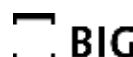




## Ein Maßnahmenkatalog für die Begrünung von Schulen im Altbau

anhand des Beispiels  
Gymnasium und Realgymnasium 7,  
Kandlgasse 39, 1070 Wien

basierend auf den Forschungsergebnissen aus dem Projekt  
**GrünPlusSchule@Ballungszentrum**



# Ein Maßnahmenkatalog für die Begrünung von Schulen im Altbau

anhand des Beispiels  
Gymnasium und Realgymnasium 7,  
Kandlgasse 39, 1070 Wien

basierend auf den Forschungsergebnissen aus dem Projekt

**GrünPlusSchule@Ballungszentrum**

gefördert von FFG,/BMFVT und BIG

Zusammengestellt von:

## Technische Universität Wien

Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Azra Korjenic  
Univ.Ass. Mag.rer.nat. David Tudiwer  
Arch. Dr.techn. Maria Soledad Penaranda Moren  
Dipl.-Ing. Jutta Hollands  
Tarja Salonen  
Michael Mitterböck

mitwirkende Studierende:  
Philipp Ender, Bsc  
Johannes Nolz, Bsc  
Dipl.-Ing. Maria Pamminger  
Melanie Kadlec, Bsc

## Universität für Bodenkultur Wien

Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Ulrike Pitha  
Dipl.-Ing. Irene Zluwa  
Dipl.-Ing. Bernhard Scharf  
Lisa Fichtenbauer

mitwirkende Studierende:  
Dipl.-Ing. Elisabeth Abel  
Constantin Nusser, Bsc  
Dipl.-Ing. Barbara Kopelent  
Fabian Stria, Bsc

## Kräftner Landschaftsarchitektur

Dipl. Ing. Joachim Kräftner  
Dipl. Ing. Karola Gump

## ATB-Becker

Dipl. Ing. Gernot Becker

Gestaltung und Layout: Irene Zluwa

**Wien, 2018**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1	Projektvorstellung GrünPlusSchule@Ballungszentrum	6
<b>2.</b>	<b>Der Planungs- und Bauprozess</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>Die Begrünungssysteme des GRG 7</b>	<b>10</b>
3.1	Begrünungsvarianten im Inneren des Schulgebäudes	11
3.1.1	Begrünungsvariante 1 - Topfpflanzen	12
3.1.2	Begrünungsvariante 2 - wandgebundenes Trogsystem	14
3.1.3	Begrünungsvariante 3 - wandgebundenes Vliessystem mit Zu- und Ablauf	16
3.1.4	Begrünungsvariante 4 - wandgebundenes Vliessystem mit Umlaufpumpe	18
3.2	Begrünungsvarianten im Außenbereich des Schulgebäudes	21
3.2.1	Begrünungsvariante 5 - Pflanzbeete am Boden	22
3.2.2	Begrünungsvariante 6 - Pflanzbeete am Boden mit Klettergerüst	24
3.2.3	Begrünungsvariante 7 - Pflanztröge auf der Mauerkrone mit Kletterhilfe	26
3.2.4	Begrünungsvariante 8 - wandgebundenes Trogsystem	28
3.2.5	Begrünungsvariante 9 - wandgebundenes Kassettensystem	32
3.2.6	Begrünungsvariante 10 - extensives Gründach	34
3.2.7	Begrünungsvariante 11 - Begrünung in Verbindung mit Photovoltaik (PV)	36
3.3	Zusammenfassung ,Vergleich und Übersicht zur Bedienbarkeit der Begrünungselemente und deren Systemkomponenten	38
<b>4.</b>	<b>Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen</b>	<b>41</b>
4.1	Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die U-Werte der Fassade	42
4.2	Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf das hygrothermische Verhalten im Innenraum	44
4.3	Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die CO <sub>2</sub> Belastung im Innenraum	45
4.4	Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die Akustik	46
4.5	Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die Staubbelastung im Innenraum	47
4.6	Kühlleistung der Begrünungssysteme	48
4.7	Wechselwirkungen von Photovoltaik und Begrünung	50
<b>5.</b>	<b>Einbindung in den Unterricht /Wissensvermittlung an die Schülerinnen und Schüler</b>	<b>52</b>
<b>6.</b>	<b>Auszeichnungen</b>	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>57</b>
<b>8.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>59</b>



# 1. Einleitung

Der vorliegende Katalog zeigt die Möglichkeiten zur Begrünung eines Schulgebäudes anhand des Beispiels Gymnasium und Realgymnasium 7. Die Schule, die in einem Gebäudekomplex aus dem Jahr 1910 untergebracht ist, hat einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt, der möglicherweise der Grund ist warum die Affinität fürs „Grün“ besonders groß ist.

Denn bereits vor dem Start von „GrünPlusSchule@Ballungszentrum“, einem durch FFG/BMVIT und BIG geförderten Projektes der Technischen Universität Wien und der Universität für Bodenkultur Wien gemeinsam mit ATB-Becker und Kräftner Landschaftsarchitektur, waren bereits vereinzelt Begrünungen im Innen- und Außenraum vorhanden, die ab 2015 im Zuge des Projektes erweitert und erforscht werden konnten.

Die unterschiedlichen Grünelemente werden beschrieben und die Erkenntnisse aus drei Jahren Forschungstätigkeit bilden die Grundlage für diesen Maßnahmenkatalog. Dieser gibt einen Überblick der Möglichkeiten, und den damit verbundenen Herausforderungen, zur Begrünung von Schulgebäuden, begonnen von der Topfpflanze bis hin zu komplexen Systemen.

**Die detaillierte Beschreibung der Maßnahmen am konkreten Beispiel soll weitere Schulen dazu anregen durch Pflanzen in und an Schulgebäuden die (zukünftigen) Bewohnern und Bewohnerinnen unserer Erde auf die Wichtigkeit des respektvollen Umgangs mit Ressourcen zu sensibilisieren .**



Abb. 1: Dachbegrünung mit vertikaler und horizontaler Photovoltaik und Innenhof mit verschiedenen Arten der Fassadenbegrünung.

## 1.1 Projektvorstellung GrünPlusSchule@Ballungszentrum

An einer Wiener Schule (GRG7) wurden unter Einbindung von Schüler\_innen/Lehrer\_innen, unterschiedliche Gebäudebegrünungssysteme und Pflanzen-/Substratarten, kombiniert mit verschiedenen Photovoltaik-Modulen, untersucht und ihre Einflüsse auf das hygrothermische Verhalten der Gebäude, Energiesparpotentiale, Raumluftqualität, Luftfeuchtigkeit, Beschattung, Lärminderung, Wasserrückhaltung und des Wärmeinseleffekte wissenschaftlich erläutert.

**Projektleitung:** Prof. Dr. Azra KORJENIC, TU Wien | Institut für Hochbau und Technologie

**Projektpartner:** Priv. Doz. Dr. DI Ulrike PITHA, BOKU | Institut f. Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Vegetationstechnik (IBLB)

Dipl. Ing. Joachim Kräftner, Kräftner Landschaftsarchitektur

Ing. DI (FH) Gernot Becker, ATB – Becker e.U.

