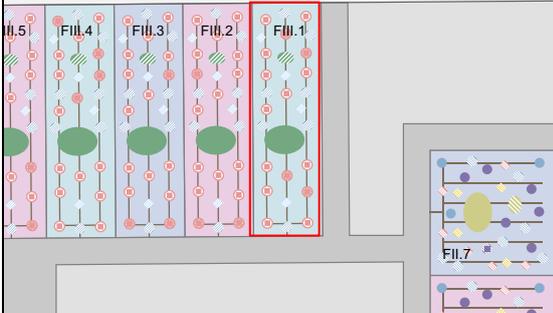
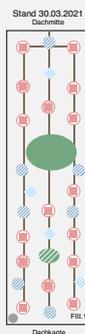


Abb. 45: FIII.1 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

**Legende**  
 Initialpflanzung / Nachpflanzung  
 Polygonum amplexicaule  
 Kerzen-Knödelchen  
 Geranium x magnificum Rosemoore  
 Pracht-Sorbschnabel

**Legende**  
 Initialpflanzung / Nachpflanzung  
 Telekia speciosa  
 Heuchera villosa var. Macrorrhiza  
 Purpurglöckchen  
 Brunneria macrophylla  
 Kaukasus-Vergissmichicht  
 Phlox idahensis  
 Vorwinter-Phlox

**Legende**  
 Standort  
 Sonnig  
 Halbschattig  
 Schattig



### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell schattig, Nordwestkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 8 Tage, minimal

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost)

### PFLANZENAUSWAHL

Telekia speciosa (Telekie), Kirengeshoma palmata (Wachsglocke), Heuchera villosa var. macrorrhiza (Purpurglöckchen)

## Forschungsfeld FIII.2

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

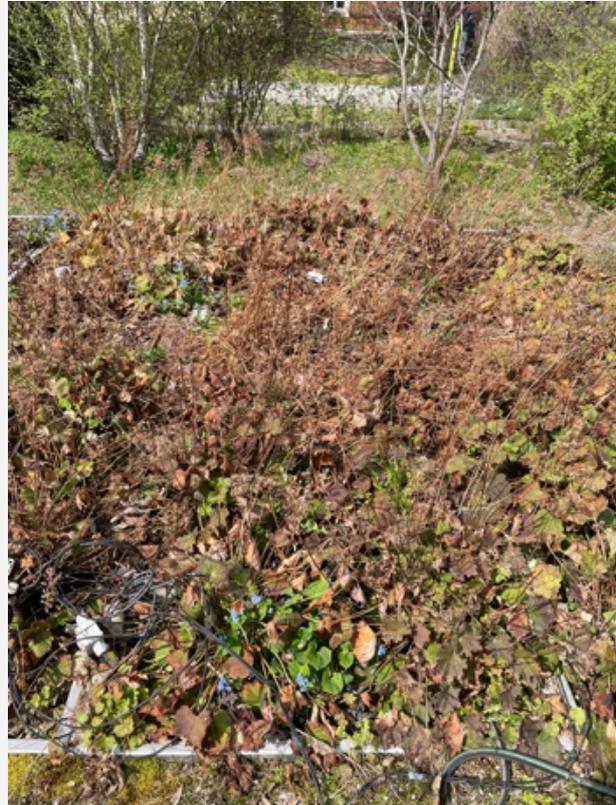
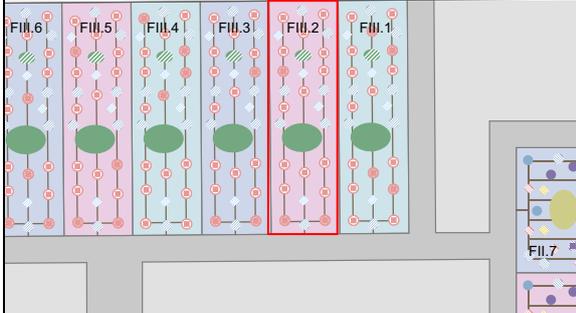
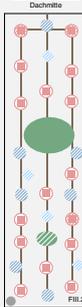


Abb. 46: FIII.2 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

**Legende**  
 Intaltpflanzung / Nachtpflanzung  
 ● Polygonum amplexicaule  
 ● Kerzen-Knödelrind  
 ● Geranium x magnificum Rosemoore  
 ● Pracht-Storchschnabel  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kaukasus-Vergissmichicht  
 ● Lysimachia punctata  
 ● Gelbwedderich  
 ● Bergenia cordifolia  
 ● Atlas-Bergenia

Stand 30.03.2021



**Legende**  
 Intaltpflanzung / Nachtpflanzung  
 ● Telekia speciosa  
 ● Telekia  
 ● Heuchera villosa var. Macrorrhiza  
 ● Purpurglöckchen  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kaukasus-Vergissmichicht  
 ● Phlox idahensis  
 ● Vorssommer-Phlox

**Legende**  
 Standort  
 ☀️ Sonnig  
 ☁️ Halbschattig  
 ● Schattig

### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell schattig, Nordwestkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 4 Tage, medial

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost)

### PFLANZENAUSWAHL

Telekia speciosa (Telekie), Kirengeshoma palmata (Wachsglocke), Heuchera villosa var. macrorrhiza (Purpurglöckchen)

