

Wissenschaftliche Arbeit am IBK:

Bewässerung von Gründächern

eingereicht von: Clara Kronstein, Magdalena Liesch

Matrikelnummer: 4887520, 4773902

Betreuer/in: Dr.-Ing. Peggy Freudenberg
Bastian Funcke (M.A. Arch.)

Termin der Abgabe: Dresden, 11.07.2022

Abstract

Mit der zunehmenden Verstädterung unserer Umwelt wird immer deutlicher, wie groß der Einfluss von Grünflächen auf das städtische Klima ist. Der Erhalt und die Herstellung von unversiegelten Flächen im städtischen Raum gewinnen dabei immer mehr an Bedeutung. Da in unseren Städten jedoch nur begrenzt Platz zur Verfügung steht, müssen andere Lösungen gefunden werden, um dem Klimawandel entgegenzuwirken.

Das Gründach stellt eine Möglichkeit der Lösung für dieses Problems dar. Aufgrund von Verdunstung und dem damit verbundenen Kühleffekt eines Gründachs können begrünte Dächer einen positiven Effekt auf die Wärmebilanz der Stadt nehmen. Außerdem können die Luftqualität in der Stadt verbessert und die Abwasseranlagen entlastet werden.

Dabei kann das Gründach auf verschiedenste Art und Weise ausgebildet sein. Sowohl Steildächer als auch Flachdächer sind für eine Begrünung geeignet. Mögliche konstruktive Bauweisen stellen das Warmdach, Kaltdach und das Umkehrdach dar. Bewässert werden kann das Gründach dabei mit Tropfschläuchen, die auf der Oberfläche des Substrats verlegt werden oder durch Anstau in der Drainageebene, in welche die Begrünung wurzeln kann. Die Begrünung kann entweder als intensive, extensive oder einfach intensive Begrünung ausgebildet werden, welche sich im Wesentlichen durch die Vielfalt der Pflanzen und die Wurzeltiefe unterscheiden.

Im Botanischen Garten Dresden werden die positiven Effekte eines Gründachs erforscht und die Notwendigkeit einer zusätzlichen Bewässerung geprüft. Das Forschungsprojekt wurde über einem ehemaligen Kellergeschoss des Verwaltungsgebäudes des Botanischen Gartens errichtet. Das dort anfallende Grauwasser wird aus dem Gebäude ausgeleitet und für die Bewässerung der Forschungsfelder verwendet, sodass kein zusätzliches Trinkwasser genutzt werden muss. Die 21 Forschungsfelder, welche in Aluminiumwannen eingebettet wurden, werden zudem unterschiedlich stark bewässert. Im Rahmen der wissenschaftlichen Auswertung der Bewässerungsformen konnte gezeigt werden, dass eine Bewässerung positive Einflüsse auf das allgemeine Erscheinungsbild der Begrünung hat und die Funktionsfähigkeit des Dachs durch eine zusätzliche Bewässerung gesichert wird.

Im Zuge der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit wird die Bewässerung von Gründächern genauer betrachtet und im Speziellen die Art und Weise der Bewässerung der Gründachparzellen im Botanischen Garten dokumentiert. Dabei sollen Erkenntnisse über die Notwendigkeit einer zusätzlichen Bewässerung genommen werden, sowohl auch über die positiven Effekte dieser.

1 Inhaltsverzeichnis

Wissenschaftliche Arbeit am IBK: Bewässerung von Gründächern	1
Abstract.....	2
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Inhaltsverzeichnis.....	3
2 Vorwort	7
3 Zusammenfassung.....	8
3.1 Aufgabenstellung	8
3.2 Ergebnisse.....	8
3.3 Zusammenfassende Schlussfolgerung	8
4 Grundlagen Gründach.....	10
4.1 Was ist ein Gründach?	10
4.2 Arten der Gründächer.....	11
4.2.1 Bauliche Grundlagen	12
4.2.2 Aufbau und Funktion des Schichtenaufbaus.....	15
4.2.3 Pflanzenauswahl	16
4.2.4 Notwendigkeit einer Bewässerung	17
4.3 Vor- und Nachteile	17
5 Gründachbewässerung	19
5.1 Bewässerungssysteme	19
5.1.1 Anwendung des Bewässerungssystems.....	20
5.2 Baukonstruktive Beurteilung	20
5.2.1 Anwendung der Konstruktion.....	20
5.2.2 Konstruktiver Aufbau.....	21
5.3 Ökologische Beurteilung.....	22
5.3.1 Wasser- und Materialverbrauch	22
5.3.2 Einfluss auf das städtische Klima	23

5.4	Ökonomische Beurteilung.....	24
5.4.1	Investitions- und Betriebskosten des Systems.....	24
5.5	Variante im Projekt.....	26
6	Gründachentwässerung.....	27
6.1	Entwässerungssysteme	27
6.1.1	Bauliche Grundlagen	27
6.1.2	Entwässerung von Flachdächern.....	27
6.1.3	Variante im Projekt	28
7	Pflege und Wartung extensiver Dachbegrünung.....	29
8	Forschungsprojekt Gründach im Botanischen Garten Dresden.....	30
8.1	Vorstellung des Projekt.....	30
8.1.1	Allgemeine Angaben zum Projekt	31
8.1.2	Messysteme.....	32
8.2	Grauwasseranlage	34
8.2.1	Aufbau der Anlage	34
8.2.2	Funktionsweise der Wasseraufbereitung	35
8.3	Kenndaten und Messergebnisse	37
8.4	Erscheinungsbild der bewässerten Messfelder.....	38
8.5	Darstellung des Projekts.....	41
9	Erkenntnisse zur Bewässerung aus dem Forschungsprojekt	43
9.1	Ökologische Verträglichkeit.....	43
9.1.1	Einsparpotenzial Trinkwasser	43
9.1.2	Einfluss auf das Erscheinungsbild der Begrünung.....	43
9.2	Schlussfolgerung.....	43
10	Literaturverzeichnis	45
10.1	Literatur	45
10.2	Abbildungsverzeichnis Tabellenverzeichnis	46

10.3 Tabellenverzeichnis.....	47
11 Selbstständigkeitserklärung.....	48

Abkürzungen und Symbolverzeichnis

CTD	Wasserhaushalt: Dachabfluss, elektrische Leitfähigkeit, Wassertemperatur
LYS	Lysimeter: Masse
ALT	Altai-Bergenie (<i>Bergenia cordifolia</i>)
GIL	Gilbweiderich (<i>Lysimachia punctata</i>)
KAU	Kaukasus-Vergissmeinnicht (<i>Brunnera macrophylla</i>)
KER	Kerzen-Knöterich (<i>Polygonum amplexicaule</i>)
PRA	Pracht-Storchschnabel (<i>Geranium x magnificum</i> 'Rosemoore')
PUR	Purpurglöckchen (<i>Heuchera villosa</i> var. <i>Macrorrhiza</i>)
TEL	Telekie (<i>Telekia speciosa</i>)
VOR	Vorsommer-Phlox (<i>Phlox idahonis</i>)
WAC	Wachsglocke (<i>Kirengeshoma palmata</i>)
EPS	Expandiertes Polystyrol
PUR	Polyurethan-Hartschaum
XPS	Extrudiertes Polystyrol

2 Vorwort

Mit zunehmender Verstädterung unserer Umwelt und den drastischen Veränderungen des Klimas, müssen neue Wege gefunden werden, um das Leben in der Stadt weiterhin lebenswert zu gestalten. Der Versiegelungsgrad in unseren Städten ist sehr hoch und nimmt immer mehr zu. Daher erhöhen sich die durchschnittlichen Temperaturen in der Stadt. Begrünungen und Grünflächen nehmen einen erheblichen Einfluss auf das Mesoklima der Stadt und können diesem Effekt entgegenwirken. Da sich jedoch meist der Platz für Begegnungsflächen im städtischen Raum sehr knapp gestaltet, stellt das Gründach eine mögliche Lösung für dieses Problem dar. Aufgrund der Wasserverdunstung und dem damit verbundenen Kühleffekt durch Gründächer, können diese einen positiven Effekt auf die Wärmebilanz der Stadt nehmen und die Luftqualität verbessern. Durch das Wasserrückhaltevermögen eines Gründachs können Abwasseranlagen bedeutsam entlastet werden. Demzufolge wird durch Gründächer das Bild der Stadt in ästhetischer, ökologischer und sogar wirtschaftlicher Hinsicht verbessert.

Im Botanischen Garten der Stadt Dresden wurde daher eine Forschungsstätte für die Untersuchung dieser Effekte des Gründaches errichtet. Ausgestattet mit moderner Messtechnik können so Daten zum Verhalten eines Gründachs und zum Betrieb der Bewässerungsanlage gesammelt werden.

3 Zusammenfassung

3.1 Aufgabenstellung

Zielstellung dieser wissenschaftlichen Arbeit ist die Dokumentation des umgesetzten Bewässerungssystems auf der Gründach Testfläche im Botanischen Garten Dresden. Dabei handelt es sich um eine einfach intensive Dachbegrünung, welche mit Tropfschläuchen in regelmäßigen Zyklen bewässert werden. Dafür wird das im Verwaltungsgebäude anfallende Grauwasser verwendet. Durch ein Filtersystem wird das Grauwasser über eine Pflanzenkläranlage aufbereitet. Das aufbereitete Wasser wird danach für eine gesteuerte Bewässerung der einzelnen Parzellen genutzt.

Das auf dem Gründach verwendete Bewässerungssystem soll im Zuge dieser Arbeit genauer eingeordnet werden und dessen Funktionsweise untersucht werden.

3.2 Ergebnisse

Deutlich zu erkennen ist, dass eine regelmäßige Bewässerung das Erscheinungsbild des Gründachs beeinflusst. Je kleiner die zeitlichen Abstände der Bewässerungszyklen sind, desto ausgeprägter wirkt die Bepflanzung. Die Vegetation dieser Parzellen erscheint fülliger und größer gewachsen. Besonders Pflanzen in sonnig gelegenen Parzellen profitieren positiv von der Bewässerung. An diesen Standorten reicht eine Bewässerung mit großen Abständen (17 Liter alle 8 Tage pro 3,5 m² großem Testfeld) kaum aus, um das Erscheinungsbild der Bepflanzung zu erhalten. Auch die intensiv bewässerten Felder (17 Liter aller zwei Tage) könnten noch stärker bemessen werden, als es aktuell der Fall ist, da der Wassergehalt des Substrates auch hier weit vom Sättigungszustand von ca. 35% entfernt ist. Am optimalen Bewässerungsregime wird aktuell innerhalb des Projektkonsortiums noch gearbeitet. So ist eine Veränderung der zeitlichen Abfolge zum Jahresbeginn festgelegt worden (8,5 Liter jeweils im halben Abstand des Vorjahres) und wird derzeit getestet. Das ist darauf zurückzuführen, dass bei einer zu großen Bewässerungsmasse im kurzen Zeitraum ein erheblicher Anteil des Wassers über die Drainage abfließt und keine gleichmäßige Durchfeuchtung der Gründachfläche erreicht wird. Auch eine Bewässerung in Abhängigkeit des gemessenen volumetrischen Wassergehaltes innerhalb des Substrats wurde diskutiert. Unabhängig davon kann die Arbeit zeigen, dass die gewählte Grauwasseranlage gut funktioniert und die Pflanzenauswahl auf die Wasserqualität abgestimmt ist.

3.3 Zusammenfassende Schlussfolgerung

Es wird deutlich, dass eine zusätzliche Bewässerung eines begrünten Daches nicht nur das Erscheinungsbild, sondern auch die damit verbundenen Funktionsweisen positiv

beeinflusst. Je nach Standort des Daches muss dabei entschieden werden, in welchen zeitlichen Abständen das Dach bewässert werden muss, um die Vegetation gesund zu erhalten. Da jedoch der Trinkwasserverbrauch dafür meist sehr hoch ist, ist die Verwendung von Grauwasser sehr empfehlenswert. Im erläuterten Projekt funktioniert sie tadellos und die verbleibenden Inhaltsstoffe beeinträchtigen die Bepflanzung in keiner Weise.