### Forschungsbereiche:

- Innenraumbegrünung
- Fassadenbegrünung
- Dachbegrünung
- Kombination mit Photovoltaikanlagen
- Ziele: Verbesserung des Mikroklimas
- Reduktion der CO<sub>2</sub> und Staubkonzentration
- Kühlung und Dämmung
- Natürliche Regulierung Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur
- Schallabsorption

### Durchführung

Bereits im Sommer/Herbst 2015 wurde die Schule GRG7 in der Kandlgasse 39, 1070 Wien mit unterschiedlichen Begrünungssystemen sowohl in als auch auf der Gebäudehülle begrünt. Bereits in der Planungsphase fand ein intensiver Austausch zwischen Projektteam, Schule, ausführenden Firmen und Gebäudeeigentümerin (BIG) statt.



Abb. 2: Direktor Waschulin und Projektleiterin Azra Korjenic sowie einige Schülerinnen und Schüler vor einer Wandbegrünung im Klassenzimmer.

## Projektvorstellung GrünPlusSchule@Ballungszentrum

Zahlreiche Messsensoren nahmen in kurzen Zeitabständen die wichtigsten Daten der Räume und der Umgebung auf. Außerdem wurde der Wärmestrom durch die begrünten und nicht begrünten Konstruktionen sowie die hygrothermische Situation im Hinterlüftungsspalt zwischen der bestehen Konstruktion und dem Begrünungssystem gemessen und bewertet. Anhand der Messwerte wurden begrünte mit nicht begrünten Konstruktionen verglichen und die Auswirkung der Begrünung quantitativ beurteilt.

Die gesammelten Informationen gaben Aufschluss darüber ob bzw. inwieweit die theoretischen Annahmen richtig oder falsch waren. Außerdem wurden die Messergebnisse ständig bewertet und anhand dessen die Begrünungen optimiert und Neubewertet.

Alle Begrünungssysteme und Kombinationen wurden ökologisch beurteilt und die Kosteneffizienz berechnet. Aus einer breiten Palette der zur Verfügung stehenden Pflanzenvielfalt, Substratstärke und Aufbau photovoltaischer Module wurde nach einer optimierten leistungsfähigen, kostengünstigen und dauerhaften Lösung gesucht, die beliebig multiplizierbar ist und auch für die Sanierung im Altbestand eingesetzt werden kann.

### Downloadlinks:

Der Endbericht zum Forschungsprojekt kann auf der Website der Fördergeberin heruntergeladen werden:

[www.nachhaltigwirtschaften.at/sdz](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/sdz)

Das Projekt wurde  
gefördert von:  
BMVIT/FFG und BIG

PROJEKTNUMMER:  
850124

Dieser Maßnahmenkatalog in digitaler Form kann unter  
<http://www.grueneschulen.at/category/assozierte-schulen/>  
heruntergeladen werden.



Abb. 3: Die Projektpartner und involvierte Lehrer und Lehrerinnen nach einem Besichtigungsrundgang in der Schule

## 2. Der Planungs- und Bauprozess



Abb. 4: Bau des Gründaches am Turnsaal des GRG 7 - Ausbringung des Substrates mit dem Silozug (Mai, 2016).



Abb. 5: Bepflanzung der Außenfassade mit Gerüst.



Abb. 6: Die Bepflanzung der gut zu erreichenden Trogreihen im Biologiesaal erfolgte von den Schülern und Schülerinnen selbst.

## Der Planungs- und Bauprozess

Im Zuge des Projektes wurden im GRG 7 unterschiedliche Begrünungsformen geplant und gebaut. Durch eine gute Planung können viele Synergien ausgenutzt werden und Fehler bereits im Vorfeld abgewendet werden. Eine Investition in diesen Prozess zahlt sich also aus: Hier einige Punkte auf die man unbedingt im Vorfeld achten sollte:

- **Synergien nutzen:** Die notwendige Dachsanierung des Turnsaaldaches bot eine gute Gelegenheit das neu Abgedichtete und gedämmte Dach als Gründach auszuführen. Absturzsicherung, Gerüst und Baustellenaufzug waren bereits vor Ort und konnten weiterverwendet werden.
- **Recycling:** Ein Teil der abgetragenen Kiesschicht des Bestandsdaches wurde von der Baufirma seitlich gelagert und konnte zur Herstellung des Brandschutzstreifens wiederverwendet werden.
- **Zu- und Abflüsse:** Pflanzen brauchen Wasser! An notwendige Wasseranschlüsse wird im Planungsprozess nicht immer gedacht. Auf Terrassen am besten immer einen Wasseranschluss vorsehen. Wo ein Zufluss ist, ist ein Abfluss selten von Nachteil.
- **Stromversorgung:** Beleuchtung und manche Bewässerungscomputer brauchen eine Stromversorgung.
- **Erreichbarkeit:** Schon bei der Planung an die Pflege und Wartung denken. Können alle Elemente gut erreicht werden?
- **Zufahrten:** Muss mit großen Maschinen gearbeitet werden? Ist eine Möglichkeit der Zufahrt gegeben? Müssen Parkplätze abgesperrt werden?
- **Sicherheit:** Wo notwendig, statische Berechnungen anstellen, wieviel trägt das Dach/die Wand, Wind und Schneelasten mitbeachten. Besonders im Schulbereich auf mögliche Gefahrenstellen (scharfe Kanten etc. achten)
- **Genehmigungen rechtzeitig einholen:** Welche Bauteile sind Anzeige- / Genehmigungspflichtig?

*Notwendige Sanierungsmaßnahmen als Initiator für Begrünungen nutzen!*

*Wiederverwendung von Materialien*

*An Wasser Zu- und Abflüsse und Stromversorgung denken!*

*Sicher ist Sicher*

### 3. Die Begrünungssysteme des GRG 7

Das GRG 7 eignet sich bestens für eine anschauliche Darstellung unterschiedlicher Begrünungsvarianten. Verschiedene Größen und Arten von Topfpflanzen banden sich schon vor Projektbeginn überall im Gebäude (v.a. Chemiesaal, Gang, BE-Saal, Konferenzraum, Biologiesaal) verteilt.

Im Eingangsbereich der Schule wurde ein Vliessystem (bestehend aus zwei Teilflächen installiert. Im Innenhof der Schule waren bereits Pflanzbeete mit Stauden und Gehölzen vorhanden, wie auch ein Beet mit Kletterpflanzen die sich an einem Holzgerüst an der Turnsaalwand emporranken. Neu hinzugekommen sind Tröge auf der Mauerkrone zum angrenzenden Gebäude, mit Stauden und Kletterpflanzen.