## Forschungsfeld FIII.3

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

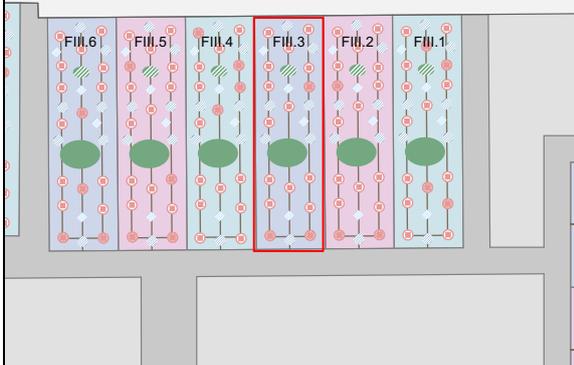
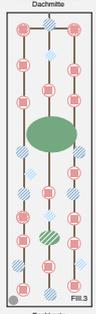


Abb. 47: FIII.3 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Initialpflanzung | Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knödelch
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - Brunneria macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmich
  - Lysimachia punctata
  - Glanzweidench
  - Bergenia cordifolia
  - Atlas-Bergene

Stand 30.03.2021



- Legende**  
 Initialpflanzung | Nachpflanzung
- Telekia speciosa
  - Telekia
  - Heuchera villosa var. Macrorrhiza
  - Purglößchen
  - Brunneria macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmich
  - Phlox idahensis
  - Vorsommer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- ☀ Sonnig
  - ☀ Halbschattig
  - Schattig

### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell schattig, Nordwestkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 2 Tage, maximal

### VEGETATIONSTRAGSCHIHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost)

### PFLANZENAUSWAHL

Telekia speciosa (Telekie), Kirengeshoma palmata (Wachsglocke), Heuchera villosa var. macrorrhiza (Purglößchen)

## Forschungsfeld FIII.4

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

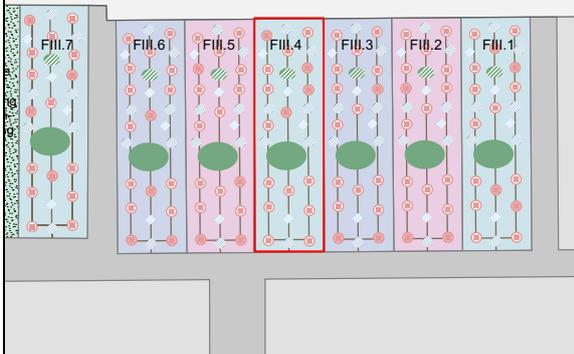


Abb. 48: FIII.4 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

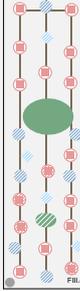
- Legende**  
 Intimpflanzung | Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Prache-Sterchschabel
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmichine
  - Lysimachia punctata
  - Obervestrich
  - Bergenia cordifolia
  - Alta-Bergene

- Legende**  
 Intimpflanzung | Nachpflanzung
- Telekia speciosa
  - Telekie
  - Heuchera villosa var. Macrorrhiza
  - Purgurglöckchen
  - Brunnera macrophylla
  - Kaukasus-Vergissmichine
  - Phlox idahensis
  - Vorsommer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- ☀ Sonnig
  - ☀ Halbschattig
  - Schattig

Stand 30.03.2021

Dachmitte



### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell schattig, Nordwestkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 8 Tage, minimal

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost)

### PFLANZENAUSWAHL

Telekia speciosa (Telekie), Kirengeshoma palmata (Wachsglocke), Heuchera villosa var. macrorrhiza (Purgurglöckchen)

## Forschungsfeld FIII.5

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

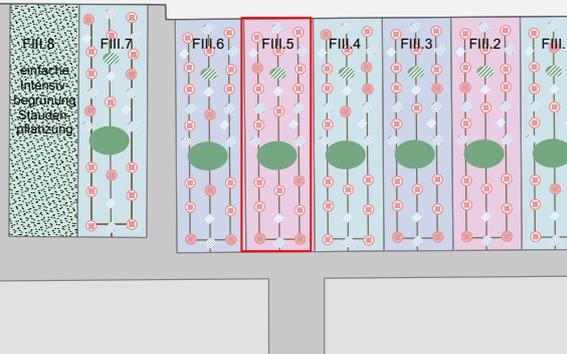


Abb. 49: FIII.5 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

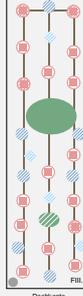
- Legende**  
 Initalpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Polygonum amplexicaule  
 ● Kerzen-Knölerich  
 ● Geranium x magnificum Rosemoore  
 ● Pracht-Storchschnabel  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kaulbeere-Vergissmeinnicht  
 ● Lysimachia punctata  
 ● Gilweideich  
 ● Bergenia cordifolia  
 ● Alta-Bergenie

- Legende**  
 Initalpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Telekia speciosa  
 ● Felleie  
 ● Heuchera villosa var. Macrorrhiza  
 ● Purpurglöckchen  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kaulbeere-Vergissmeinnicht  
 ● Phlox idahonis  
 ● Vorsummer-Phlox

- Legende**  
 Standort  
 ☀️ Sonnig  
 ☁️ Halbschattig  
 ● Schattig

Stand 30.03.2021

Dachente



### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell schattig, Nordwestkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 4 Tage, medial

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost)

### PFLANZENAUSWAHL

Telekia speciosa (Telekie), Kirengeshoma palmata (Wachsglocke), Heuchera villosa var. macrorrhiza (Purpurglöckchen)