4 Grundlagen Gründach

4.1 Was ist ein Gründach?

Gründächer stellen in der Architektur einen immer wichtiger werdenden Bestandteil der Stadt dar. Sie dienen der Verbesserung des umliegenden Klimas, können die Funktionsweise eines Gebäudes positiv beeinflussen, ersetzen versiegelte Stadtfläche durch Grünflächen, welche als Lebensraum und Wasserspeicher dienen und sind gleichzeitig ein Gestaltungsmittel. Im Allgemeinen ist der Begriff durch eine auf der Dachfläche begrünte Pflanzendecke zu definieren. Dabei können die Pflanzen das Dach zum Teil oder vollständig bedecken. Es wird in eine Extensiv- und Intensivbegrünung unterteilt, wobei der wesentliche Unterschied in der Bepflanzung liegt. So weist die intensive Begrünung eine größere Bandbreite an Vegetation mit tieferliegenden Wurzeln als die extensive auf. Mehr Pflanzen bringen jedoch auch mehr Aufwand mit sich, weshalb diese zusätzlich bewässert und gepflegt werden müssen. Leichtere Bepflanzung findet man hingegen bei der Extensivbegrünung vor, die auch auf Bestandsgebäuden ergänzt werden kann. Hier ragen die Wurzeln nicht so tief in das Dach und selbst längere Trockenzeiten können die Pflanzen überstehen. Ohne weiteren Pflegeaufwand, das heißt ohne zusätzliche Wasser- und Nährstoffzufuhr, können sich die Pflanzen entwickeln.

Nicht nur in der heutigen Zeit sind Gründächer ein Thema. Schon ab 900 v.Chr. gab es die ersten verwandten Arten, die Gründächer des Vorderen Orients. Darunter bekannt sind „Die hängenden Gärten von Babylon“, welche zu den sieben Weltwundern der Antike gehören. 100 Jahre später bepflanzten die Menschen in Skandinavien ihre Dächer mit Erde und Rasen, was die Wärmedämmung ihrer Häuser erheblich verbesserte. Bekannte Architekten wie Frank Lloyd Wright oder Le Corbusier gestalteten ihre Bauten unter anderem auch mit Gründächern. Ab den 1980ern entstanden immer mehr Gründächer, was vor allem ökologische Hintergründe hatte. Seitdem ist die Entwicklung weit vorangeschritten und Dachbegrünungssysteme sowie Richtlinien und Regelwerke für den Bau und die Nutzung wurden ausgearbeitet.

4.2 Arten der Gründächer

Flachdachbegrünung

Flachdächer benötigen ein Gefälle von mindestens 2%, was aus den Richtlinien für derartige Dächer hervorgeht. Grund dafür ist die Gewährleistung, dass Niederschlag ordnungsgemäß ablaufen kann. Um kein Risiko einzugehen, werden jedoch 5% Neigung empfohlen, da beim Verlegen von Dichtungsmaterialien hügelige Oberflächen durch Überlagern der einzelnen Schichten entstehen. Durch ein größeres Gefälle wird einer Pfützenbildung entgegengewirkt. Bis zu einer Neigung von 18% handelt es sich um ein Flachdach. Dieses eignet sich gut für die Begrünung, da keine direkte Erosionsgefahr vorliegt sowie verschiedene Beläge und Pflanzenarten optimalen Rahmenbedingungen unterliegen. Schon bei 10% Steigung kann Niederschlagswasser nicht mehr vollständig gespeichert werden, weshalb die Fließgeschwindigkeit zunimmt und Aufbauschichten abgetragen werden können.

Steildachbegrünung

Von einer Steildachbegrünung ist die Rede ab 20% Gefälle. Es kann bis zu einer Neigung von maximal 45° reichen. Solche Begrünungen erfordern eine besondere Pflanzenauswahl mit hoher Trockenresistenz, da die Dächer rasch austrocknen. Um mögliche Erosionen zu verhindern, sollten für den Substrataufbau organische, kantig geformte Stoffe verwendet werden. Wird das Dach noch steiler ausgebildet, ab 27%, sind zur Schutzmaßnahme unbedingt ergänzende Schubsicherungen anzubringen, die als Schubswellen oder Gitterelemente ausgebildet werden können. Für solche Fälle gibt es von gewissen Herstellern, wie zum Beispiel Optigrün, passende Systeme aus „Gitter- und Rasterelementen, Netzsystemen oder Festkörperplatten“

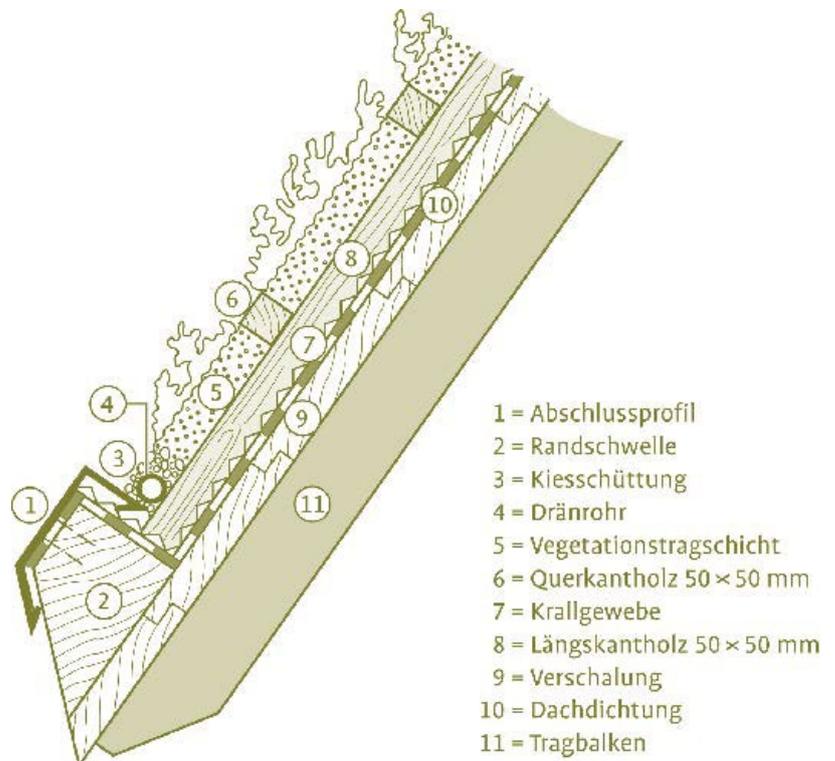


Abbildung 1: Konstruktiver Aufbau Steildach

4.2.1 Bauliche Grundlagen

Zum Planungsbeginn ist für die Ausbildung eines Gründachs die Beachtung gewisser baulicher Grundlagen essenziell, denn darunterliegende Dachkonstruktionen haben einen erheblichen Einfluss auf das Gründach selbst. Eine flache oder steile Dachneigung, die Art und Position der Wärmedämmung sowie die ganze Konstruktion bezüglich ihrer Dichtungsmaterialien und ihrer Tragfähigkeit sollten dabei beachtet werden.

Normative Grundlagen

Gründächer machen die Umgebung, aber auch die Gebäudeansicht attraktiver. Das gilt besonders, wenn sie wie bei Intensivbegrünungen nutzbar sind. Extensiv begrünte Dächer gelten jedoch laut der Flachdachrichtlinie und der DIN 18531 als ungenutzt. Beide Varianten schützen das Dach vor klimatischen Veränderungen, was den Vorteil hat, dass weniger Reparaturen der Dachabdichtung vorgenommen werden müssen als bei einem herkömmlichen Dach. Des Weiteren dienen Gründächer gleichzeitig der Befestigung der Dachaufbauten, besonders bei starken Witterungseinflüssen.

Im Baugesetzbuch ist die „Eingriffs-Ausgleich-Regelung“ festgeschrieben, welche einem Gründach zugutekommen kann, indem es als Ausgleichsmaßnahme der zerstörten Natur eingestuft wird. Eine weitere wichtige normative Grundlage ist die „Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen“, die ebenfalls außerhalb von Deutschland Anwendung findet. Außerdem erwähnenswert sind die Regelungen der DIN 18035-4 „Sportplätze, Rasenflächen“, der DIN 18915-18917 „Vegetationstechnik im Landschaftsbau“ und die FLL-Richtlinie.

Konstruktionsaufbau

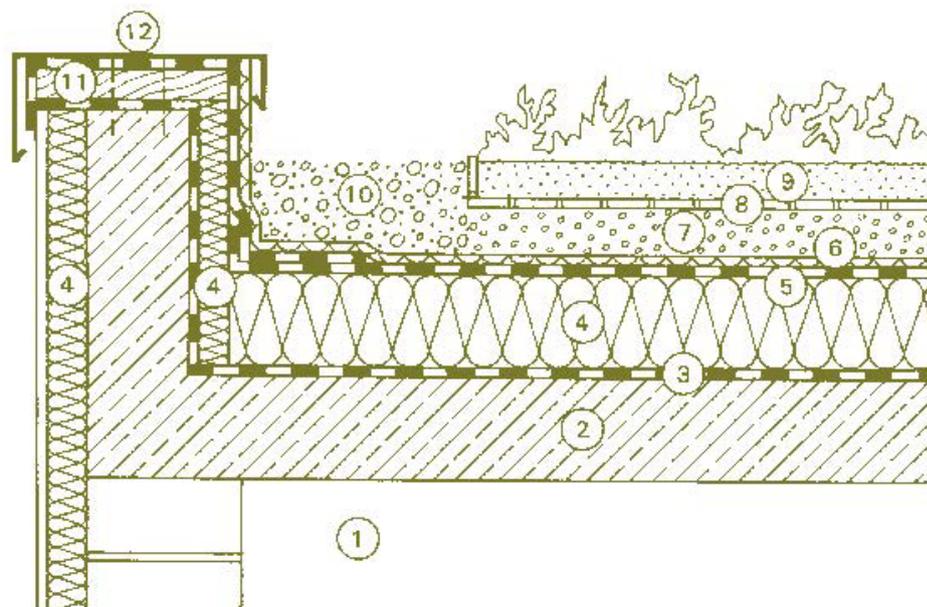
Grundsätzlich können Gründächer auf unterschiedliche Untergründe aufgebracht werden, wozu alle flachen und geneigten Dächer zählen. Ist das Gefälle niedriger als 2%, benötigt es eine besondere Drainageschicht damit die Entwässerung gewährleistet wird. Aufgrund dessen sollten Gründächer ein Minimalgefälle von 2% besitzen, was in der Realität oft nicht ausgeführt wird, gerade bei Dachgärten oder Tiefgaragen. Bei steileren Dächern (ab 5%) kann Wasser aufgrund der Geometrie schneller ablaufen. Um dem entgegenzuwirken, werden Schichtenaufbauten gewählt, die das Wasser besser und in größerer Menge speichern können. Möglich sind auch Schichten, welche die Dränung verringern. Zudem kann die Pflanzenauswahl angepasst werden, indem pflegeleichtere Gewächse, die weniger Wasser benötigen, verwendet werden. Mit steigendem Gefälle nimmt die Gefahr von Erosionen zu, weshalb ab 15° zusätzliche Sicherungsmaßnahmen, wie Randaufkantungen oder Schubschwellen angebracht werden müssen. Ein wichtiger Konstruktionsfaktor ist auch die erhöhte Auflast im feuchten Zustand, für welche die Tragfähigkeit des Gebäudes sichergestellt sein muss. Nicht nur gegen Nässe, sondern

auch gegen Windsog, muss das Gründach ausgebildet sein. Dafür ist das Gewicht im trockenen Zustand für die statische Bemessung anzunehmen.

Je nach Anordnung der Wärmedämmung innerhalb der Dachkonstruktion, sind Besonderheiten für das Warm-, Kalt- und Umkehrdach zu beachten.

Warmdach

Das Warmdach ist als einschaliges oder nichtdurchlüftetes Dach gekennzeichnet, bei dem die Dachkonstruktion ebenso als Decke des Raumes darunter fungiert. Bei dieser Variante wird eine Dampfsperre mit hohem Diffusionswiderstand aus beispielsweise Polyethylen oder Aluminium bzw. als Bitumenbahn unter der Wärmedämmung verlegt, um die Kondensatbildung in der Dämmung zu verhindern. Auf der Wärmedämmung befindet sich nochmals eine Abdichtung, die vor Feuchtigkeit schützt. Für Dachbegrünungen und Beläge sind stauchungsfreie Wärmedämmstoffe zweckmäßig, die dem Druck der Auflast standhalten können. Andernfalls kann es passieren, dass über die Dachdichtung Wasser eintritt und demzufolge das Dach undicht wird. Aus der Flachdachrichtlinie sind geeignete Wärmedämmstoffe für die jeweiligen Einzelfälle zu entnehmen und zu prüfen.