Weiters wurden an der Außenfassade (auf Höhe des 1. und 2. OG) zwei fassadengebundene Begrünungssysteme installiert. Im 2. Stock wurde im Biologiesaal eine wandgebundene Innenraumbegrünung aus Aluminiumträgern angebracht. Über den Physiksaal erreicht man die Dachbegrünung mit Photovoltaikanlage und eine weitere Fassadenbegrünung die mit Photovoltaik kombiniert wurde. Im 3. Obergeschoss befindet sich ein Klassenraum der mit einem Vliessystem ausgestattet wurde, sowie die zu Vergleichszwecken herangezogene Referenzklasse.

**Die Begrünungsvariationen werden auf den folgenden Seiten beschrieben, und ihre Besonderheiten und Eigenschaften aufgezeigt.**

**Die Beschreibung der konkreten Objekte am konkreten Standort und die Auflistung der tatsächlich vor Ort festgestellten Herausforderungen und Beobachtungen sollen einen angewandten Einblick in die Integration verschiedener Begrünungen in den Schulalltag geben.**

**Eine abschließende Zusammenfassung erleichtert am Ende des Kapitels die Entscheidung welche Art von System für welche Ansprüche geeignet ist.**

### 3.1 Begrünungsvarianten im Inneren des Schulgebäudes



Abb. 7: Wandbegrünung im Klassenzimmer (Juli, 2016).

Im Innenraum des GRG7 befinden sich 4 unterschiedliche Begrünungsvarianten:

- Topfpflanzen verschiedener Größen
- ein wandgebundenes Aluminiumtrogsystem mit unterschiedlichen Substratvarianten
- ein Vliessystem mit Zu- und Ablauf
- ein Vliessystem mit Zulauf und Umlaufpumpe

### 3.1.1 Begrünungsvariante 1 - Topfpflanzen

#### Artenliste

*Ananas sp.* - Ananas  
*Cacas sp.* - Palmfarn  
(*Chamaedorea elegans* - Bergpalme)\*  
*Chlorophytum comosum* - Grönlilie  
*Clivia sp.* - Klivie  
*Dieffenbachia* - Dieffenbachie  
*Dracaena sp.* - Drachenbaum  
*Epipremnum pinnatum* - Efeutute  
(*Ficus benjamina* - Birkenfeige)\*  
*Ficus elastica* - Gummibaum  
*Ficus lyrata* - Geigenfeige  
*Hoya sp.* - Wachsblume  
*Monstera deliciosa* - Fensterblatt  
*Sansevieria sp.* - Bogenhanf  
*Spatiphyllum sp.* - Einblatt

\*(in Klammer gesetzte Arten sind zwar vorhanden, allerdings pflegeaufwändiger.)

#### Steckbrief

Begrünungsform: substratgefüllte Blumentöpfe

Substrat: Erde bzw. Blähtongranulat

Bewässerung: Händisch mit Gießkanne

Düngung: bei Bedarf

Beleuchtung: keine

Zugänglichkeit: Aufstellung z.t. am Boden, z.t. auf Kästen und nur mit Leiter erreichbar.

Besonderheiten: große Bandbreite an Pflanzen- und Topfgrößen.



Abb. 8: Topfpflanzen am Gang.



Abb. 9: *Ficus sp.* im Chemiesaal.

## Begrünungsvariante 1 - Topfpflanzen

### Beschreibung:

Die Innenräume der Schule sind vielfältig mit unterschiedlichen Topfpflanzen bestückt. Diese werden vorwiegend von den Schulwarten gegossen und gepflegt. Es findet sich ein breites Spektrum an gängigen Zimmerpflanzen, von denen (mit Ausnahme von *Ficus benjamini* und *Chamaedorea elegans*) alle aufgrund ihrer Robustheit bestens für die Verwendung in Schulgebäuden geeignet sind.

Durch die Aufstellung der Pflanzen in Fensternähe ist eine künstliche Beleuchtung nicht notwendig.

Bei der Aufstellung der Pflanzen wurde darauf geachtet, dass sie sich nicht in Fluchtwegen befinden. Große Pflanzen gesichert damit sie nicht umfallen können.

Trotz der großen Menge an Pflanzen (über 100 Pflanzgefäße) werden die Pflanzen von den Schulwarten gegossen und 1x im Jahr gedüngt.

**Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:** Alle Pflanzen befinden sich in guten Zustand, so dass sie teilweise schon zu üppig für ihre Gefäße sind und umgetopft werden müssten.

Die Pflanzen werden durch das große Engagement den Schulwartinnen gut in Schuss gehalten.

*Die Hemmschwelle einen Blumentopf zu gießen ist gering - es sind keine besonderen Kenntnisse notwendig.*

*Durch das Ausnützen von natürlichem Licht kann auf künstliche Beleuchtung verzichtet werden.*

*Wenn Erde als Substrat verwendet wird, ist die Überprüfung der Feuchtigkeit mittels Fingerprobe einfacher als in technischen Substraten.*

*Alles ist einfacher, wenn die Schulwarte Pflanzen mögen....*



Abb. 10: Topfpflanzen am Stiegenhausfenster.



Abb. 11: Die Schulwartin beim Gießen der Begrünung im Biologiesaalgang.

### 3.1.2 Begrünungsvariante 2 - wandgebundenes Trogsystem

#### Artenliste

*Asplenium antiquum* - Schmalblättriger Nestfarn  
*Asplenium nidus* - Nestfarn  
*Bryophyllum sp.* - Brutblatt  
*Chlorophytum comosum* - Grönlilie  
*Codiaeum variegatum* - Wunderstrauch  
*Cordyline fruticosa* - Keulenlilie  
*Davallia mariesii* - Katzenpfotenfarn  
*Dieffenbachia sp.* - Dieffenbachie  
*Dracaena deremensis* - Drachenbaum  
*Dracaena fragrans* - duftender Drachenbaum  
*Dracaena marginata* - Schmalblättriger Drachenbaum  
*Epipremnum pinnatum* - Efeutute  
*Fittonia albivensis* - Mosaikpflanze  
*Hedera canariensis* - Kanarischer Efeu  
*Kalanchoe beharensis* - Elefantenoher  
*Peperomia caperata* - Peperomie  
*Platynerium bifurcatum* - Geweihfarn  
*Sansevieria cylindrica* - Bogenhanf  
*Sansevieria manolin* - Bogenhanf  
*Sansevieria trifasciata* - Bogenhanf  
*Scindapsus pictus* - silbrig gefleckte Efeutute  
*Tradescantia pallida* - Rotblatt  
(*Tradescantia zebrina*) - Zebra-pflanze  
*Zamioculcas zamiifolia* - Glücksfeder

\*(in Klammer gesetzte Arten sind zwar vorhanden, allerdings für dieses System tendenziell nicht geeignet, ~~durchgestrichene Arten~~ haben sich als ungeeignet erwiesen)

#### Steckbrief

**Begrünungsform:** wandgebundene substratgefüllte Aluminiumtröge

**Substrat:** Zeolith, Blähtongranulat, Blähton, Ziegelsplitt

**Bewässerung:** mit einem Bewässerungscomputer automatisch über eine Tröpfchenbewässerung (3x/Woche 3 min). Wasser Zu- und Ablauf vorhanden.