## Forschungsfeld FIII.6

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

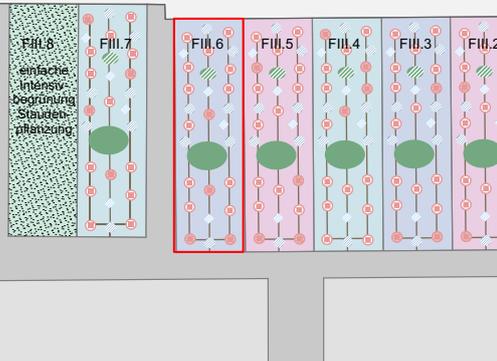
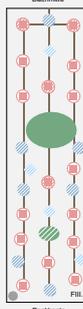


Abb. 50: FIII.6 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Initalpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Polygonum amplexicaule  
 ● Kerzen-Knöterich  
 ● Geranium x magnificum Rosemoore  
 ● Pracht-Storchschnabel  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kauldasee-Vergissmichamt  
 ● Lysimachia punctata  
 ● Glöckchen  
 ● Bergenia cordifolia  
 ● Alta-Bergenie

Stand 30.03.2021



- Legende**  
 Initalpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Telekia speciosa  
 ● Felskie  
 ● Heuchera villosa var. Macrorrhiza  
 ● Purpurglöckchen  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kauldasee-Vergissmichamt  
 ● Phlox idahensis  
 ● Vorsummer-Phlox

- Legende**  
 Standort  
 ☀️ Sonnig  
 ☀️ Halbschattig  
 ● Schattig

### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell schattig, Nordwestkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 2 Tage, maximal

### VEGETATIONSTRAGSCHIHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porolith und Grünschnittkompost)

### PFLANZENAUSWAHL

Telekia speciosa (Telekie), Kirengeshoma palmata (Wachsglocke), Heuchera villosa var. macrorrhiza (Purpurglöckchen)

## Forschungsfeld FIII.7

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

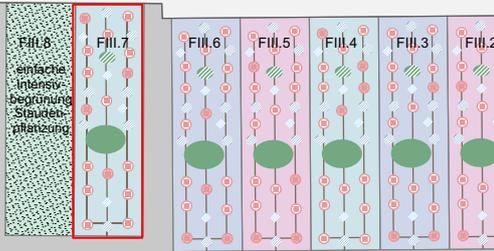
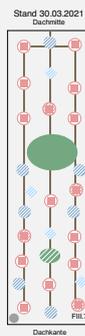


Abb. 51: FIII.7 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Initalpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Polygonum amplexicaule  
 ● Kerzen-Knölerich  
 ● Geranium x magnificum Rosemoore  
 ● Pracht-Storchschnabel  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kauldasee-Vergissmichnicht  
 ● Lysimachia punctata  
 ● Glöckchen  
 ● Bergenia cordifolia  
 ● Alta-Bergenie

- Legende**  
 Initalpflanzung / Nachpflanzung  
 ● Telekia speciosa  
 ● Felleis  
 ● Heuchera villosa var. Macrorrhiza  
 ● Purgurglöckchen  
 ● Brunnera macrophylla  
 ● Kauldasee-Vergissmichnicht  
 ● Phlox idahensis  
 ● Vorsummer-Phlox

- Legende**  
 Standort  
 ☀️ Sonnig  
 ☀️/☁️ Halbschattig  
 ☁️ Schattig



### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell schattig, Nordwestkante

### BEWÄSSERUNG

Alle 8 Tage, minimal

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost

### PFLANZENAUSWAHL

Telekia speciosa (Telekie), Kirengeshoma palmata (Wachsglocke), Heuchera villosa var. macrorrhiza (Purgurglöckchen)

## Forschungsfeld FIII.8 Referenzdach

### AUSSCHNITT LAGEPLAN

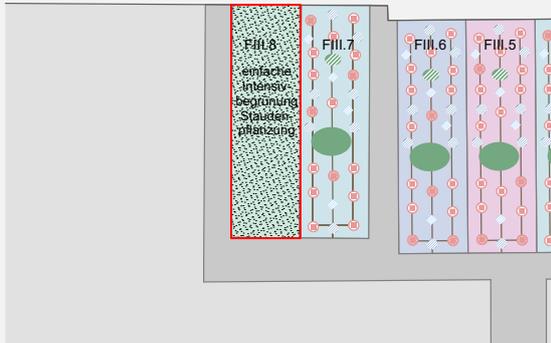


Abb. 52: FIII.8 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).

- Legende**  
 Initialpflanzung / Nachpflanzung
- Polygonum amplexicaule
  - Kerzen-Knöterich
  - Geranium x magnificum Rosemoore
  - Pracht-Storchschnabel
  - Brunnera macrophylla
  - Kaduuse Veilchenmännchen
  - Lysimachia punctata
  - Glözwiesch
  - Bergenia cordifolia
  - Alta-Bergenie

- Legende**  
 Initialpflanzung / Nachpflanzung
- Talskja speciosa
  - Heuchera villosa var. Macrorrhiza
  - Purpurglockchen
  - Brunnera macrophylla
  - Kaduuse Veilchenmännchen
  - Phlox idahonis
  - Vorsummer-Phlox

- Legende**  
 Standort
- ☀ Sonnig
  - ☁ Halbschattig
  - Schattig



### KONSTRUKTION

0,36 cm Schutz- und Speichervlies (Optigrün RMS 300),  
 4 cm Drän- und Wasserspeicherelement (Optigrün FKD 40),  
 0,11 cm Filtervlies (Optigrün FIL 105)

### BEGRÜNUNGSART

Einfache Intensivbegrünung

### STANDORT

Tendenziell schattig, Nordwestkante

### BEWÄSSERUNG

unbewässert

### VEGETATIONSTRAGSCHICHT

19 cm Extensiv-Mehrschichtsubstrat (Optigrün E) Hauptbestandteile: Blähschiefer, Blähton, Lava, Bims, Ziegelsplitt, Porlith und Grünschnittkompost