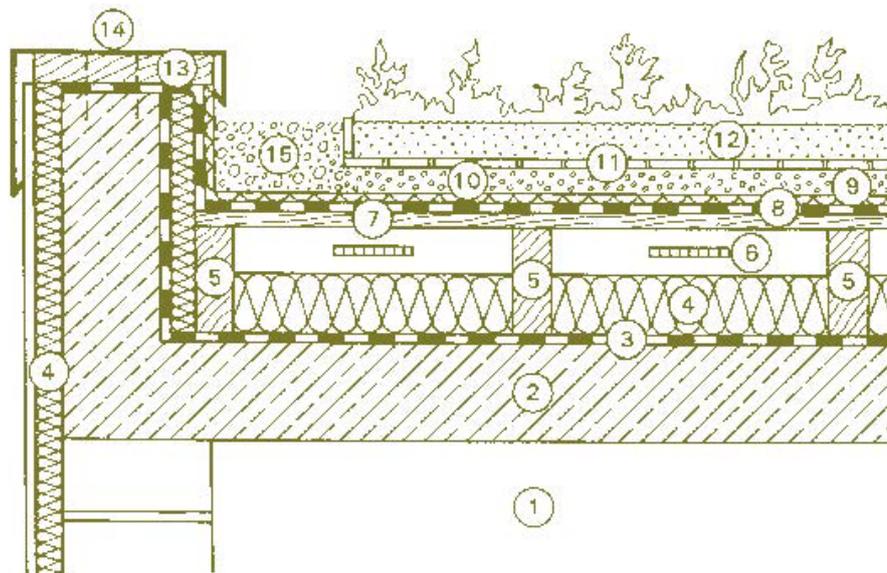
- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1 = Raumluft | 7 = Dränschicht |
| 2 = Tragkonstruktion Stahlbeton | 8 = Filterschicht |
| 3 = Dampfsperre | 9 = Vegetationstragschicht |
| 4 = Wärmedämmung | 10 = Kiebsstreifen |
| 5 = Dachdichtung | 11 = Holzbohle |
| 6 = Schutzlage | 12 = Blechabdeckung |

Abbildung 2: Konstruktiver Aufbau Warmdach

Kaltdach

Beim Kaltdach, welches auch zweischaliges oder durchlüftetes Dach genannt wird, liegt die Wärmedämmung genauso wie beim Warmdach über der Dampfsperre. Dies ist so

vorzusehen, damit feuchte Innenraumlufte nicht in die Dämmung gelangt. Bei dieser Konstruktion sorgt eine durchströmte Luftschicht über der Wärmedämmung für eine ständige Austrocknung, damit auch Restfeuchte entweichen kann. Für eine Dachbegrünung ist die Wärmedämmung mit hoher Druckfestigkeit nicht so bedeutend. Stattdessen können hier auch lose Stoffe, die eine niedrige Tragfähigkeit besitzen, beispielsweise Schafwolle, Zelluloseflocken, etc., zum Einsatz kommen.



- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1 = Raumlufte | 9 = Schutzlage |
| 2 = Tragkonstruktion Stahlbeton | 10 = Dränschicht |
| 3 = Dampfsperre | 11 = Filterschicht |
| 4 = Wärmedämmung | 12 = Vegetationstragschicht |
| 5 = Balkenlage | 13 = Holzbohle |
| 6 = Lüftungsschlitze | 14 = Blochabdeckung |
| 7 = Holzverschalung | 15 = Kiesstreifen |
| 8 = Dachdichtung | |

Abbildung 3: Konstruktiver Aufbau Kaltdach

Umkehrdach

Im Gegensatz zum Warm- und Kaltdach liegt die Wärmedämmung beim Umkehrdach über der Dachdichtung. Diese sollte jedoch nahezu kein Wasser in unterschiedlichen Aggregatzuständen aufsaugen können, damit es bis zur Dachdichtung gelangen kann und über diese abgeführt wird. Besonders gut eignen sich hierbei feste ebenflächige Dämmstoffe, die keine Stellen für Pfützen lassen, wie EPS, XPS, PUR und Schaumglas. Das Umkehrdach als Grundlage für ein Gründach sollte dampfdurchlässige Auflasten besitzen, daher müssen Drän- und Vegetationstragschichten besonders grobkörnig sein. Des Weiteren ist auf eine entsprechende Pflanzenauswahl zu achten, da die Wasserspeicherfähigkeit der Schichten gering ausfällt.

Eine Sonderform des Umkehrdachs ist das Duo-Dach. Bei dieser Variante funktioniert das Warmdach als Unterkonstruktion des Umkehrdaches. Diese Kombination hat den Vorteil, dass die Wärmedämmfähigkeit verbessert wird und es für Sanierungen von Warmdächern angewandt wird.

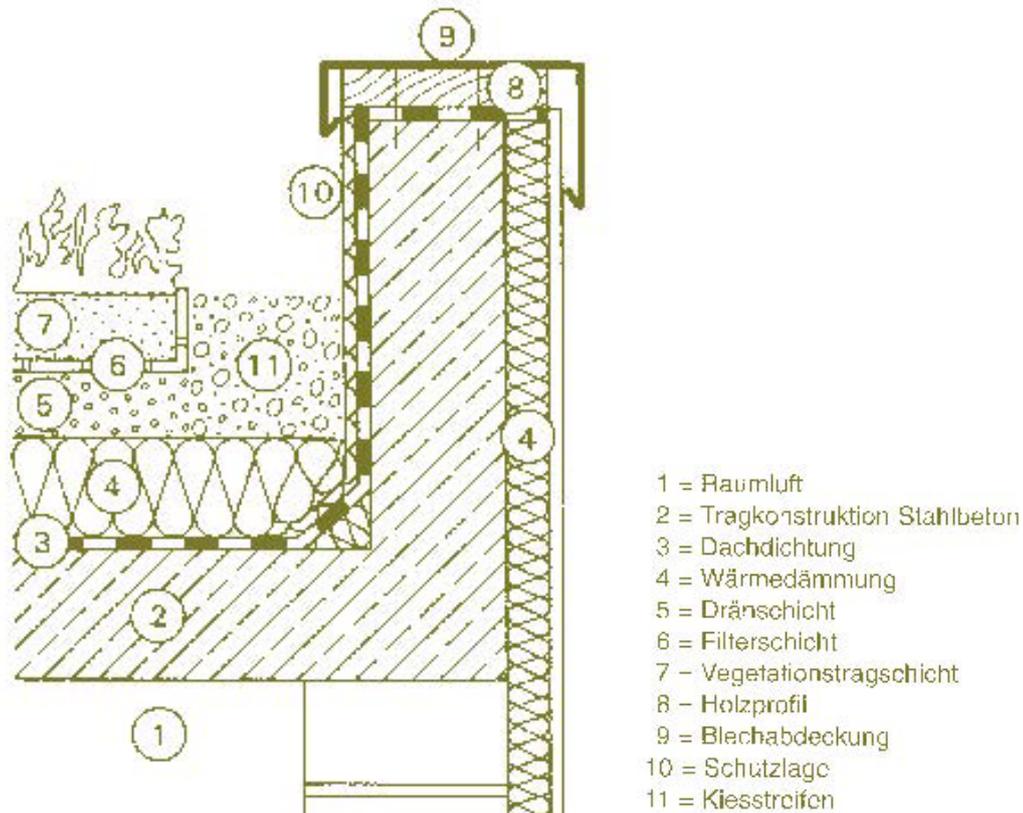


Abbildung 4: Konstruktiver Aufbau Umkehrdach

4.2.2 Aufbau und Funktion des Schichtenaufbaus

Bei einem Gründach erfüllt das Substrat die Aufgabe der Vegetationsschicht. Direkt darunter schützt die Filterschicht die Drainage vor einer Verstopfung mit Kleinteilen, die aus dem Substrat durchsickern können. Ebenso kann zu viel Niederschlagswasser von der Drainage abgeleitet oder für spätere Zwecke gespeichert werden. Für diese Vorgänge benötigt diese Schicht eine Aufbauhöhe von 1 bis 20 cm. Zum Schutz vor mechanischer Beschädigung befindet sich zwischen der Drainage und der Dachabdichtung nochmals eine Schutzschicht. Eine weitere Wurzelschutzbahn kann gewährleisten, dass Pflanzenwurzeln die Dachabdichtung nicht zerstören.

4.2.3 Pflanzenauswahl

Extensivbegrünung

Extensivbegrünungen bezeichnen Vegetationsformen, die eng mit der Natur verbunden sind und sich selbstständig und ohne weitere Versorgung entwickeln können. Sie dienen lediglich als biologischer Schutz des Daches und können nicht, beispielsweise als Dachterrasse, genutzt werden. Die Aufbauhöhe der Begrünung bewegt sich zwischen 4 bis 20 cm und kann ein- oder mehrschichtig ausgebildet werden. Handelt es sich um eine einschichtige Bauweise, hat die Vegetationsschicht zwei Aufgaben; die Filterung und die Drainage. Damit das funktionieren kann, benötigt es mineralisches organisches Substrat, welches aus verschiedenen großen Korngrößen besteht. Zudem können vorkultivierte Vegetationsmatten zum Einsatz kommen, besonders im Falle von windsoggefährdeten Zonen auf Dächern, wo Erosionsgefahr vorliegt, auf denen andere Bepflanzungen nicht in Frage kommen. Diese Matten, welche ca. 2 cm dick sind und ein Flächengewicht von 20 bis 50 kg/m² haben, werden direkt auf das Substrat platziert. Dort verwachsen sie von allein mit der darunterliegenden Schicht. Bei einem mehrschichtigen Aufbau, der kostenintensiver, jedoch bessere Ergebnisse hinsichtlich der Wasserspeicherfähigkeit erzielt, erfordert es neben der Vegetationsschicht ergänzend eine Drainage- und Filterschicht. Die letztere verhindert, dass Kleinteile des Substrates in die Drainageschicht gelangen.

Intensivbegrünung

Im Vergleich zur Extensivbegrünung sind Intensivbegrünungen nutzbar und somit bewirtschafteten und gepflegten Grünflächen ähnlich. Regelmäßige Versorgung, sowie Wasser- und Nährstoffzufuhr gehen damit einher. Der Schichtenaufbau ist auch deutlich höher mit 15 bis 40 cm und kann Flächengewichte von 150 bis 500 kg/m² aufweisen. Insgesamt betrachtet, ist die Intensivbegrünung in der Anschaffung teurer und benötigt mehr Pflege als die extensive Begrünung.

Einfache Intensivbegrünung

Eine Sonderform der Intensivbegrünung stellt die einfache Intensivbegrünung dar. Sie ist preiswerter und bedarf nicht so viel Pflege. Zu den Bepflanzungsmöglichkeiten zählen Gräser, Stauden und Gehölze, die Aufbauhöhen von 12 bis 25 cm mit Flächengewichten zwischen 150 und 200 kg/m² benötigen. Ähnlich wie bei der Extensivbegrünung sind die Pflanzen genügsam mit dem Schichtenaufbau und der Versorgung mit Wasser und Nährstoffen. Letztendlich treten bei dieser Variante jegliche Pflegemaßnahmen und Herstellungskosten im reduzierten Ausmaß auf und bilden somit einen Mittelweg zwischen der Extensiv- und Intensivbegrünung.

4.2.4 Notwendigkeit einer Bewässerung

Um ein Gründach zu bewässern, wird wenigstens ein Wasseranschluss benötigt. Einfachheitshalber funktioniert die Bewässerung automatisch mit Hilfe von Sprühern oder Tropfschläuchen. Entsteht auf Grund von Niederschlag ein Wasserüberschuss, muss es über eine Drainage bis hin zum Ablauf abgeleitet werden. Dies ist vor allem bei Intensivbegrünungen notwendig. Bei extensiv begrünten Dächern mit fehlender Drainageschicht übernimmt hingegen die Substratschicht diese Aufgabe und speichert das Wasser. Dabei besteht bei größeren Niederschlagsereignissen die Gefahr, dass sich das Wasser vorübergehend auf der Oberfläche staut. Aufgrund dessen ist zur Kontrolle ein ständiger Zugang zu den Entwässerungsanlagen unerlässlich.