**Beleuchtung:** mittels Zeitschaltuhr geregelte LED-Scheinwerfer

**Düngung:** entweder Flüssigdünger mit der Gießkanne (monatlich) oder Langzeitdünger in Granulatform

**Zugänglichkeit:** Untere Reihen ohne Hilfsmittel erreichbar, zur Pflege in den oberen Reihen Leiter erforderlich, Bewässerungssteuerung bodennah

**Besonderheiten:** Außer der Höhe keine wesentlichen Unterschiede zum Umgang mit Topfpflanzen. Mit zunehmender Höhe steigen die Schwierigkeiten.



Abb. 12: Aluminiumtrögsystem im Biologiesaal.

## Begrünnungsvariante 2 - wandgebundenes Trogsystem

### Beschreibung:

Diese Systemvariante besteht aus in Reihen übereinander montierten Aluminiumtrögen. Im Biologiesaal besteht die Begrünnung aus neun Trogreihen mit je 2,21m. Die Wannen haben an der Vorderseite alle 50 cm eine kleine Ausnehmung, durch die das überschüssige Wasser in die darunterliegenden Tröge abfließen kann. Die Gesamtfläche der Begrünnung beträgt 17,92 m<sup>2</sup>. Die Tröge sind mit einem Vlies ausgelegt, das der Belüftung und Wasserverteilung dient und mit Substrat befüllt. Es kamen unterschiedliche Substratvarianten (Ziegelsplitt, Blähton, Blähtongranulat und Dachbegrünnungssubstrat) zur Anwendung. Das Fassungsvermögen der Tröge beträgt 132 cm<sup>3</sup> pro Laufmeter.

*Substratvarianten auf Blähton und Zeolithbasis sind für dieses System speziell geeignet.*

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Um- und Neupflanzungen sind in diesem System eher unkompliziert möglich. Pflege und Düngung sind leicht (auch von Laien) durchführbar. Trotz der automatischen Bewässerung waren vor allem zu Beginn Nachjustierungen der Bewässerungszeiten notwendig. Das System ist oben trockener als unten. Dies kann man durch gezielte Pflanzenverwendung ausgleichen.

*Auch eine Automatische Bewässerung muss gelegentlich nachjustiert werden.*

*Mit Zunehmender Höhe beginnen die Herausforderungen*

Im Unterrichtsbetrieb wurde sehr bald der Wunsch eines Schalters zum Deaktivieren der Beleuchtung geäußert, da die starken LED-Scheinwerfer stören, wenn der Raum abgedunkelt werden soll um den Beamer zu betreiben.

*Das Deaktivieren künstlicher Beleuchtungselemente während der Unterrichtszeit muss möglich sein.*

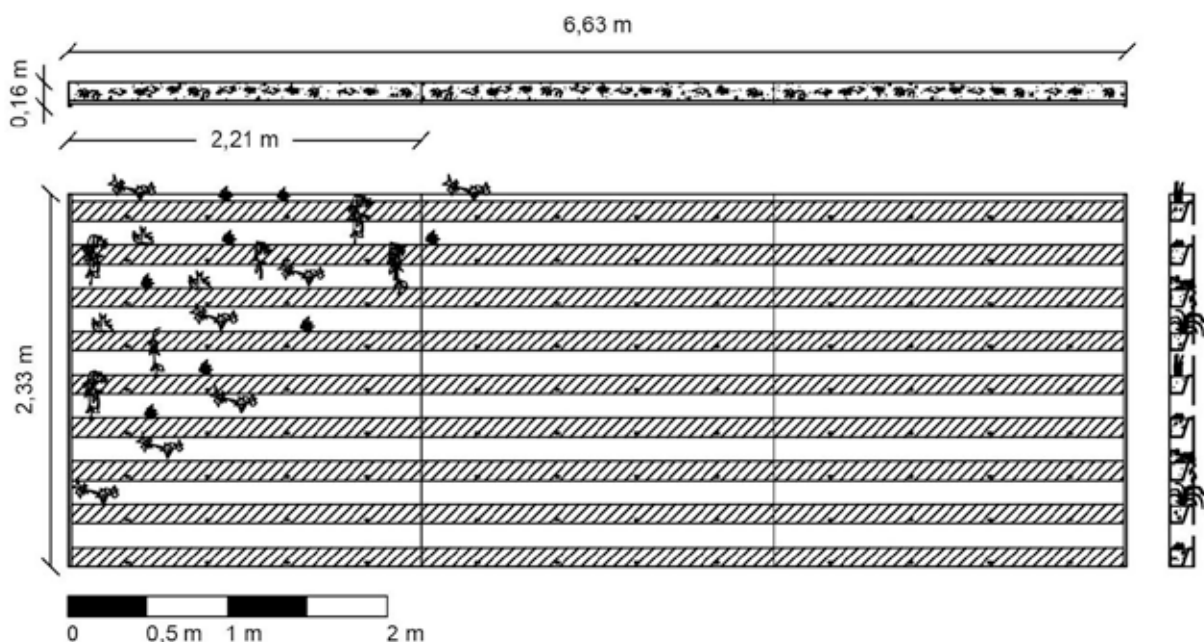


Abb. 13: Schematische Skizze des Aluminiumtrogsystems im Biologiesaal.

### 3.1.3 Begrünungsvariante 3 - wandgebundenes Vliessystem mit Zu- und Ablauf

#### Artenliste

*Anthurium crystallinum* - Kristall-Schweifblume !  
*Asplenium antiquum* - Schmalblättriger Nestfarn  
*Asplenium nidus* - Nestfarn  
(*Calathea lancifolia* - Korbmarante)  
*Chamaedorea elegans* - Bergpalme  
*Chlorophytum comosum* - Grünstilbe  
(*Ctenanthe burle-marxii*, *Amagris* - Korbmarante)  
*Dracaena deremensis* - Drachenbaum !  
*Dracaena fragrans* - Duftender Drachenbaum!  
*Epipremnum aureum* - Efeutute  
*Ludisia discolor* - Blutstängel!  
*Peperomia clusiifolia* - Zwergpfeffer !  
*Peperomia obtusifolia* - Magnolienblättriger Zwergpfeffer !  
*Philodendron brasil* - Philodendron  
*Philodendron scandens* - Philodendron  
*Schefflera arboricola* - Strahlenaralie  
*Scindapsus pictus* - Silbergefleckte Efeutute  
*Spathiphyllum wallisii* - Einblatt  
*Syngonium podophyllum* - Purpurtute  
*Tradescantia spathacea* - Keulenlilie !