### PFLANZENAUSWAHL

Staudenpflanzung

### 3.4 Kennwerte der Funktionsschichten

Kenn- und Messwerte, die den Schichtaufbau betreffen, werden nachfolgend zusammengetragen. Die Erkenntnisse des 1. Zwischenberichtes des Modellprojekts vom 19.08.2021 werden außerdem hinzugezogen, um einen umfassenden Einblick in die Entwicklung der Versuchsfelder zu erlangen. Die Entwicklung der Vegetationsschicht ist ein Merkmal für die Einschätzung des Erfolgs der Dachbegrünung des Projekts. Zugleich sind Pflanzenausfälle ein wichtiges Indiz für Mängel der Wasser- und Nährstoffzufuhr oder der Nichteignung bestimmter vegetationstechnischer Schichten für manche Pflanzen. Der nachfolgenden Tabelle (Abb. 53) ist eine große Varianz an Pflanzeigenschaften zu entnehmen. Die sich daraus ergebenden unterschiedlichen Ansprüche der Pflanzen können bei der Dokumentation der Ausfälle abgelesen werden, außerdem können so später Schlussfolgerungen erhoben werden.

Pflanze	Blütezeit	Höhe [cm]	Geselligkeit*
<i>Lysimachia punctata</i>	Juni – August	80	II – IV
<i>Polygonum amplexicaule</i>	August - Oktober	100 – 120	I – II
<i>Geranium x magnificum</i> Rosemoore	Juni & Juli, Oktober	50 – 60	III – IV
<i>Heuchera villosa</i> var. <i>macrorrhiza</i>	Juli & August	30 – 70	II
<i>Telekia speciosa</i>	Juni – August	150 – 200	I
<i>Kirengeshoma palmata</i>	August & September	70 – 100	VIII – IX

\*gibt an, wie einzeln oder flächig Pflanzen gepflanzt werden sollen. Geselligkeitsstufen von Pflanzen: I: einzeln oder in Gruppen bis 3 Pflanzen, II: in Gruppen von 3 bis 10 Pflanzen, III: in Gruppen von 10 bis 20 Pflanzen, IV: größere Stückzahlen, meist flächig, V – X: vorwiegend großflächig bis großflächig.

Abb. 53: Pflanzeigenschaften, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022.

Der Einfluss der Bewässerungsmenge auf die Vegetation wird in Abb. 54 ersichtlich. Das auf der linken Fotografie zu sehende Forschungsfeld wurde alle 2 Tage bewässert und der Pflanzenwuchs ist am stärksten ausgebildet. Das Rechts abgebildete Forschungsfeld wurde alle 8 Tage zusätzlich bewässert, die Vegetation ist weniger dicht und groß gewachsen. Der Deckungsgrad fällt dementsprechend wesentlich geringer aus. Das mittlere Feld wurde alle 4 Tage bewässert, die Vegetation ist ähnlich zu der im linken Bild zu sehenden Vegetation, obwohl bei der Bewässerung ausschlaggebende Abstriche gemacht wurden.



Abb. 54: Vergleich Bewässerung, Quelle: Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.66.

Die Bewässerungsmenge wurde grundlegend so gewählt, dass nahezu kein Ablaufwasser anfällt und die Wasserspeicherfähigkeit der Konstruktionsschichten vollständig ausgeschöpft wird. Geeignete Mengen und Zyklen wurden zuvor in Laborversuchen mittels Laborlysimeter in Langzeitversuchen erforscht und für das Gründach hochgerechnet. Das Messsystem bietet eine voll automatisierte Bewässerung, die auch über gemessene Werte der Bodenfeuchte und Temperatur erfolgen kann. Die Bodenfeuchte wird seit der Vegetationsperiode 2022 mittels Stevens HydraProbes Professional Sonden gemessen. Maßgebliche tatsächliche Bodenparameter wurden im Rahmen anderer Arbeiten bereits erfasst (Abb. 55).<sup>60</sup>

Bodenparameter	Einheit	Mittelwert	Anmerkungen
Trockenrohdichte	g/cm <sup>3</sup>	1,03	
Reindichte	g/cm <sup>3</sup>	2,40/2,43	Gemessen / Berechnet
Porosität	%	57,1	
Feldkapazität	% WFV	40,1 / 38,8 / 37,3 / 37,2	Laborversuch, Massenbilanz/ Laborversuch, Trockenofen/ Feldversuch, HydraProbes/ Feldversuch, Trockenofen
Grobbestandteile	%	70,4	Anteil (>2 mm)

Abb. 55: Tabelle Bodenparameter, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.72.

Zur bauklimatischen Betrachtung des Kühlpotenzials wurden bereits die Standortbedingungen und baukonstruktiven Verhältnisse als Einflüsse betrachtet. Die bauklimatisch relevanten Materialfunktionen beziehen sich auf thermische und hygrische Parameter. „Als thermische Parameter sind Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit relevant. Die Wärmekapazität ist im baupraktischen Bereich als konstant anzusehen. Die Wärmeleitfähigkeit von Stoffen steigt mit ihrem Wassergehalt an und ist somit eine Funktion des Wassergehaltes. Bei festen Baustoffen kann diese näherungsweise linear angenommen werden, bei Böden steigt diese mit dem Wassergehalt zunächst stärker an und flacht dann ab.“<sup>61</sup> Die Auflagesonde von *Isomet* maß Werte der Wärmeleitfähigkeit des Substrats zwischen 0,4 und 0,6 W/mK im trockenen Zustand. Im hochfeuchten Zustand liegt der Wert entsprechend höher bei 1,3 W/mK. Die Messungen können bei Schüttsubstraten nicht als exakt angenommen werden, daher sollen sie mit einem Wärmeleitfähigkeitsmessgerät wiederholt werden. Die Wärmekapazität wird mit 1000 J/kgK angegeben.<sup>62</sup>

<sup>60</sup> vgl. Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.69ff.