4.3 Vor- und Nachteile

Ob ein Gründach die richtige Wahl für ein Gebäude ist, hängt von vielen Faktoren ab. Gründächer bringen ganz viele unterschiedliche Vorteile mit sich, jedoch müssen im Zweifelsfalle ein paar Nachteile in Kauf genommen werden.

Gründächer zeichnen sich vor allem durch eine natürliche Alternative zur herkömmlichen Dachbedeckung aus. Aufgrund des immer höher werdenden Versiegelungsgrad, können Gründächer als zusätzliche Wohn- und Nutzfläche gebraucht werden und sind somit ein Ausgleich der neu bebauten Fläche. Egal ob Extensiv- oder Intensivbegrünung, sie bieten neuen Lebensraum für Flora und Fauna, der im Falle der ersten genannten Variante pflegeleicht betrieben werden kann, da sich die Pflanzen, welche kaum Ansprüche an ihre Umgebung stellen, weitestgehend selbst erhalten und entwickeln. Durch die Pflanzen wird außerdem städtischer Lärm abgeschirmt sowie Schadstoffe gefiltert. Nicht nur für die Umwelt wirken sich Gründächer positiv aus, sondern auch für das Gebäude selbst. Die Bepflanzung schützt die Dachabdichtung vor klimatischen Einflüssen und gibt durch ihr Eigengewicht Halt für Dachaufbauten, wie Energieerzeuger oder Klimatechnik. Des Weiteren reduzieren die Pflanzen den städtischen Hitzeinsel-Effekt, da sie für zusätzliche Verdunstung sorgen und die reflektierte Strahlung reduzieren. Diese Klimaanpassungsmaßnahme verbessert die urbane Umgebung und schützt zusätzlich die Dachabdichtung vor äußeren Einflüssen. Des Weiteren kann das Gründach wegen den Pflanzen mehr Niederschlag aufnehmen und speichern, was zum einen den Bewuchs gleich bewässert und zum anderen eine Entlastung der Kanalisation darstellt. Ergänzend können passende Module eingebaut werden, um die Retentionsfähigkeit nochmals zu steigern. Somit werden bei Starkregenereignissen Überschwemmungen vorgebeugt, da die Regenwasserrückhaltung gleichmäßig und langsam abläuft. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, Gründächer als Solargründach auszubilden und Photovoltaikmodule zu integrieren. Diese sind im Vergleich zu einem unbegrünten Dach weniger von

darunterliegender Wärme ausgesetzt, aufgrund des kühlenden Effektes der Vegetation. Zusammenfassend ist ein Gründach nicht nur ein optischer Hingucker, der das Gebäude und sein Umfeld in vielen Kriterien aufwertet, sondern es bringt auch bauliche Vorteile mit sich.

Um die gewünschten positiven Effekte zu erzielen und beizubehalten, müssen Gründächer regelmäßig gepflegt und gewartet werden. Nur so funktioniert die Begrünung uneingeschränkt und die Gebäudesubstanz bleibt unbeschädigt. Außerdem können Extensivbegrünungen nur auf Dächern mit einer Neigung bis zu 45° ausgebildet werden, sonst wird es zu steil und es besteht die Gefahr der Erosion. Des Weiteren muss mit Bestandsumbildungen gerechnet werden, die von jahreszeitlichen Wetterveränderungen hervorgerufen werden. Dennoch können diese bei gepflegter Dachbegrünung auftreten, da gewisse Standortabhängigkeiten und Witterungsverhältnisse dafür verantwortlich sind. Besonders Sedumarten sind davon häufig betroffen.

Trotz der genannten Nachteile von Dachbegrünungen, überwiegen jedoch die Vorteile und jegliche Begrünungsarten von Dächern, vor allem in Stadtgebieten, sind empfehlenswert.

5 Gründachbewässerung

5.1 Bewässerungssysteme und Funktionsweise

Dachbegrünungen müssen aufgrund der Zunahme längerer Trockenperioden immer häufiger zusätzlich bewässert werden. Die wesentlichen Wege ein Gründach zu bewässern sind dabei die Tröpfchenbewässerung und die Anstaubewässerung.

Wasserversorgung mit Beregnung/ Tröpfchenbewässerung

Die Wasserversorgung mit Beregnung findet überwiegend bei extremen Witterungsverhältnissen Anwendung, da bei extensiven Begrünungen meist keine Bewässerung unbedingt notwendig ist.

Dennoch ist eine zusätzliche Bewässerung in Trockengebieten und bei niedrigen Schichtdicken der Begrünung von Vorteil. Um der Gefahr der Austrocknung bei geringen Schichtdicken der Drain- und Vegetationsschichten entgegenzuwirken, ist die Bewässerung mit einem Tropfschlauch und mobilen Regnern möglich. Damit keine Wasserverluste entstehen, kann der Tropfschlauch auf einer Schutzlage aus Kunststoffvlies in der Dränschicht verlegt werden. Dabei gibt der Schlauch Wasser an die Vliesschicht ab, wenn die Zuleitung geöffnet ist. Die Pflanzen können dann in die Dränschicht wurzeln und sich mit Wasser versorgen. Das Oberflächengefälle regelt die Weiterleitung des Wassers.

Wasserverluste können auch durch eine Bewässerung mit automatischer Steuerung vermieden werden. Diese erfolgt über Zeitautomaten, welche regelmäßige Bewässerungsgänge auslösen. Ein Regensensor schaltet dabei die Zeitsteuerung bei natürlichem Niederschlag aus. Über ein Impuls-Magnetventil kann in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte die Zuleitung geöffnet oder geschlossen werden.

Anstaubewässerung

Die Pflanzen eines Gründachs können auch mittels eines permanenten Wasseranstaus in der Dränschicht bewässert werden. Das Regenwasser sammelt sich dabei bis zur Oberkante des Ablaufstutzens in der Dränschicht. Den Pflanzenwurzeln steht dann das angestaute Wasser zur Verfügung.

Eine grobkörnige Dränschicht aus geringen kapillarwirkenden Stoffen (Blähton, Schiefer) ist Voraussetzung für diese Art der Bewässerung und muss so dick ausgebildet werden, dass ein Aufsteigen des angestauten Wassers in die Vegetationsschicht vermieden wird. Die Dränschicht sollte mindestens 5 cm über die Anstauebene herausragen.

Die elektronische oder mechanische Steuerung mit Schwimmern hält die Anstauebene durch Nachfüllen konstant. Das bei Regenfällen auftretendes Überschusswasser läuft über einen Ablaufschacht und ein angebrachtes Steigrohr ab.

5.1.1 Anwendung des Bewässerungssystems

Das Wässern von Intensivbegrünungen ist regelmäßig notwendig, wenn keine natürlichen Niederschläge fallen. Dies kann zu einem hohen Verbrauch von Trinkwasser während der Trockenperiode führen. Daher sollten die Substratdicken und die verwendeten Pflanzengemeinschaften gut aufeinander abgestimmt sein, damit auch bei Trockenheit und hohen Temperaturen eine Zeit von vier bis sechs Wochen ohne Bewässerung überstanden werden kann. Eine sensorgesteuerte Bewässerung oder eine der Lösungen mit Wasseranstau können die Pflanzen automatisch versorgen, ohne sinnlosen Wasserverbrauch. Bei Witterungsverhältnissen ohne Niederschläge und hohen Extremtemperaturen ist eine Notbewässerung zur Erhaltung der Vegetation jedoch erforderlich. Diese sollte spätestens nach dem Einsetzen des permanenten Welkepunktes erfolgen.

5.2 Baukonstruktive Beurteilung

5.2.1 Anwendung der Konstruktion

Wasserversorgung mit Beregnung/ Tröpfchenbewässerung

Die Tröpfchenbewässerung ist auch für steilere Dächer geeignet. Dabei wird der Tropfschlauch dann an der Firstseite installiert. Ebenfalls vorteilhaft ist, dass diese Art der Bewässerung automatisch gesteuert werden kann und somit Wasserverluste minimiert werden können. Ein Feuchtesensor erfasst dafür die Bodenfeuchte des Substrats. Dadurch wird über Saugspannung die Bewässerungssteuerung aktiviert. Bei Bedarf öffnen oder schließen die Magnetventile die Wasserleitung oder die Pumpe wird ein- und ausgeschaltet.

Die automatische Steuerung kann jedoch nicht bei mineralischen, grobkörnigen Substraten verwendet werden, da diese keine Hohlräume besitzen und kein Unterdruck für die Saugspannung entstehen kann.

Anstaubewässerung

Die Anstaubewässerung ist für Intensivbegrünungen und gefällefrie Dächer besonders gut geeignet, da es nur bei geringem Gefälle zu einem Wasseranstau kommen kann.

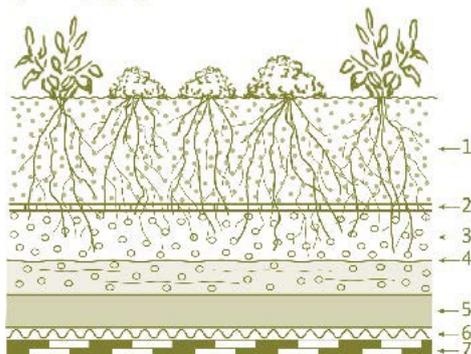
Für extensiv begrünte Dächer ist diese Art der Bewässerung jedoch zu schwer und untauglich bei steileren Dächern, da es zum Abfließen des Wassers in der Drainageebene kommen würde. Dächer mit geringer Neigung (2-3%) benötigen daher zusätzliche Schwellen für einen gestaffelten Wasseranstau.

	Extensivbegrünung	Intensivbegrünung	Einfache Intensivbegrünung
Flachdachbegrünung	Anstaubewässerung ungeeignet → zu hohe Lasten Tröpfchenbewässerung funktionierend	Anstaubewässerung (mit zusätzlich eingebauten Schwellen für den Anstau) und Tröpfchenbewässerung geeignet	Anstaubewässerung je nach Größe und Lasten des Daches und Bepflanzung im Einzelfall prüfen Tröpfchenbewässerung tauglich
Steildachbegrünung	Anstaubewässerung untauglich → Wasser fließt durch Gefälle in der Drainageebene ab Tröpfchenbewässerung überall anwendbar, automatische Steuerung bei vielen Substratarten möglich → Wassereinsparung		

Tabelle 1: Vergleich der Konstruktionsarten bezüglich der Bewässerung

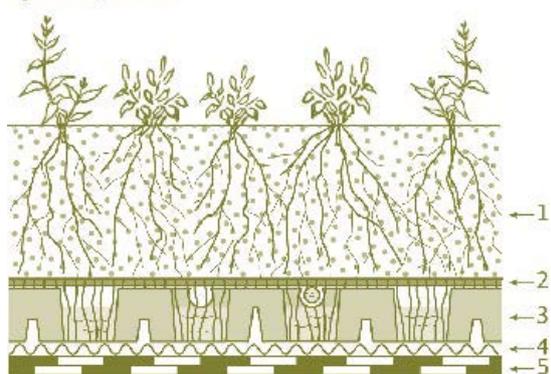
5.2.2 Konstruktiver Aufbau

System „Optigrün“



- 1 = Substrat
- 2 = Filtervlies
- 3 = Dränschicht
- 4 = Stauhorizont
- 5 = Dränprofil dreieckig
- 6 = Schutzlage
- 7 = Dachabdichtung zweilagig, wurzelfest

System „ZinCo“



- 1 = Substrat
- 2 = Dochtvlies DV 40 patentiert (ZinCo)
- 3 = Speicherelement Aquatec AT 45 patentiert (ZinCo) mit Tropfschlauch
- 4 = Schutzlage
- 5 = Dachabdichtung zweilagig, wurzelfest