\*(in Klammer gesetzte Arten) sind zwar vorhanden, allerdings für dieses System tendenziell nicht geeignet, durchgestrichene Arten haben sich als ungeeignet erwiesen, ! Arten mit Rufzeichen ! sind sehr geeignet in diesem System

#### Steckbrief

Begrünungsform: Vliestaschensystem

Vegetationsträger: Geotextil (Vlies)

Bewässerung: Automatisch mit Zeitschaltuhr geregelt. Zu- und Ablauf vorhanden, Bewässerung mehrmals täglich.

Beleuchtung: mittels Zeitschaltuhr geregelte LED-Leiste (7:00-19:00).

Düngung: mittels Blattdüngemittel, später automatisch mit Flüssigdünger.

Zugänglichkeit: Ohne Hilfsmittel erreichbar.

Besonderheiten: Sehr geringer Platzbedarf, dadurch aber auch wenig Wurzelraum und daher wenig Resilienz bei Störungen.



Abb. 14: Vliessystem im Klassenraum.

## Begrünungsvariante 3 - wandgebundenes Vliessystem mit Zu- und Ablauf

### Beschreibung:

Im 3. Stock des Schulgebäudes befindet sich in einem Klassenraum ein weiteres Vliessystem mit einer Größe von 5,60 m<sup>2</sup>. In dieser Variante werden die Pflanzen wurzelnackt eingebracht, als Vegetationsträger dienen mehrere Lagen Geotextil.

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Da in dieser Systemvariante keine Umlaufpumpe zum Einsatz kam, und jeden Tag mehrmals Bewässert werden muss, ist der Wasserverbrauch sehr hoch. Eine reine Düngung auf Blattdüngemittelbasis ist für eine gesunde Pflanzenentwicklung über mehrere Jahre nicht ausreichend. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde das System zu Projektende nachgerüstet.

Neupflanzungen in diesem System gestalten sich als schwieriger, weil die Vliestaschen erst geöffnet werden müssen, dann die Pflanzen wurzelnackt eingebracht werden und dann wieder zugetackert werden müssen.

Mechanische Zeitschaltuhren sind zwar leichter zu bedienen, bleiben aber bei Stromausfall stehen und werden schneller kaputt. Die ursprünglich vorhandenen mechanischen Zeitschaltuhren wurden nach Problemen und Ausfällen im Klassenraum ersetzt.

In den Ferien hat das Klassenzimmer als Schlafraum für ein Basketballteam gedient. Hier wurden das Pumpengeräusch oder die Beleuchtung als störend empfunden und der Stecker zur Technikbox gezogen. Das System war dadurch mehrere Tage unterversorgt und konnte durch einen aufmerksamen Lehrer gerade noch gerettet werden. Der dünne Vegetationsträger kann wenig Wasser speichern, dadurch ist das System sehr anfällig gegen Störungen.

*Wenn kein Wassertank mit Umlaufpumpe vorhanden ist, muss in Vliessystemen ein Düngemittelbeimischgerät eingebaut werden und der Wasserverbrauch ist sehr hoch.*

*Regelmäßige Kontrolle ist auch bei automatisierten Systemen notwendig.*

*Das Vliessystem hat wenig Speicherkapazität und ist dadurch auch kaum resilient.*

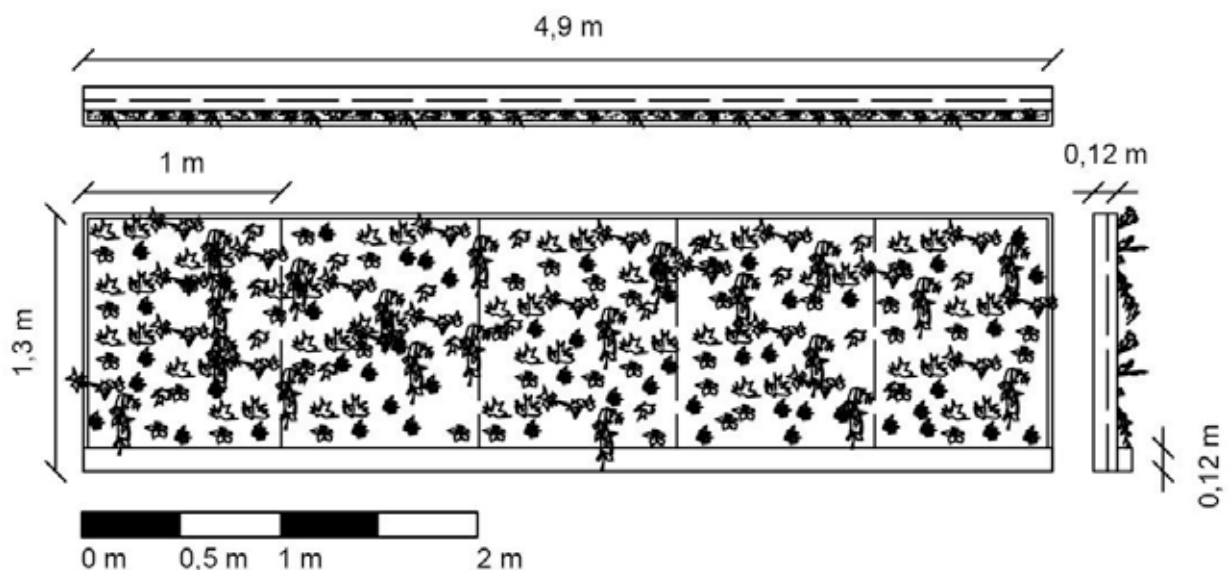


Abb. 15: Schematische Skizze des Vliessystems im Klassenraum.

### 3.1.4 Begrünungsvariante 4 - wandgebundenes Vliessystem mit Umlaufpumpe

#### Artenliste

*Asplenium antiquum* - Schmalblättriger Nestfarn  
*Asplenium nidus* - Nestfarn  
(*Monstera deliciosa* 'Borsigiana' - Fensterblatt)  
*Peperomia clusiifolia* - Zwergpfeffer !  
*Philodendron brasil* - Philodendron  
*Philodendron scandens* - Philodendron  
*Tradescantia spathacea* - Dreimasterblume

\*(in Klammer gesetzte Arten) sind zwar vorhanden, allerdings tendenziell nicht geeignet,  
durchgestrichene Arten haben sich als ungeeignet erwiesen,  
! Arten mit Rufzeichen ! sind sehr geeignet in diesem System

#### Steckbrief

Begrünungsform: Vliestaschensystem

Vegetationsträger: Geotextil (Vlies)

Bewässerung: Automatisch mit Zeitschaltuhr geregelt. Zufluss befüllt die Wassertanks. Bewässerung(mehrmals täglich) durch Tropfschläuche mittels Umlaufpumpe. Steuerung über Zeitschaltuhren.

Düngung: Über dem Wassertank beigefügtem Düngemittel im Sommerhalbjahr

Beleuchtung: 4 LED-Strahler (6:00-20:00)

Zugänglichkeit: Steuerung ohne Hilfsmittel erreichbar. Pflege der Begrünung nur mit sehr hoher Leiter möglich.