<sup>61</sup> Prof. Irene Lohaus u.a., S.84.

<sup>62</sup> vgl. Prof. Irene Lohaus u.a., S.84f.

Hygrische Parameter werden speziell für Wasser in flüssigem und gasförmigem Zustand betrachtet. Kennwerte, die die Speicher- und Transportfähigkeiten angeben, werden durch aufwendige Messungen ermittelt. Aufgrund der Bodenparameter (Abb. 55) wird ersichtlich, dass dieses Schüttungssubstrat sehr porös ist, womit geringe Kapillarkräfte einhergehen und die tatsächliche Wassersättigung nur bei 25 % liegt. Gefrier- und Auftauprozesse führen zunehmend zu einer Verdichtung des Substrats, wodurch die Kennwerte durch die zufällige Lagerung des Substrats variieren. Dazu kommt der Faktor der Durchwurzelung und Veränderung der organischen Bestandteile, was eine genaue Bestimmung der hygrischen Parameter für Schüttsubstrate langfristig nicht möglich macht. Für Feststoffe hingegen können Verdunstungs- und Trocknungsexperimente durchgeführt werden. Angepasst an die Projektinhalte werden, um entsprechende Werte zu ermitteln, Langzeitversuche durchgeführt. Zunächst werden sinnvolle Annahmen aus Datenbanken oder Herstellerdatenblättern (Abb. 56) angenommen. Später können diese Werte durch längere Messreihen verifiziert oder angepasst werden.<sup>63</sup>

Material	Wärmeleitfähigkeit	Spez. Wärmekapazität	Diffusionswiderstandszahl
Thermobeton	0,13 W/mK	1000 J/kgK	5
Dampfsperre	-	Nicht relevant	2000
Gefälledämmung PUR	0,028W/mK	1200 bis 1400 J/kgK	200
Edelstahl	15 W/mK	500 J/kgK	>10000

Abb. 56: Tabelle angenommene Werte, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.86.

<sup>63</sup> vgl. Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.85.

## 4 Schlussbemerkung

### 4.1 Zusammenfassung und Resümee

Durch das Modellprojekt konnten Erkenntnisse über die Bewässerung mittels Grauwasser ermittelt werden, um das Kühlungspotenzial des Gründachaufbaus zu erschließen. Die Vegetation und die Vegetationstragschichten des Gründaches nehmen dabei das zusätzlich eingebrachte Grauwasser auf. Beim Prozess der Evapotranspiration wird Wärme aus der Umgebung gebunden und durch die Verdampfungsenthalpie ergibt sich der kühlende Effekt. Dies wirkt sich direkt auf die lokale Umgebung, die umliegende Konstruktion und damit auch auf die anschließenden Innenräume aus. Zusammen mit der wärmedämmenden Wirkung der erhöhten Dachkonstruktion durch zusätzliche vegetationstechnische Schichten wirkt sich das Kühlungspotenzial im Sommer tatsächlich positiv auf das Raumklima aus. Diese Bemühungen das Stadtklima zu verbessern, ist überaus relevant, einige Effekte könnten hier bereits wissenschaftlich nachgewiesen werden. Leider fallen diese Effekte noch nicht ausschlaggebend ins Gewicht, so lange Gründächer in Städten keine großflächige Anwendung finden. Bei derartigen Verschmutzungen der Luft und erhöhten Temperaturen in unseren Stadträumen bedarf es eines übergeordneten Konzepts. Einen positiven ökologischen Beitrag für Flora und Fauna bzw. gegenüber Versiegelung können Gründächer dennoch auch im kleinen Maßstab leisten und den Aufenthalt in Städten lebenswerter machen.

Bei der Betrachtung der Gründachkonstruktion im Zusammenhang mit dem Projektanspruch unter bauklimatischen Gesichtspunkten kann die Konstruktion als angemessen nach den Vorstellungen der FLL Dachbegrünungsrichtlinien beurteilt werden. Relevant für das Projekt ist der Vergleich der Bewässerungsmenge unter verschiedenen Einstrahlungsverhältnissen der Sonne. Der Fokus auf die im Forschungsprojekt vorhandene Dachkonstruktion besteht in erster Linie in der baukonstruktiven Eignung und der Beständigkeit. Da diese nicht in Varianten ausgeführt wurde, können für diese Arbeit keine vergleichenden Schlüsse gezogen werden. Dementsprechend konnte aber festgestellt werden, dass das Projekt durch den Dachaufbau weder übermäßig negativ noch begünstigend beeinträchtigt wird. Dieser kann als neutral eingeschätzt werden, er spiegelt einen realen Dachaufbau angemessen wider und begünstigt damit aussagekräftige Messergebnisse. Die jeweiligen Materialkennwerte und deren Einflussnahme wurden im Projekt miteinbezogen, beobachtet und in der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt.