Abbildung 5: Wasserversorgung durch Anstau

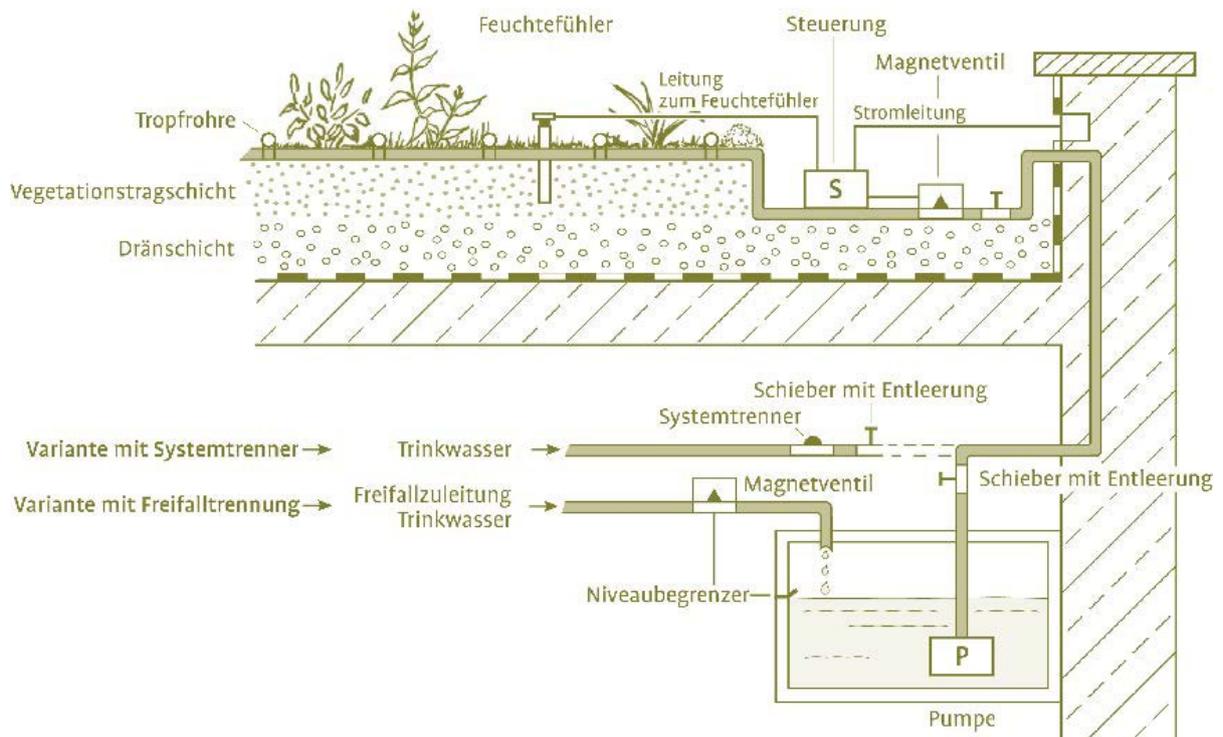


Abbildung 6: Bewässerungsanlage mit Tropfschläuchen

5.3 Ökologische Beurteilung

Es gibt zahlreiche Faktoren, die den ökologischen Wert eines Gründaches beeinflussen können. Ziel des nachhaltigen Bauens ist es dabei den Energieverbrauch des Baus zu senken und dabei wiederverwendbare Baustoffe einzusetzen, die in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können. Doch auch die Schonung von Naturräumen und flächensparendes Bauen kann zur ökologischen Qualität eines Baus beitragen. Die Transportkosten der jeweiligen Materialien sollten ebenfalls so gering wie möglich gehalten werden. Gründächer können dabei in fast allen Aspekten des nachhaltigen Bauens integriert werden.

5.3.1 Wasser- und Materialverbrauch

Besonders hohe Wasserverluste verursacht die Anstaubewässerung, da das Wasser leicht abtreiben und verdunsten kann. Daher bietet sich als verfügbare Wasserquelle ein geschlossenes System über eine Zisterne an. Überschüssiges Wasser wird dabei aus der Dachbegrünung in die Zisterne geleitet und wieder von dort entnommen. Optimal ist ebenfalls eine automatische Bewässerung mit Brauchwasser aus einer angeschlossenen Zisterne.

Für die Drän- und Tragschichten sollten möglichst Stoffe aus gebietseigener Herkunft verwendet werden. Zu überdenken ist der Einbau von Baustoffen, die energieaufwendig

aufbereitet werden müssen. Die Verwendung von Kunststoffen in jeder Form sollte dabei vermieden werden, da diese Stoffe meist schwer trennbar sind und damit eine Wiederverwendung hemmen. Als Schutz- und Filterschichten können auch organische Stoffe Verwendung finden. Die meisten dieser Baustoffe können sogar ortsnahe gewonnen werden. Beim Abriss des Gebäudes können diese Materialien dann als Ersatz für Oberboden zu hochwertigen Erden aufbereitet werden.

5.3.2 Einfluss auf das städtische Klima

Immer mehr Menschen leben in Städten und auch in der Zukunft bleibt wahrscheinlich die Zahl der Zuwanderung konstant, wenn sie nicht sogar steigt. Der Versiegelungsgrad wird höher, aber kann sich nicht bis ins Unendliche erweitern, vor allem, wenn zunehmend Grünflächen dafür weichen müssen. Unterdessen verlieren Siedlungsräume durch fehlende Freiflächen, die von Land- und Fortwirtschaft betrieben werden oder naturgeschützt sind, an Attraktivität und Qualität. Gründächer können dabei einen erheblichen Nutzen für die Stadtlandschaft und deren Bewohner bringen.

Durch die Bebauungsdichte in Städten mangelt es dort an wasserspeichernden und verdunstungsfähigen Flächen, die für sinkende Temperaturen sorgen würden. Ohne diese, so wie es in vielen Städten vorherrscht, bilden sich Temperaturschwankungen im Sommer von bis zu 10°C im Gegensatz zum Umland, sowie zu Wärmeinseln in den besonders dicht bebauten Zonen. Dort erwärmen sich tagsüber die Dächer, Wände sowie Oberflächen und geben die aufgenommene Energie in Form von Wärme nachts an die Umgebung zurück. Prognostiziert werden, dass die Zeiträume mit höheren Temperaturen künftig des Öfteren auftreten, was die Wohnqualität in dieser Zeit negativ beeinflussen wird. Aufgrund dessen ist es sinnvoll, mehr Verdunstungspotenziale in Städten zu erzeugen. Besonders Dächer eignen sich dafür hervorragend, denn sie sind von Grund auf vorhanden und es müssen keine zusätzlichen Flächen geschaffen werden. Vor allem Gründächer können größere Wassermengen aufnehmen, welche über die Substrat- und Vegetationsschicht verdunsten und sich somit eine Kühlungsfunktion ergibt. Tests ergaben eine deutliche Minimierung der Oberflächentemperaturen von Gründächern im Gegensatz zu Kiesdächern von bis zu 30°C. Damit geht eine geforderte Schichtdicke der Substrate von 10 bis 15 cm, sowie eine Speichermöglichkeit des Regenwassers im System einher. Um das Kühlungspotenzial zu steigern, eignen sich automatische Bewässerungsanlagen, die bestenfalls aufbereitetes Grauwasser nutzen und damit die Verdunstung begünstigen.

Insbesondere nach kräftigem Regen können städtische Abwasseranlagen überfordert werden, was Überflutungen von Straßen und Gebäuden zur Folge haben kann. Fachplanerische Maßnahmen wie, Regenrückhaltebecken, Regenüberläufe und

Stauraumkanäle versuchen solche Ereignisse zu verhindern. Jegliche bebauten Oberflächen lassen Niederschlagswasser in kürzester Zeit aufgrund ihrer Dachneigung und des Materials ablaufen sowie genauso schnell in die Kanalisation fließen. Ist der Niederschlag vorbei, verbleiben meistens nur noch 10 bis 30 % des Wassers außerhalb der Kanäle. Damit solche Spitzenwerte der Versickerung vermindert werden, können versickerungsfähige Beläge auf Geländen angelegt werden. Problematisch wird es jedoch, da zunehmend weniger freier Raum zur Verfügung steht. Abhilfe leisten Zisternen, die das Auffangen von Regenwasser möglich machen. Gründächer haben den Vorteil, dass sie Überflutungen durch ihren eigenen Verbrauch des Wassers mäßigen. Überschüssiges Niederschlagswasser benötigt längere Zeit, um in die Kanäle zu fließen und entlastet dabei die Kanalisation.

5.4 Ökonomische Beurteilung

5.4.1 Investitions- und Unterhaltungskosten des Systems

Für die Errichtung eines Gründachs können verschieden Kosten entstehen. Zunächst kommen meist Kosten für den Grunderwerb von Bauland auf. Der Preis dessen wird dabei von Angebot und Nachfrage beeinflusst. Dieser beträgt in Deutschland bis zu 50 €/m² auf dem Lande und bis 250 €/m² in den Ballungsgebieten.

Ein begrüntes Dach muss aufgrund der zusätzlichen Auflast eine höhere Tragfähigkeit der Unterkonstruktion aufweisen als ein Dach ohne Begrünung. Diese Kosten sollten schon bei der Planung berücksichtigt werden und betragen etwa 10 bis 20 €/m². Dabei sollte die Nutzlast des Dachs von etwa 2,50 kN/m² auf 7,00 kN/m² erhöht werden.

Die Kosten dafür werden auf der Grundlage von Fertigbetondecken bis zu einer Spannweite von 6,00 bis 7,00 m ermittelt. Auch Aufwendungen für die Verbesserung der Erreichbarkeit der Dachfläche müssen berücksichtigt werden. Bei einer Nutzlast von 7,00 kN/m² sind die Voraussetzungen für nahezu alle Varianten der Dachbegrünung gegeben.

Die Herstellkosten eines Gründachs werden von vielen Faktoren beeinflusst. Dazu können die Größe der Fläche, die Erreichbarkeit, die Beschäftigungslage der Fachfirmen, ein möglicher Maschineneinsatz, die Transportwege und die Nutzung vorhandener Sicherungsmaßnahmen gehören.

Die Kosten für die Begrünung hängen erheblich von der Art der Begrünung ab. Für eine Intensivbegrünung sind höhere Kosten zu erwarten als für eine Extensivbegrünung. Bei der Fertigstellung liegen diese für eine Intensivbegrünung bei 1,00 bis 5,00 €/m² und für eine Extensivbegrünung bei 0,50 bis 1,50 €/m².

Für die Pflege und Wartung der Begrünung können ebenfalls Kosten anfallen. Diese unterscheiden sich wieder je nach Art der Begrünung. Für die Unterhaltungspflege von Extensivbegrünungen muss mit 0,20 bis 0,80 €/m² gerechnet werden und für die der Intensivbegrünung mit 1,00 bis 5,00 €/m². Zu hohe Kosten können durch eine gute Planung des Gründachs vermieden werden.

5.5 Variante im Projekt

Im Botanischen Garten Dresden befinden sich einfach intensiv begrünte Parzellen. Normalerweise ist bei einer extensiven Begrünung keine Bewässerung notwendig. Im Zuge des Forschungsprojektes wird die extensive Begrünung jedoch mit Tropfschläuchen bewässert. Dabei handelt es sich um einfache Kunststoffschläuche mit Perforation. Diese wurden so gewählt, dass keine Sonderanfertigungen notwendig waren.