Besonderheiten: Sehr geringer Platzbedarf, dadurch aber auch wenig Wurzelraum und daher wenig Resilienz bei Störungen. Durch den Wassertank und die Umlaufpumpe weniger Wasserverbrauch, aber ein weiteres wartungsintensives Bauteil.



Abb. 16: Vliessystem mit Wassertank und Umlaufpumpe im Eingangsbereich.

## Begrünungsvariante 4 - wandgebundenes Vliessystem mit Umlaufpumpe

### Beschreibung:

Im Eingangsbereich befindet sich ein wandgebundenes Begrünungssystem aus Vlies mit zwei Teilen, welche jeweils 2,90 m hoch und 1,47 m breit sind (Gesamtfläche 7,46 m<sup>2</sup>). Die Unterkante des Systems beginnt bei 1,50 m. Die Höhe des Wassertanks beträgt 24,50 cm. Die Fläche einer Begrünungsfläche beträgt ohne den Metallrahmen 3,73 m<sup>2</sup> (Gesamtfläche: 6,7 m<sup>2</sup>).

Der Wasserzufluss und die Steuereinheit befinden sich in der Portierloge, von hier werden die den Teilflächen zugeordneten Wassertanks (Füllvolumen: ca. 38 l) befüllt. Die Wassertanks speisen die Begrünungsfläche mittels Umlaufpumpe und Tropfschlauch.

Beleuchtet werden die Begrünungselemente mit 4 LED-Strahlern von 6:00 bis 20:00 die zur Steuerung verwendete Zeitschaltuhr befindet sich ebenfalls in der Portierloge.

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Durch die Gesamthöhe von über 5 Metern ist eine Pflege des Systems durch das Schulpersonal kaum mehr möglich. Auch die Überprüfung der oben angeordneten Tröpfchenschläuche ist kaum durchführbar.

Durch die Umlaufpumpe ist der Wasserverbrauch niedrig, der Wartungsaufwand steigt allerdings! Der Tank muss mehrmals im Jahr ausgetauscht und gereinigt werden. Ein Düngemittel muss regelmäßig dosiert und dem Wasser in den Tanks beigefügt werden. Durch die vielen zusätzlichen Bauteile steigt auch die Anzahl von Teilen die kaputt gehen können.

*Maximalhöhen beachten: Für regelmäßige Pflege- und Wartungsarbeiten sollte eine Haushaltsleiter reichen, sonst wird der Aufwand sehr hoch.*

*Ein Wassertank mit Umlaufpumpe senkt den Wasserverbrauch steigert aber den Wartungsaufwand.*

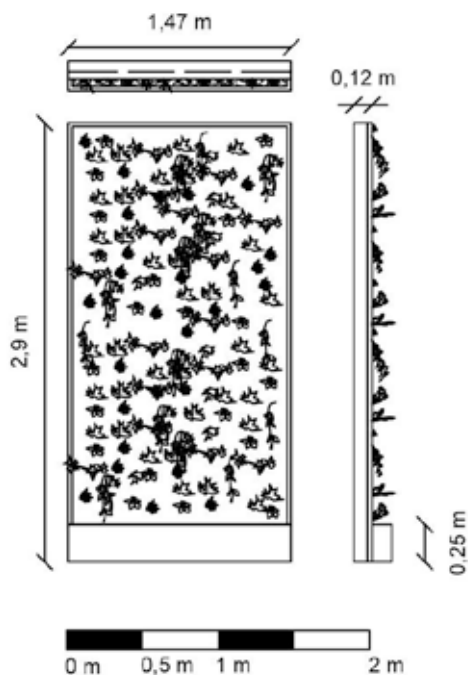


Abb. 17: Schematische Skizze eines Elementes des Vliessystems mit Wassertank und Umlaufpumpe.



Abb. 18: Reinigung des Wassertanks.



Abb. 19: Schüler und Schülerinnen vor der Grünen Wand im Biologiesaal ...



Abb. 20: ... und vor der Wand im Klassenzimmer.

### 3.2 Begrünungsvarianten im Außenbereich des Schulgebäudes



Abb. 21: unterschiedliche Fassadenbegrünungssysteme im Innenhof.

Im Außenraum des GRG 7 befinden sich 8 unterschiedliche Begrünungsvarianten:

- Pflanzbeete am Boden
- Pflanzbeete am Boden mit Kletterhilfe
- Pflanztröge auf der Mauerkrone mit Kletterhilfe
- wandgebundenes Trogsystem
- wandgebundenes Kassettensystem
- wandgebundenes Kassettensystem mit Photovoltaik-Modulen
- Gründach
- Gründach mit Photovoltaik-Modulen

### 3.2.1 Begrünungsvariante 5 - Pflanzbeete am Boden

#### Artenliste

*Amelanchier sp.* - Felsenbirne  
*Buddleja davidii* - Schmetterlingsstrauch  
*Cornus alba* - Weißer Hartriegel  
*Fragaria sp.* - Erdbeere  
*Geranium macrorrhizum*  
- Balkan-Storchschnabel  
*Hamamelis sp.* - Zaubernuss  
*Hemerocallis sp.* - Taglilie  
*Melissa officinalis* - Zitronenmelisse  
*Morus alba* - Maulbeerbaum  
*Ocimum basilicum* - Basilikum  
*Prunus laurocerasus* - Lorbeerkirsche  
*Pyracantha coccinea* - Feuerdorn  
*Ribes rubrum* - Ribisel  
*Rubus fruticosus* - Brombeere  
*Rubus idaeus* - Himbeere  
*Salix alba* - Weide  
*Salvia officinalis* - Salbei  
*Satureia montana* - Bohnenkraut  
*Thymus sp.* - Thymian

#### Steckbrief

Begrünungsform: Beete mit Holzeinfassung

Substratart: Pflanzerde

Bewässerung: Händisch mit Gartenschlauch

Düngung: bei Bedarf mit Kompost oder Depotdünger

Zugänglichkeit: Bodennah

Besonderheiten: Ränder als Sitzbänke ausgestaltet, Ballfangnetz als Abgrenzung zur Sportfläche



Abb. 22: Pflanzbeete im Innenhof aus der Luftperspektive.