Die Identifizierung von Fehlerquellen gestaltet sich unter den gegebenen Bedingungen und vielen Abhängigkeiten von Einflussfaktoren schwierig. Ebenso die Berücksichtigung von material- oder technikbedingten Messungenauigkeiten. „Zum bisherigen Zeitpunkt laufen Daten

auf. Die Datenerfassung erfolgt durch das Institut für Siedlungswasserwirtschaft. Die Daten werden in einer Datenbank erfasst und lassen sich online mit einem Webportal (grafana) darstellen. Bis auf unplausible Werte in der Anfangsphase sowie einige wenige Ausreißer sind die Werte bisher plausibel. Eine tiefergehende Prüfung und Vergleich der Daten mit Simulationen erfolgt im weiteren Projektfortschritt.“<sup>64</sup>

Die Aussagekraft des Versuchs und dabei gewonnener Messwerte nimmt demnach mit fortlaufenden Optimierungen zu. Schwankungen der Messwerte von Schüttsubstraten hingegen sind durch Setzungsprozesse nicht zu vermeiden. Speziell für die Untersuchung der Evapotranspiration ist die Messbarkeit des Wasserspeicherverhaltens, der Konstruktion mittels Kapillarkräften durch stabile Strukturen und Porosität eine Voraussetzung und in dem gewählten Schichtaufbau nicht gegeben. Dies erschwert die Überwachung des Einflusses der Vegetationstragschicht auf die Vorgänge der Wasseraufnahme und dessen Speicherung. Das Projekt bestrebt, die Messwerte zur Simulation verschiedener Varianten in das Programm DELPHIN einzuspeisen. Die Einschätzung der Plausibilität der Messergebnisse im Zwischenbericht vom August 2021 fällt dennoch positiv aus, und es ist zu beachten, dass das Projekt fortlaufend neue Messdaten erhebt.

Diese Arbeit soll einen allumfassenden Einblick in das Projekt vermittelt und spezifisches Hintergrundwissen zum Thema der Dachbegrünung liefern. Sie ergänzt den bisherigen Forschungsstand und kommt damit einem baukonstruktiven und bauklimatischen Zwischenbericht gleich. Da der Vergleich der Auswirkungen verschiedener Dachaufbauten nicht Gegenstand der Untersuchung des Modellprojektes ist, konnten keine genaueren Aussagen über den Einfluss verschiedener Konstruktionsarten getroffen werden. Stattdessen könnten im weiteren Verlauf des Projektes Aussagen über die langfristigen Auswirkungen der hohen Feuchtelast auf die Gründach-Konstruktion und die damit verbundene Kühllast auf Gebäude- und Stadtklima getroffen werden. Dieser Zusammenhang ist unter anderem Untersuchungsgegenstand des Projektes, erfordert jedoch weitere Messungen und die Reduzierung von Messungenauigkeiten.

Abschließend lässt sich feststellen, dass die Gründachkonstruktion als nötige Konstante im Modellprojekt aufgrund des gewählten Aufbaus als geeignet eingestuft werden kann. Sich ergebende Varianzen der Porosität der Substratschicht können durch aufwendigere Überwachung in allgemeine Veränderungen einbezogen werden.

---

<sup>64</sup> Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.87.

## 4.2 Weiterführende Fragen

Die Gründachthematik ist über das Modellprojekt hinaus sehr weitläufig und wirft interessante Fragen auf, die in der Zukunft eine noch wichtigere Rolle spielen werden. Klimatische, ökologische und ökonomische Zusammenhänge konnten im Rahmen dieser Arbeit nur bedingt betrachtet werden. Sie bedürfen weiterer Studien für die jeweiligen Standortbedingungen sowie die Untersuchung der Realisierbarkeit auf internationaler Ebene. Sich daraus ergebende allgemeine Gesetzmäßigkeiten und neue Lösungen für andere Klimazonen könnten die Verbreitung der Gründächer unterstützen.

Auch für das Programm DELPHIN wären weitere Projekte mit anderen Variablen bereichernd, um eine umfassendere Simulation jeglicher Variationen zu ermöglichen.

Die Langlebigkeit von Baumaterialien durch die Integration von natürlichen Substraten und Vegetation beim Planen und Bauen zu beeinflussen, verändert den Stellenwert nachhaltiger Ressourcen. Deren positive Einflüsse weiterführend zu erforschen und zu nutzen, ist unbedingt notwendig, um langfristig das Klima zu schützen. Prinzipiell können wichtige Schlüsse aus bauklimatischen Kennwerten unterschiedlicher (Grün-)dachaufbauten gezogen werden, die es zu beachten gilt. Es gibt viele Ansätze zur Verbesserung des Raumklimas, aber kein anderer Ansatz begünstigt außerdem das Stadtklima oder die Flora und Fauna.

Im Ergebnis stellt sich die Frage: Haben wir in städtischen Gebieten aufgrund schlechter Luftqualität und einem hohen Grad an Versiegelung eine andere Möglichkeit, als beim Bauen und Planen künftig eine ausgleichende Maßnahme zugunsten des Klimas vorzusehen? Wie können wir die bekannte Ressource des Gründachs nutzen und optimieren, um dieses Problem zu lösen?

## 5 Anhang

### 5.1 Literaturverzeichnis

Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995.

Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022.

Kolb, Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999.

Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988.

Lösken, Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen Dachbegrünungsrichtlinie, Bonn 2008.

Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021.

Well u.a., Regen- und Grauwasser als alternative Wasserquelle für Vertikalbegrünung, GebäudeGrün (3) 2020.

Zink, Das grüne Dach Standardwerk für Planung und Ausführung genutzter Dachflächen; Planungshilfe, Unterensingen 1998.

## 5.2 Quellen

Appl, ZinCo-Neue Brandschutzuntersuchungen an begrünten Dächern, URL:

<https://www.zinco.de/brandschutz-untersuchungen> (Stand:06.07.2022).