Bewässerungsweise der Begrünung

Tröpfchenbewässerung mit Tropfschlauch:



Abbildung 7: Verteiler Bewässerung Botanischer Garten Dresden

Tropfschläuche:

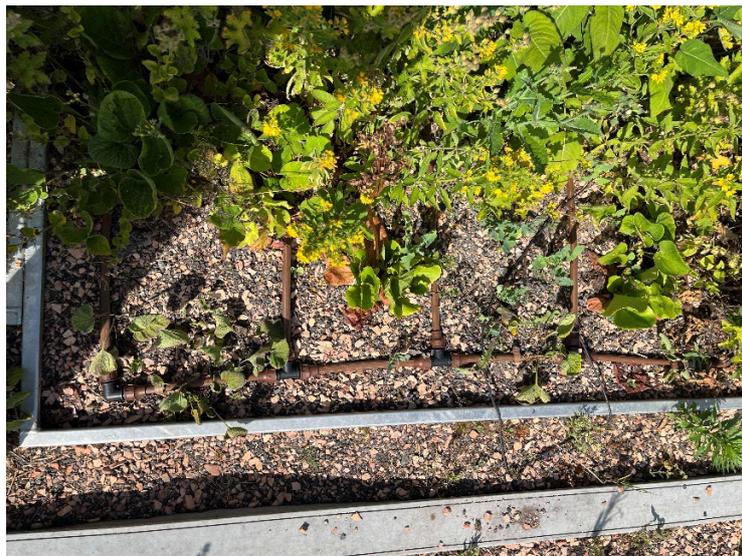


Abbildung 8: Tropfschläuche Botanischer Garten Dresden

6 Gründachentwässerung

6.1 Grundlagen der Entwässerung

Von besonders großer Bedeutung bei der Entwässerung eines Dachs ist die Dachabdichtung und der damit verbundene Schutz der Unterkonstruktion. Jedoch können Dachabdichtungen beschädigt werden, wenn Oberflächenwasser auf dem Dichtungshorizont auf Dauer zurückbleibt und sich Pfützen bilden.

Bei der Planung sollten auch das Gefälle, die Ebenflächigkeit der Decke und die Fügechnik des Dachs berücksichtigt werden. Dabei steigen mit zunehmender Dachneigung die Abflussgeschwindigkeiten und die bautechnisch gewünschte Restentleerung des Dachsystems.

Für die Vegetation ergeben sich daraus jedoch Nachteile bezüglich der Wasserversorgung. Da die Pflanzen auch bis zur Dachabdichtung hin wurzeln können, ist als Schutz über der üblichen Dachabdichtung eine weitere, wurzelfeste Dichtung anzubringen. Flachdächer ohne Gefälle haben sich in Trockengebieten und bei Systemen mit Wasseranstau bei Gründächern bewährt.

6.1.1 Bauliche Grundlagen

Bei der Planung einer Gründachentwässerung müssen insbesondere das Gefälle, die Ebenflächigkeit der Decke und die Fügechnik berücksichtigt werden. Die Flachdachrichtlinien fordern dabei ein Mindestgefälle von 2 %, um einen ausreichenden Abfluss des Niederschlagswassers zu gewährleisten. Bis zu einer Neigung von etwa 5 % kann es hierbei zu geringfügigem Restwasser auf der Dichtung kommen, das aber toleriert werden kann. Dabei darf die Ebenflächigkeit der Rohdecke gemäß DIN 18202 bei einem Messpunktabstand von 4,00 m 20 mm betragen. Hinzu kommen die Höhenunterschiede durch die Überlappung bei der Fügechnik der einzelnen Bahnen, welche ebenfalls beachtet werden sollten. Bei einem Gefälle von über 5 % und einwandfreier Verarbeitung ist davon auszugehen, dass eine Pfützenbildung ausgeschlossen ist.

6.1.2 Entwässerung von Flachdächern

Die Entwässerung von Flachdächern verläuft entweder bei einseitiger Neigung über außen liegende Abflussrinnen oder über innen liegende Punkteinläufe. Bei innen liegenden Abflussrinnen wird in den meisten Fällen, vor allem bei kleineren Dachflächen, mit dem Freispiegelsystem gearbeitet. Dabei erfolgt die Ableitung in teilverfüllten Rohren nach der Schwerkraft. Wichtig dabei ist, dass alle Anschlüsse mit Gefälle zur Grundleitung geführt werden. Notwendig sind deshalb Einläufe mit Belüftung, um einen Abflusstau

durch Unterdruck zu verhindern. Die Einläufe müssen dabei frei von Vegetation, z. B. zur Sicherung mit einer Kiesfläche, gehalten werden. Daher sind Kontrollschächte über den Einläufen von Vorteil. Systemhersteller bieten Schächte für unterschiedliche Aufbauhöhen mit und ohne Wasserstau an. Erforderlich für jedes Dach ist nach den Flachdachrichtlinien, unabhängig von der Fläche, ein Ablauf und ein Notablauf.

6.1.3 Variante im Projekt

Die Gründachparzellen im Botanischen Garten Dresden sind als Flachdach ausgebildet. Daher wird überschüssiges Wasser über ein geringfügiges Gefälle in eine Dachrinne entwässert.



Abbildung 9: Entwässerung Flachdach Botanischer Garten Dresden

7 Pflege und Wartung extensiver Dachbegrünung

Um die Funktionalität und das Erscheinungsbild eines extensiv begrünten Daches zu erhalten, ist eine regelmäßige Kontrolle notwendig. Dennoch haben extensiv begrünte Dächer einen recht geringen Pflegeaufwand im Gegensatz zu einer intensiven Dachbegrünung. Fehlende Pflege kann dabei jedoch zu unerwünschten Begleiterscheinungen führen. Insbesondere Dachbegrünung und -abdichtung werden dadurch beeinträchtigt. Auch eine Fehlentwicklung der Vegetation kann verursacht werden, wenn ein Gründach nicht regelmäßig gepflegt wird.

Aufgrund von fehlender Vegetation können Substratverwehungen entstehen, was zum Freilegen der Dachhaut führen kann. Die Dachhaut ist nicht mehr durch das Substrat geschützt und kann beschädigt werden. Unerwünschte Vegetation auf dem Dach verursacht nicht nur Schäden, sondern erhöht auch die Dachlast, was sich ungünstig auf die Funktionalität der Dachabdichtung und der technischen Anlagen auswirken kann. Fehlende Pflege über mehrere Jahre kann jedoch auch zur Folge haben, dass ursprüngliche Zielvegetation nicht wieder erreicht werden kann. Daher sollten Pflegemaßnahmen von gärtnerisch geschultem Fachpersonal regelmäßig ausgeführt werden.

Um eine vitalere Vegetation und einen höheren Pflanzendeckungsgrad zu erhalten, werden immer häufiger Düngemittel als unterstützende Maßnahme verwendet. Zusätzlich sollten jedoch mindestens zwei Pflege- und Wartungsgänge pro Jahr durchgeführt werden, empfehlenswert sind drei bis vier pro Jahr.

Schon bei der Planung sollte die maximale Wasserkapazität des Substrats beachtet werden. Diese ist abhängig vom Standort und der dort vorherrschenden Bedingungen, wie zum Beispiel der Niederschlagsmenge an diesem Standort. Daher ist zu empfehlen, dass in Regionen mit geringer Niederschlagsmenge (Berlin) Substrate mit hoher maximaler Wasserkapazität (50-65 Vol.-%) verwendet werden und so eine längere Speicherfähigkeit und bessere Versorgung der Pflanzen ermöglicht wird.

In Regionen mit hoher Niederschlagsmenge (München) ist die Verwendung von Substraten mit niedrigerer maximaler Wasserkapazität (dränfähig) (<50 Vol.-%) empfehlenswert, da so die Entstehung von Staunässe vermieden wird. Mit steigender Substratstärke kann eine höhere Niederschlagsmenge zurückgehalten werden. Ebenfalls kann bei Starkregenereignissen die Regenwassereinleitung in die Kanalisation verzögert werden und so Überflutungen vorgebeugt werden.

8 Forschungsprojekt Gründach im Botanischen Garten

8.1 Vorstellung Projekt

Das Forschungsprojekt Gründach wurde über einem ehemaligen Kellergeschoss des Verwaltungsgebäudes des Botanischen Gartens errichtet. Auf dem Dach befinden sich 21 Forschungsfelder, welche in Aluminiumwannen eingebettet wurden. Es handelt sich dabei um eine Zwischenlösung der extensiven und intensiven Dachbegrünung mit einer Substrathöhe von etwa 20 cm. Die angrenzenden Nebenflächen wurde mit dem gleichen Schichtenaufbau befüllt. Drei der Forschungsfelder (I.1, I.2, I.3) sind wägbare und daher als Lysimeter ausgelegt.

In Zeiten des Klimawandels werden Strategien der Anpassung an die sich permanent verändernden Verhältnisse immer bedeutsamer. Dachbegrünung und Grauwasserverwendung sind solche Strategien, welche mit den Folgen des Klimawandels kooperieren können. Das Gründach im Botanischen Garten soll mit dem in einer Pflanzenkläranlage gereinigten Grauwasser aus dem Verwaltungsgebäude des Gartens bewässert werden. Dazu wurde eine Tröpfchenbewässerung auf dem Dach installiert. Auf den Versuchsfeldern wurden verschiedene Sonden zur Erfassung bauklimatischer Daten angebracht. Untersucht werden mittels dieses Messsystems die Zusammenhänge zwischen Verdunstungs- und Wasserretentionsleistungen. Daraus können Erkenntnisse über den Einfluss der Grauwasserbewässerung auf Verdunstungsleistung und damit auch auf die Gebäudeklimatisierung und das städtische Mikroklima gezogen werden.

Die Nutzung der Verdunstungsleistung in längeren Trocken- und Hitzeperioden ist auf Grund des limitierten Retentionsvermögens geringschichtiger Dachbegrünungsformen stark eingeschränkt. Eine ergänzende Bewässerung kann diesem Umstand entgegenwirken. Dabei stellt die Verwendung von Trinkwasser weder eine nachhaltige noch ökonomisch sinnvolle Möglichkeit dar. Das Messsystem soll daher die Möglichkeiten und Herausforderungen einer Bewässerung mit aufbereitetem Grauwasser demonstrieren und untersuchen.

Noch nicht untersucht wurde in welchem Umfang eine Bewässerung zu einer aktiven Kühlung des Gebäudes beitragen kann, und soll daher mittels des Messsystems erfasst werden. Untersucht werden ebenfalls die Auswirkungen variierender, gesteuerter Bewässerungsgaben mit aufbereitetem Grauwasser auf die Leistungsfähigkeit der Dachbegrünung.

Grundsätzlich befasst sich das Projekt mit dem Kühlpotential eines Gründachs, welches durch eine zusätzliche Bewässerung des Daches erschlossen werden kann und den daraus resultierenden Auswirkungen auf städtische Umgebung und angrenzende Bauteile.

8.1.1 Allgemeine Angaben zum Projekt

Ziel des Projekts ist es, eine konstante Temperatur von 26°C im Raum unter dem Gründach mit wenigen Überschreitungen zu gewährleisten. Die Raumtemperatur ist jedoch von vielen Faktoren und nicht nur von der Dachkonstruktion und der Feuchte des Gründachs abhängig, sondern auch von der Heizung, Lüftung und den Fensterflächen des Raumes. Zu beachten ist ebenfalls, dass Flachdachkonstruktionen in Deutschland aufgrund des Klimas recht gut gedämmt sind. Daher ist es wahrscheinlich, dass das Gründach in diesem Fall kaum einen kühlenden Einfluss auf das Raumklima hat.

Bei der Errichtung des Gründachs über dem Kellergeschoss wurden unterschiedliche Dicken der Decke und des Daches mit Thermobeton ausgeglichen, was eventuell die Berechnung des Wärmedurchgangs des Innenraumes erschweren könnte. Um die Ergebnisse realistischer zu betrachten, müsste man eine zweidimensionale Berechnung durchführen, jedoch ist der Modellierungsaufwand und geometrische Parametrisierung sowie der dadurch entstehende Simulationsaufwand schwierig. Daher wird im Projekt die eindimensionale Berechnung durchgeführt. Dabei wird das Gründach einzeln betrachtet. Unter dem Gründachaufbau wird eine Schichttemperatur gewählt und das Kellergewölbe unbeachtet gelassen. Ausgegangen wird von eindimensionalem Feuchtetransport, da sich dieser seitlicher der Edelstahlwannen befindet. Treten in dieser Richtung starke Wärmeströme auf, kann darauf mit 2D-Simulationen gearbeitet werden.

Durch eine zusätzliche Bewässerung kann der Bewuchs gefördert werden und somit auch eine höhere Evapotranspiration. Weiteres Kühlpotential besteht durch die Temperaturdifferenz des zugeführten Grauwassers zum Gründach. Die Temperatur des Grauwassers weist dabei eine Temperatur auf, die zwischen der Umgebungstemperatur und der Bodentemperatur liegt, auf. Solareinstrahlung kann diese jedoch beeinflussen, wenn die Leitungsführung zum Gründach offen liegt. Deswegen ist es besser, wenn die Leitungen der Wasserzufuhr im Boden liegen, später verschattet werden und nah an massiven Bauteilen verlegt werden, sodass die Kühlungsfunktion gewährleistet wird. Diese soll mittels eines Messsystems für Wasser-, Stoff- und Wärmehaushalt von Dachbegrünungen ermittelt werden.