## Begrünungsvariante 5 - Pflanzbeete am Boden

### Beschreibung:

Die Pflanzbeete im Innenhof wurden durch das Engagement einer mittlerweile pensionierten Lehrerin angelegt, das genaue Datum ihrer Entstehung kann nicht ermittelt werden. Die Beete sind aus alten Bahnschwellen gefertigt, und mit einer Mischung aus Gehölzen und mehrjährigen Stauden bepflanzt, in einer Beetfläche befindet sich ein kleiner Gartenteich, in einer anderen ein Weidenversteck. Die gärtnerische Planung und Umgestaltung der Pflanzbeete im Innenhof erfolgte während eines mehrtägigen Praxis-Workshops gemeinsam mit Schülerinnen und Schülern im Rahmen des FFG Talente regional Projektes „Mikroschulklima“ durch die fachliche Begleitung von Dipl.-Ing. Ralf Dopheide e.U. gemeinsam mit dem Büro für nachhaltige Kompetenz B-NK GmbH und dem Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der BOKU. Die Ränder der Beete in der Mitte des Hofes sind als Sitzbänke ausgestaltet. Der Vorteil dieser Art der Bepflanzung ergibt sich aus der guten Erreich- und somit Manipulierbarkeit. Es ist keine automatische Bewässerung vorgesehen, die Beete werden bei Bedarf mit dem Gartenschlauch gegossen. Rückschnitt und Pflege der Beete werden von den Schulwarten durchgeführt. Die nebenliegende Sportfläche ist durch ein Ballfangnetz abgegrenzt.

*Vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten*

*Natürlicher Niederschlag kann aufgenommen werden.*

*Entwässerung von Dachflächen in die Beete möglich.*

*Trotzdem zusätzliche Bewässerung während Hitzetagen oder langen Trockenperioden notwendig.*

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Kinder, Lehrer, Lehrerinnen und sonstiges Schulpersonal nutzen die Fläche als Pausenort und teilweise für den Unterricht.

*Vielfältige Nutzbarkeit durch gute Zugänglichkeit.*



Abb. 23: Pflanzbeete im Innenhof mit integrierter Sitzbank und Ballfangnetz.

### 3.2.2 Begrünungsvariante 6 - Pflanzbeete am Boden mit Klettergerüst

#### Artenliste

*Campsis radicans* - Trompetenwinde  
*Carex grayi* - Morgenstern Segge  
*Cotoneaster sp* - Zwergmispel  
*Forsythia x intermedia* - Forsythie  
*Kolkwitzia amabilis* - Kolkwitzie  
*Lonicera henryi* - Immergrünes Geißblatt  
*Parthenocissus quinquefolia* - Wilder Wein

#### Steckbrief

Begrünungsform: Tröge aus Holz mit Klettergerüst

Substratart: Pflanzeerde

Bewässerung: Tröpfenschlauch, manuell im Bedarfsfall aufgedreht

Düngung: bei Bedarf mit Kompost oder Depotdünger

Zugänglichkeit: Bodennah

Besonderheiten: Ränder als Sitzbänke ausgestaltet, Ballfangnetz als Abgrenzung zur Sportfläche

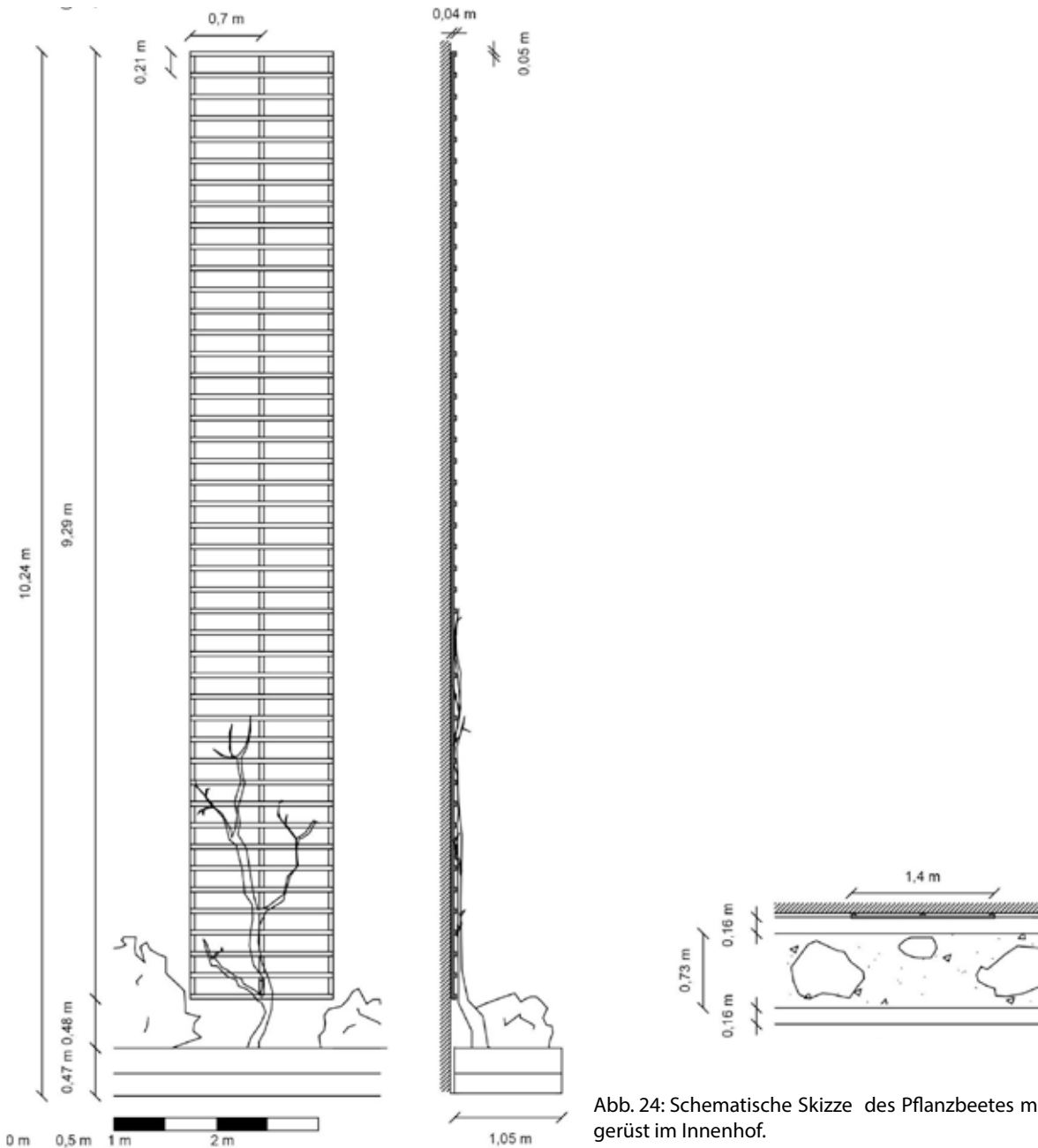


Abb. 24: Schematische Skizze des Pflanzbeetes mit Klettergerüst im Innenhof.

## Begrünungsvariante 6 - Pflanzbeete am Boden mit Klettergerüst

### Beschreibung:

Das Rankgerüst an der südseitigen Turnsaalwand bestand schon vor dem Projekt. Die Kletterpflanzen (Wilder Wein und Trompetenwinde) und Sträucher (Forsythie, Zwergmispel und Kolkwitzie) sind in ein Hochbeet aus Bahnschwellen gepflanzt. Als Substrat dient Blumenerde. Sieben Rankgerüste aus Holz mit 7,8 m Höhe und 1,4 m Breite sind zwischen den Turnsaalfenstern an der Wand befestigt. Der Abstand der Rankhilfe zur Mauer beträgt 4 cm.