Dr.-Ing. Frank Otto u.a., Abschlussbericht-Ermittlung des Wärmedämmverhaltens von Gründächern, 2009, URL: <https://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-24242.pdf> (Stand:07.07.2022).

Mann, Lärminderung durch Gebäudebegrünung, 2019, URL: <https://www.derbauleiter.info/laermminderung-durch-gebaeudebegruenung/> (Stand:02.06.2022).

Meyer und Kretzschmar, Modellprojekt Integrales Wassermanagement, URL: [https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set\\_language=de](https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set_language=de) (Stand:15.05.2022).

Optigrün, Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Draenelemente/14868-Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Draenelemente/14868-Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf) (Stand:18.05.2022).

Optigrün, Optigruen-Filtervlies-FIL-105\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf) (Stand:18.05.2022).

Optigrün, Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/Datenblaetter/Optigruen\\_Datenblaetter\\_NEUES\\_LAYOUT/04%20Substrate/Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/Datenblaetter/Optigruen_Datenblaetter_NEUES_LAYOUT/04%20Substrate/Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E_01.pdf) (Stand:18.05.2022).

Optigrün, Optigrün Retentionsdach Määnder FKM60, URL: <https://www.optigruen.de/systemloesungen/retentionsdach/maeander-60/> (Stand:29.06.2022).

Optigrün, Optigruen-Trenn-Schutz-und-Speichervlies-RMS-300\_01.pdf, URL: [https://www.optigruen.de/fileadmin/2\\_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105\\_01.pdf](https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf) (Stand:18.05.2022).

### 5.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Fotografie Projektaufbau Botanischer Garten, Quelle: Material Modellprojekt Integrales Wassermanagement (Stand:09.07.2022). .....	2
Abb. 2: Fotografie Projektaufbau Botanischer Garten von Oben, Quelle: Meyer und Kretzschmar, Modellprojekt Integrales Wassermanagement, URL: <a href="https://tu-dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende-forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set_language=de">https://tu- dresden.de/bu/architektur/ila/labau/forschung/laufende- forschungsprojekte/modellprojekt-integrales-wassermanagement?set_language=de</a> (Stand:15.05.2022). .....	4
Abb. 3: Fotografie Intensivbegrünung, Quelle: <a href="https://www.optigruen.de/fileadmin/contents/planerportal/Naturdach/Foto%201%20Umweltamt%20KA.JPG">https://www.optigruen.de/fileadmin/contents/planerportal/Naturdach/Foto%201%20Umw- eltamt%20KA.JPG</a> (Aufgerufen:29.06.2022). .....	5
Abb.4: Fotografie Einfache Intensivbegrünung, Quelle: <a href="https://www.optigruen.de/fileadmin/_processed_/5/5/csm_RD_2-1_5c2e546621.jpg">https://www.optigruen.de/fileadmin/_processed_/5/5/csm_RD_2-1_5c2e546621.jpg</a> (Aufgerufen:29.06.2022). .....	6
Abb. 5: Fotografie Extensivbegrünung, Quelle: <a href="https://www.gartentipps.com/extensive-dachbegruenung-aufbau-geeignete-pflanzen-fuer-ein-bluehendes-gruendach-vorgestellt.html">https://www.gartentipps.com/extensive- dachbegruenung-aufbau-geeignete-pflanzen-fuer-ein-bluehendes-gruendach- vorgestellt.html</a> (Aufgerufen:29.06.2022).....	7
Abb. 6: Fotografie Biotopbegrünung, Quelle: <a href="https://www.optigruen.de/fileadmin/contents/planerportal/Naturdach/Foto%203.JPG">https://www.optigruen.de/fileadmin/contents/planerportal/Naturdach/Foto%203.JPG</a> (Aufgerufen:29.06.2022). .....	8
Abb. 7: Vergleich Gründachvarianten, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022. ....	9
Abb. 8: Beispiel Gründachaufbau, Quelle: Kolb, Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.57. ....	11
Abb. 9: Dachkonstruktionsvarianten, Quelle: Zink, Das grüne Dach Standardwerk für Planung und Ausführung genutzter Dachflächen; Planungshilfe, Unterensingen 1998, S.11. ....	12
Abb. 10: Einfluss Umgebung auf Dachkonstruktion, Quelle: Drefahl, Dachbegrünung Abdichtung; Dichtungsschutz; konstruktiver Aufbau, Köln 1995, S.21. ....	13
Abb. 11: Bewässerung Steildach, Quelle: Kolb und Schwarz, Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheimer) 1999, S.122. ....	17
Abb. 12: Schema Bewässerungsautomat, Quelle: Zink, Das grüne Dach Standardwerk für Planung und Ausführung genutzter Dachflächen; Planungshilfe, Unterensingen 1998, S.10. ....	17