8.1.2 Messsysteme

Es handelt sich bei den Messsystemen des Projekts um ein Messsystem für Wasser-, Stoff- und Wärmehaushalt von Dachbegrünungen. Gemessen werden klimatische, thermische, bauklimatische, hydraulische und stoffliche Parameter.

Dabei befinden sich die einzelnen Messmodule unter, in oder über dem Dachbegrünungsaufbau, im Verwaltungsgebäude sowie in geringem Abstand zum Gebäude auf dem Außengelände. Ein separater Raum steht für das Zentralmodul zur Steuerung der Messtechnik, die Datenkommunikation und -verwaltung zur Verfügung.

Es befinden sich verschiedenste Sensoren auf den einzelnen Parzellen des Gründachs. Das sind Sensoren für Temperatur- bzw. Bodenfeuchtemessung, die zum einen Daten zu Wassermenge und -qualität aufnehmen und zum anderen bauklimatische Daten zu Luftfeuchte und Masseabfluss sammeln.

Beispielsweise befinden sich auf dem Gründach sechs Sensoren zur Erfassung von Temperaturprofilen in der eigentlichen Dachbegrünung und am Übergang zur Atmosphäre. An jedem Abfluss eines Testfeldes sind ebenfalls CTD Sonden vorhanden, welche Daten zu Bodenfeuchte und Leitfähigkeit aufnehmen.

Bauklimatische Daten werden durch LF-Sonden, welche Messwerte zur Luftfeuchte aufnehmen, gemessen.

Drei der Testfelder wurden als Lysimeter ausgebildet und erfassen kontinuierlich Daten zu Masse und Abfluss.

Bezeichnung	Anzahl	Messwert	Einheit	Messbereich		Auflösung*	Genauigkeit*	Kalibrierungen	Lage	
				(von	bis)					
CTD	21	Abfluss	mWs	0	1	0,0005	0,001		Am Abfluss an jedem Testfeld	
		Elektr. LF	uS/cm	0	2.000	1	0,5%			
		Temperatur	°C	-10	45	0,1	0,2			
ASM	3	Wasserqual.	-	UV VIS		256 Pixel	-		2x Nachsp. 1x an CTD	
WLT	21	Wassergehalt	%Sätt.	0	100	0,1	5%		In jedem Testfeld	
		Elektr. LF	uS/cm	0	10	0,01	2%			
		Temperatur	°C	-10	60	0,1	5%			
VTP	6	Temperatur	°C	-10	60	0,1	0,1		Alle Felder FI	
LYS	1	Masse	kg	500	1.500	0,1	0,02%		Felder Fl.1 bis Fl.3	
		Abfluss	l/min	0	10	0,1	5%			
LTA	6	Luftfeuchte	rel.LF	0	100	0,1	2			
		Temperatur	°C	-25	80	0,04	0,2			
LTI	10	Luftfeuchte	rel.LF	0	100	0,1	2			
		Temperatur	°C	-25	80	0,04	0,5			
WFP	6	Wärmestrom	W/m ²	- 2.000	2.000	-	5%			
LTW	1	Luftfeuchte	rel.LF	0	100	0,1	2		Wetterstation an der Pflanzen- Kläranlage	
		Temperatur	°C	-30	70	0,1	0,2			
LDW	1	Luftdruck	mbar	800	1.100	1	0,2%			
WGW	1	Windgeschw.	m/s	0,5	50	0,1	1%			
WRW	1	Windrichtung	°	0	360	0,4	2			
NRM	1	Sonnenstrahl.	nm	305	3.000	-	-			
		Geostrahlung	nm	4.500	40.000	-	-			
NSW	1	Niederschlag	mm	-	-	0,1	2%/3%			
IRK	1	Infrarot	°C	-40	1.200	0,02	1/1%			Über Eingang

Tabelle 2: Messsensorenübersicht

8.2 Grauwasseranlage

8.2.1 Funktionsweise der Wasseraufbereitung

Um die zusätzliche Bewässerung der Gründächer im Botanischen Garten Dresden ökologisch und ökonomisch vorteilhaft zu gestalten, wird das im Verwaltungsgebäude anfallende Grauwasser zur Bewässerung verwendet. Durch das System wird das Grauwasser über eine Pflanzenkläranlage aufbereitet. Das aufbereitete Wasser wird danach gespeichert und entsprechend eines Bewässerungsplans für eine gesteuerte Bewässerung der einzelnen Parzellen genutzt.

Dabei wird die Messung klimatischer, thermischer, bauklimatischer, hydraulischer und stofflicher Parameter angestrebt. Die Daten der Einzelsensoren werden in einem Datennetz mit zentraler Steuerung / Konfiguration der Messgeräte, Datenverwaltung und -visualisierung an einem Stationsrechner zusammengeführt.

Die Aufbereitung des Grauwassers beginnt mit der Ausleitung des Grauwassers ab Gebäudeaußenseite, welches danach in einem Speicher vorbehandelt wird. Mittels eines bepflanzten Bodenfilters wird das Grauwassers dann für die Bewässerung gefiltert und über das elektronisch gesteuerte Verteilsystem des Filters zu den begrünten Parzellen geleitet oder zunächst zwischengespeichert.



Abbildung 10: Pflanzenkläranlage Botanischer Garten Dresden

8.2.2 Aufbau der Anlage

Das aus dem Verwaltungsgebäude ausgeleitete Grauwasser wird mittels eines bepflanzten Bodenfilters aufbereitet und für die gesteuerte Bewässerung der einzelnen Parzellen des Gründachs genutzt. Dabei werden klimatische, thermische, bauklimatische, hydraulische und stoffliche Parameter gemessen und erfasst.

Die Aufbereitung des Grauwassers mit einem bepflanzten Bodenfilter beginnt mit der Ausleitung des Grauwassers ab Gebäudeaußenseite. Danach wird das Grauwasser in einem Vorlagespeicher gespeichert und vorbehandelt.

Der bepflanzte Bodenfilter besteht dabei aus den Komponenten: Verteilsystem, Filtersubstrat, Bepflanzung, Drainagesystem. Auch eine Abdichtung gegen den Untergrund, sowie die Speicherung des aufbereiteten Grauwassers für die Bewässerung erfolgt über das System.

Vorlagespeicher

Der Vorlagespeicher des Systems dient dem Ausgleich von Zulaufschwankungen und zur mechanischen Vorreinigung des Grauwassers. Der etwa drei Kubikmeter umfassende Speicher besitzt dabei einen Mehrkammeraufbau zur Abschneidung von Schwimmstoffen und absetzbaren Stoffen. Eine Gesteuerte Zulaufpumpe (min. 10000 l/h, 4m WS) mit Durchflussmessung, Rücklaufverhinderung, Wasserstandmessung verhindert das Trockenlaufen des Systems.

Bepflanzter Bodenfilter

Der Bodenfilter zur Aufbereitung des Grauwassers ist als Vertikalfilter ausgebildet und nimmt eine Fläche von 12 m² auf. Diese ist in vier gleich große, im Filterbereich voneinander entkoppelte Kompartimente gegliedert. Dabei ist die Verrohrung so auszuführen, dass das Wasser sowohl in den Filter rezirkuliert als auch im Bypass geführt werden kann.

Das Verteilsystem ist in einzelne Kompartimente mit abtrennbaren Verteilsträngen gegliedert. Der Filter besteht dabei aus einer 0.5 m dicken Filterschicht (Körnung 0-2 mm) und einer 0.2 m dicken Dränschicht (Körnung 2-8 m).

Das Drainagesystem dient der Ableitung in einen Ablaufschacht (DN 400) mittels einer gesteuerten Ablaufpumpe (min 2000 l/h, 4 m WS). Damit wird der Durchfluss des Grauwassers gemessen und Rücklauf desselben verhindert.

Ablaufspeicher

Der Ablaufspeicher dient der Speicherung des aufbereiteten Grauwassers und umfasst ein Volumen von bis zu 3 Kubikmeter.

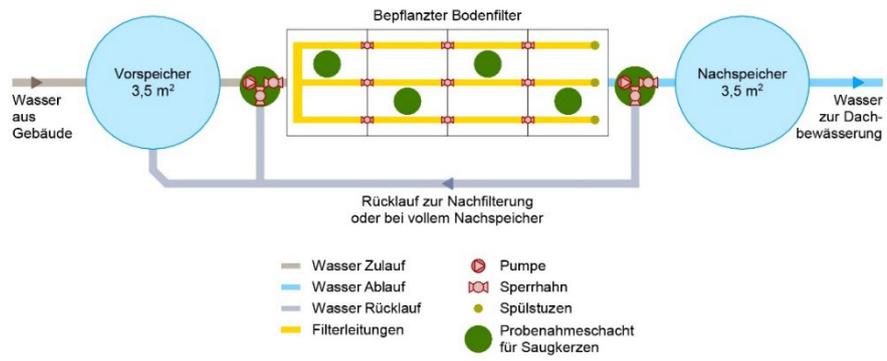


Abbildung 11: Schema Pflanzenkläranlage M 1:50

8.3 Kenndaten und Messergebnisse

Feld		Beson- nung	Bepflanzung	Bewässerung (Intervall Dauer)		Messungen				
FI	.1	3,05 x 1,00 m	Schattig	6x ALT 4x GIL 9x KAU 2x KER 8x PRA ! FI.4: Kies !	alle 2 Tage	15,5 min	CTD, LYS			
	.2				alle 4 Tage		CTD, LYS			
	.3				alle 8 Tage		CTD, LYS			
	.4									CTD
	.5						alle 4 Tage	15,5 min	CTD	
	.6					alle 8 Tage	CTD			
FII	.1	1,88 x 1,88 m	Halbschattig	Kies 6x ALT 4x GIL 10x KAU 2x KER 7x PRA		20,0 min	CTD			
	.2				alle 2 Tage		CTD			
	.3				alle 4 Tage		CTD			
	.4				alle 8 Tage		CTD			
	.5				alle 2 Tage		CTD			
	.6				alle 4 Tage		CTD			
	.7				alle 8 Tage		CTD			
FIII	.1	3,05 x 1,00 m	Sonnig	7x KAU 16x PUR 2x TEL 4x VOR WAC*	alle 2 Tage	15,5 min	CTD			
	.2				alle 4 Tage		CTD			
	.3				alle 8 Tage		CTD			
	.4				alle 2 Tage		CTD			
	.5				alle 4 Tage		CTD			
	.6				alle 8 Tage		CTD			
	.7				alle 4 Tage		CTD			
	.8									CTD

Tabelle 3: Kenndaten und Messergebnisse

Bewässerungsplan														
Tag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
alle 2 Tage														
alle 4 Tage														
alle 8 Tage														

Tabelle 4: Bewässerungsplan

8.4 Erscheinungsbild der bewässerten Messfelder

Feld	Besonnung	Bepflanzung	Bewässerung	Erscheinung
FI 1	Schattig	6x ALT 4x GIL 9x KAU 2x KER 8x PRA	alle 2 Tage	 <p>Abb. 12</p>
FI 2	Schattig	6x ALT 4x GIL 9x KAU 2x KER 8x PRA	alle 4 Tage	 <p>Abb. 13</p>
FI 3	Schattig	6x ALT 4x GIL 9x KAU 2x KER 8x PRA	alle 8 Tage	 <p>Abb. 14</p>

Tabelle 5: Erscheinungsbild Messfelder schattig

Feld	Besonnung	Bepflanzung	Bewässerung	Erscheinung
FII 4	Halbschattig	6x ALT 4x GIL 9x KAU 2x KER 8x PRA	alle 2 Tage	 <p>Abb. 15</p>
FII 3	Halbschattig	6x ALT 4x GIL 10x KAU 2x KER 7x PRA	alle 4 Tage	 <p>Abb. 16</p>
FII 2	Halbschattig	6x ALT 4x GIL 10x KAU 2x KER 7x PRA	alle 8 Tage	 <p>Abb. 17</p>

Tabelle 6: Erscheinungsbild Messfelder halbschattig

Feld	Besonnung	Bepflanzung	Bewässerung	Erscheinung
FIII 3	Sonnig	6x ALT 4x GIL 9x KAU 2x KER 8x PRA	alle 2 Tage	 <p><i>Abb. 18</i></p>
FIII 2	Sonnig	6x ALT 4x GIL 10x KAU 2x KER 7x PRA	alle 4 Tage	 <p><i>Abb. 19</i></p>
FIII 4	Sonnig	7x KAU 16x PUR 2x TEL 4x VOR WAC*	alle 8 Tage	 <p><i>Abb. 20</i></p>

Tabelle 7: Erscheinungsbild Messfelder sonnig

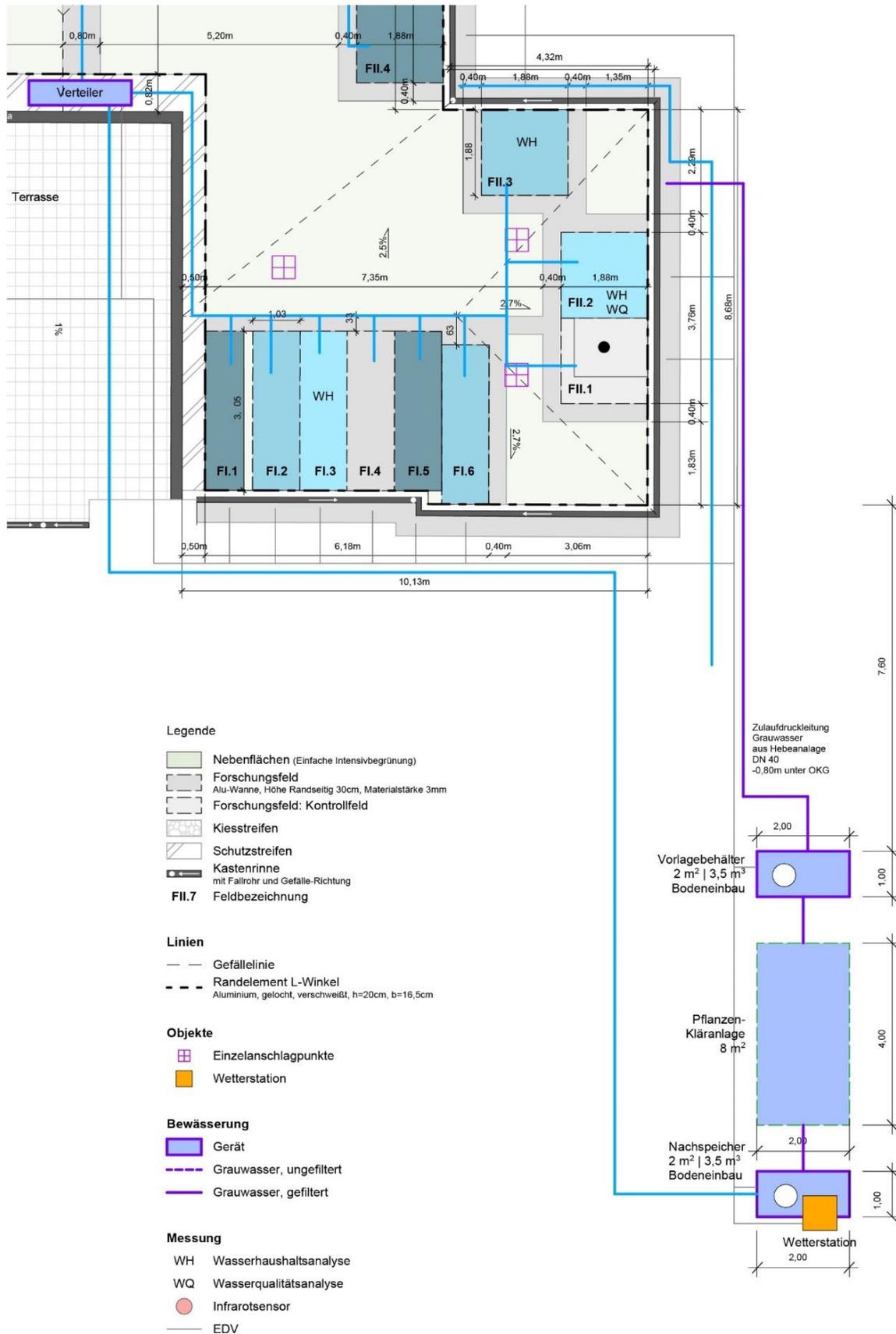


Abbildung 22: Lageplan Messfelder mit Grauwasseranlage

9 Erkenntnisse zur Bewässerung

9.1 Ökologische Verträglichkeit

Da der Klimawandel als ein aktuelles Thema in der Architektur existiert, ist es besonders jetzt wichtig, sich ihm anzupassen. Für diese Maßnahme eignen sich Gründächer bestens, da sie einen Ausgleich zum städtischen Raum darstellen. Sie können Temperaturspitzenwerten entgegenwirken, da Verdunstungspotenziale geschaffen werden. Diese kühlen die Umgebung ab, indem gespeichertes Niederschlagswasser über die Substratoberfläche und die Bepflanzung selbst verdunstet. Besonders in Städten können somit große Temperaturminderungen erzielt werden, dies steht im Gegensatz zu einem Flachdach mit Kiesschüttung.

9.1.1 Einsparpotenzial Trinkwasser

Wird aufbereitetes Grauwasser, wie im Forschungsprojekt Botanischer Garten Dresden, zur Bewässerung eines Gründachs verwendet, können zusätzliche Kosten vermieden werden und Trinkwasser eingespart werden. Die Bepflanzung verträgt diese Art von Wasser sehr gut, weshalb auch in Zukunft automatische Bewässerungsanlagen mit angeschlossener Zisterne konfiguriert werden können. Deren Wasser kann dann als Gießwasser genutzt werden. Verbunden damit ist der weitere nützliche Aspekt der Wassereinsparung. Automatische Bewässerungsanlagen mit angeschlossener Zisterne können so konfiguriert werden, dass nicht unnötig viel Trinkwasser verschwendet wird.

9.1.2 Einfluss auf das Erscheinungsbild der Begrünung

Das Forschungsprojekt Gründach im Botanischen Garten in Dresden zeigt, dass bei häufigen Bewässerungsvorgängen, aller zwei Tage, die Bepflanzung deutlich dichter und grüner erscheint. Je regelmäßiger die Bewässerung stattfindet, desto gesünder, breiter und höher wachsen die Pflanzen. Bekommen die Pflanzen nur alle acht Tage Wasser, wirkt das Gründach ausgedünnt, unregelmäßig bewachsen und je nach Pflanzenart auch vertrocknet. Besonders die Vegetation an vorwiegend sonnigen Standorten erscheint ausgetrockneter als die im Schatten befindlichen.

9.2 Schlussfolgerung

Eine zusätzliche Bewässerung eines Gründachs ist in vielerlei Hinsicht vorteilhaft für das Erscheinungsbild und die Funktionsweise dessen. Die äußere Gestalt und der Zustand der Begrünung hat einen direkten Einfluss auf die Funktion des Gründachs und den damit einhergehenden Effekten, wie dem Kühlungseffekt der Umgebungstemperatur und der Luftverbesserungseffekt durch Pflanzen in Ballungsräumen. Dies kann sich wiederum

positiv auf das städtische Klima auswirken und den immer höher werdenden Temperaturen im Stadtraum entgegenwirken. Dabei ist durch automatische Bewässerungsanlagen mit angeschlossener Zisterne eine Wassereinsparung gegeben, wodurch die Umwelt nicht zusätzlich belastet wird.

10 Literaturverzeichnis

10.1 Literatur

BuGG: Grüne Innovation Dachbegrünung: Wirkungen, Grundlagenwissen, Pflegebeispiele, Berlin, 2020.

IASP (Hg.); Herfort, Susanne; Pflanz, Kerstin: Hinweise zur Pflege und Wartung von extensiven Dachbegrünungen, Berlin, 2021.

Kavermann, Yvonne (Chefredaktion), in: Baunetz Wissen, Baunetz_Wissen_Flachdach: Glossar: Gründach, Berlin.

Kolb, Walter: Dachbegrünung: Planung, Ausführung, Pflege, Stuttgart, 2016.

Kolb, Walter; Schwarz, Tassilo: Dachbegrünung: intensiv und extensiv, Stuttgart (Hohenheim), 1999.

Leistungsbeschreibung zur Öffentlichen Ausschreibung „Messsystem für Dachbegrünungen“, Los 1 Aufbereitungsanlage für Grauwasser, AZ 025007/16.

Leistungsbeschreibung zur Öffentlichen Ausschreibung „Messsystem für Dachbegrünungen“, Los 3 Zentrales Mess- und Bewässerungsmodul, AZ 025007/16.

Prof. Lohaus, Irene, u.a.: Modellprojekt Integrales Wassermanagement: 1. Zwischenbericht, AZ: 35353/01-23, Dresden, 2021.

Sedlbauer, Klaus; Schunck, Eberhard; Barthel, Rainer; Künzel, Hartwig M.: Flachdach Atlas: Werkstoffe, Konstruktionen, Nutzungen, München, 2010, erste Auflage.

Susca, T./Gaffin, S. R./Dell'Osso, G. R. (2011): Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. In: Environmental Pollution 159 (8), S. 2119–2126.
doi:10.1016/j.envpol.2011.03.007.

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Konstruktiver Aufbau Steildach Kolb, Dachbegrünung Planung, Ausführung, Pflege, 27	11
Abb. 2:	Konstruktiver Aufbau Warmdach Kolb, Dachbegrünung Planung, Ausführung, Pflege, 28	13
Abb. 3:	Konstruktiver Aufbau Kaltdach Kolb, Dachbegrünung Planung, Ausführung, Pflege, 30	14
Abb. 4:	Konstruktiver Aufbau Umkehrdach Kolb, Dachbegrünung Planung, Ausführung, Pflege, 31	15
Abb. 5:	Wasserversorgung durch Anstau Kolb, Dachbegrünung Planung, Ausführung, Pflege, 127	21
Abb. 6:	Bewässerungsanlage mit Tropfschläuchen Kolb, Dachbegrünung Planung, Ausführung, Pflege, 35	22
Abb. 7	Verteiler Bewässerung Botanischer Garten Eigene Aufnahme: Magdalena Liesch	26
Abb. 8:	Tropfschläuche Botanischer Garten Eigene Aufnahme: Magdalena Liesch	26
Abb. 9:	Entwässerung Flachdach Botanischer Garten Eigene Aufnahme: Magdalena Liesch	28
Abb. 10:	Pflanzenkläranlage Eigene Aufnahme: Magdalena Liesch	34
Abb. 11:	Grauwasseranlage bearenitet: Hänicke	36
Abb. 12-14:	Messfelder FI 1-3 Eigene Aufnahme: Magdalena Liesch	38
Abb. 15-17:	Messfelder FII 2-4 Eigene Aufnahme: Magdalena Liesch	39
Abb. 18-20:	Messfelder FIII 2-4 Eigene Aufnahme: Magdalena Liesch	40
Abb. 21:	Übersicht Messfelder, bearbeitet: Magdalena Liesch	41
Abb. 22:	Lageplan mit Grauwasseranlage, bearbeitet: Magdalena Liesch	42

10.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der Konstruktionsarten bezüglich der Bewässerung bearbeitet: Clara Kronstein	21
Tabelle 2:	Messsensorenübersicht bearbeitet: Philipp Hänicke	33
Tabelle 3:	Kenndaten und Messergebnisse bearbeitet: Philipp Hänicke	37
Tabelle 4:	Bewässerungsplan bearbeitet: Philipp Hänicke	37
Tabelle 5:	Erscheinungsbild Messfelder schattig bearbeitet: Magdalena Liesch	38
Tabelle 6:	Erscheinungsbild Messfelder halbschattig bearbeitet: Magdalena Liesch	39
Tabelle 7:	Erscheinungsbild Messfelder sonnig bearbeitet: Magdalena Liesch	40

11 Selbstständigkeitserklärung

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

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsinstitution vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht worden.

Dresden, den


.....

Clara Kronstein


.....

Magdalena Liesch