Abb. 13: Grafik Vergleich Lufttemperatur, Quelle: Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.12. ....	19
Abb. 14: Grafik Vergleich Oberflächentemperatur, Quelle: Krupka, Dachbegrünungen aus d. Praxis - für d. Praxis, Köln 1988, S.12. ....	20
Abb. 15: Grafik Temperatur Sommer, Dr.-Ing. Frank Otto u.a., Abschlussbericht-Ermittlung des Wärmedämmverhaltens von Gründächern, 2009, URL: <a href="https://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-24242.pdf">https://www.dbu.de/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-24242.pdf</a> (Stand:07.07.2022), S.7.....	21
Abb. 16: Grafik Temperatur Winter, Dr.-Ing. Frank Otto u.a., S.4.....	21
Abb. 17: Beschriftung zu Abb.14&15, Dr.-Ing. Frank Otto u.a., S.11.....	21
Abb. 18: Brandschutzuntersuchung, Quelle: Appl, ZinCo-Neue Brandschutzuntersuchungen an begrünten Dächern, URL: <a href="https://www.zinco.de/brandschutz-untersuchungen">https://www.zinco.de/brandschutz-untersuchungen</a> (Stand:06.07.2022), S.1.....	23
Abb. 19: Stadtplan Dresden-Zentrum mit Verortung Botanischer Garten, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022. ....	24
Abb. 20: Fotografie Wetterstation Botanischer Garten, Quelle: Reinfried, Wetterstation Botanischer Garten auf dem neusten Stand, URL: <a href="https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/archiv/2016/10/pm_101.php">https://www.dresden.de/de/rathaus/aktuelles/pressemitteilungen/archiv/2016/10/pm_101.php</a> (Stand:05.07.22). ....	25
Abb. 21: Fotografie Wetterstation Forschungsprojekt, Quelle: Material Modellprojekt Integrales Wassermanagement (Stand:09.07.2022). ....	25
Abb. 22: Detail Schichtaufbau Forschungsfelder, Quelle: Institut für Landschaftsarchitektur TU Dresden, (Stand:06.05.2019).....	26
Abb. 23: Ausschnitt Datenblatt, Quelle: Optigrün, Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E_01.pdf, URL: <a href="https://www.optigruen.de/fileadmin/Datenblaetter/Optigruen_Datenblaetter_NEUES_LAYOUT/04%20Substrate/Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E_01.pdf">https://www.optigruen.de/fileadmin/Datenblaetter/Optigruen_Datenblaetter_NEUES_LAYOUT/04%20Substrate/Optigruen-Mehrschicht-Extensivsubstrat-E_01.pdf</a> (Stand:18.05.2022), S.1.....	26
Abb. 24: Ausschnitt Datenblatt, Quelle: Optigrün, Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf, URL: <a href="https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf">https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf</a> (Stand:18.05.2022), S.1.....	27
Abb. 25: Ausschnitt Datenblatt, Quelle: Optigrün, Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf, URL: <a href="https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Draenelemente/14868-Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf">https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Draenelemente/14868-Optigruen-Draen-und-Wasserspeicherelement-FKD-40.pdf</a> (Stand:18.05.2022), S.1. ...	27

Abb. 26: Ausschnitt Datenblatt, Quelle: Optigrün, Optigruen-Trenn-Schutz-und-Speichervlies-RMS-300_01.pdf, URL: <a href="https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf">https://www.optigruen.de/fileadmin/2_DATENBLAETTER/DE/Vliese-Schutzlagen/14738-Optigruen-Filtervlies-FIL-105_01.pdf</a> (Stand:18.05.2022), S.1.....	28
Abb. 27: Fotografie Pflanzenkläranlage, Quelle: Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.12.....	28
Abb. 28: Drohnenaufnahme Testfelder von schräg oben Norden, Quelle: Material Modellprojekt Integrales Wassermanagement (Stand:09.07.2022).....	29
Abb. 29: Aufsicht Gründachprojekt-Dachaufbau, Standort, M1:100, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann.....	30
Abb. 30: Aufsicht Gründachprojekt-Dachaufbau, Bewässerung, M1:100, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann.....	31
Abb. 31: Aufsicht Gründachprojekt-Dachaufbau, Bepflanzung Stand 30.03.2022, M1:100, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann.....	32
Abb. 32: FI.1 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	33
Abb. 33: FI.2 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	34
Abb. 34: FI.3 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	35
Abb. 35: FI.4 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	36
Abb. 36: FI.5 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	37
Abb. 37: FI.6 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	38
Abb. 38: FII.1 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	39
Abb. 39: FII.2 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	40
Abb. 40: FII.3 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	41
Abb. 41: FII.4 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	42
Abb. 42: FII.5 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	43
Abb. 43: FII.6 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	44
Abb. 44: FII.7 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	45
Abb. 45: FIII.1 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	46
Abb. 46: FIII.2 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	47
Abb. 47: FIII.3 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	48
Abb. 48: FIII.4 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	49
Abb. 49: FIII.5 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	50
Abb. 50: FIII.6 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	51
Abb. 51: FIII.7 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	52
Abb. 52: FIII.8 Fotografie, Quelle: Lea Bartels u. Helen Beckmann, (Stand:14.04.2022).....	53

Abb. 53: Pflanzeigenschaften, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Hänicke, Diplomarbeit-Bauphysikalische Messdatenanalyse Für Gründach-Testfelder auf dem Gelände des Botanischen Gartens in Dresden, Dresden 2022. ....	54
Abb. 54: Vergleich Bewässerung, Quelle: Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht- Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.66.....	54
Abb. 55: Tabelle Bodenparameter, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.72. ....	55
Abb. 56: Tabelle angenommene Werte, bearbeitet: Lea Bartels u. Helen Beckmann, Quelle: Prof. Irene Lohaus u.a., Zwischenbericht-Modellprojekt Integrales Wassermanagement, TU Dresden 2021, S.86. ....	56

## 5.4 Eigenständigkeitserklärung

Dresden, 11.07.2022

Bearbeiterinnen: Lea Bartels und Helen Beckmann

Titel der Arbeit: Gründach-Projekt der TU Dresden - Gründach-Konstruktionsvarianten

Hiermit versichern wir, dass wir die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne fremde Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Ort, Datum:

*Dresden, den 11.07.2022*

Unterschriften:

*Bartels*  
*Beckmann*