Trotz der Schlichtheit in der Bepflanzung bietet sich über das ganze Jahr ein abwechslungsreiches Bild: Im Sommer blitzen die orangen Blüten der Trompetenwinde durch den dichten Wilden Wein, dessen Blätter im Herbst eine ansprechende Rotfärbung erhalten. Im Winter sieht man das Holzgerüst. Daher wurden im Zuge des Projektes für den Winteraspekt noch zusätzliche Exemplare von immergrünem Geißblatt eingebracht.

Im Beet ist ein Tropfschlauch verlegt, der von den Schulwarten im Bedarfsfall aufgedreht wird.

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Geringer Wartungsaufwand (Entfernen der Triebe bei den Fensterflächen und am angrenzenden Gebäude) etwa alle zwei Jahre.

*Regenwasser kann in die Beete geleitet werden.*

*Zusatzbewässerung im Bedarfsfall notwendig.*

*Wer manuell bewässert muss Trockenerscheinungen erkennen können.*

*geringer Pflege und Wartungsaufwand*



Abb. 25: Pflanzbeete mit Klettergerüst im Innenhof (Herbstaspekt).

### 3.2.3 Begrünungsvariante 7 - Pflanztröge auf der Mauerkrone mit Kletterhilfe

#### Artenliste

*Aster divaricatus* - Wald Aster !  
*Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Förster' -  
 Garten-Reitgras !  
*Calamintha nepeta* - Bergminze  
*Clematis integrifolia* var. *integrifolia* - Krautige  
 Waldrebe !  
*Clematis recta* 'Purpurea' - Aufrechte Wal-  
 drebe !  
*Clematis* sp. - Kletternde Waldrebe  
*Hemerocallis middendorffii* - Taglie  
*Humulus lupulus* - Hopfen  
*Ipomoea* 'Blauer Himmel' - Trichterwinde!  
*Lonicera caprifolium*  
~~*Lonicera henryi*~~  
*Lysimachia nummularia* - Pfennigkraut  
*Macleaya cordata* - Federmohn  
 (*Matteucia struthiopteris* - Becherfarn)  
 (*Miscanthus sinensis* - Chinaschilf)  
*Phaseolus vulgaris* - Stangenbohne  
~~*Polygonum aubertii*~~ - Schlingknöterich  
*Sedum telephium* - Hohes Sedum !  
*Tropaeolum* sp. - Kapuzinerkresse  
*Veronicastrum virginicum* - Kandelabereh-  
 renpreis !

\*(in Klammer gesetzte Arten) sind zwar  
 vorhanden, allerdings für dieses System  
 tendenziell nicht geeignet,  
~~durchgestrichene Arten~~ haben sich als  
 ungeeignet erwiesen,  
 ! Arten mit Rufzeichen ! sind sehr geeignet  
 in diesem System

#### Steckbrief

Begrünungsform: Pflanztröge mit Zaun als Rankgitter

Vegetationsträger: Pflanzerde

Bewässerung: Automatisch mit Bewässerungscomputer geregelt.

Düngung: Depotdünger

Zugänglichkeit: Steuerung ohne Hilfsmittel erreich-  
 bar. Pflege der Begrünung nur mit hoher Leiter möglich.

Besonderheiten: Kreative Lösung um ungenutzten Raum zu  
 begrünen.



Abb. 26: Pflanztröge auf der Mauerkrone mit Zaun als Klettergerüst.

## Begrünungsvariante 7 - Pflanztröge auf der Mauerkrone mit Kletterhilfe

### Beschreibung:

An der Mauer zum Nachbargebäude wurden Pflanztröge mit Kletterpflanzen auf die Mauerkrone gestellt. Zur Sicherung wurde der bestehende Metallzaun, der nun als Kletterhilfe dient am Nachbarhaus verankert.

Unter den Pflanztrögen befinden sich Abtropfassen und eine Regenrinne die Überschusswasser in die am Boden stehenden Pflanzbeete ableitet. Die Tröge werden automatisch mittels Bewässerungscomputer mit einer Tröpfchenbewässerung gegossen.

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Nach dem ersten Projektjahr wurde beobachtet, dass die Geißblatt-Arten und der Schlingknöterich hinter die Platten der Nachbarfassade gewachsen sind, worauf diese Pflanzen aus den Trögen entfernt und durch einjährige Kletterpflanzen (wie Trichterwinde und Feuerbohne) ersetzt wurden. Diese können die Platten der Fassade nicht beschädigen, müssen aber jedes Jahr neu angesät werden.

*Ungenutzte Flächen zur Begrünung heranziehen.*

*Überschusswasser in andere Pflanzflächen leiten.*

*Größerer Pflege und Wartungsaufwand aufgrund schlechter Zugänglichkeit.*

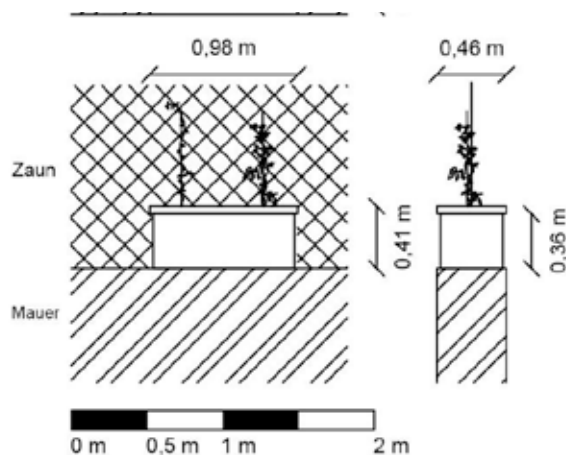


Abb. 27: Schematische Skizze eines Pflanztröges.



*Vorsicht beim Fassadenplatten, die Pflanzen dürfen nicht hinter die Platten wachsen.*

*Am besten einjährige Arten verwenden*

Vorsicht bei Fassaden mit Fassadenplatten und Kletterpflanzen!

### 3.2.4 Begrünungsvariante 8 - wandgebundenes Trogsystem

#### Artenliste

*Achillea millefolium* - Schafgarbe  
*Allium schoenoprasum* - Schnittlauch  
*Antirrhinum majus* - Löwenmaul  
*Anthemis tinctoria* - Färberkamille  
*Bergenia cordifolia* - Bergenie  
*Calamintha nepeta 'Triumphator'*  
 - Bergminze  
*Cymbalaria muralis* - Zymbelkraut  
*(Dinthus plumarius, 'Greystone')* - Feder-Nelke)  
*Eruca sativa* - Rucola  
*Geranium cantabrigiense 'Biokova'* - Cambridge Storchschnabel  
*Geranium makrorrhizum* - Balkan Storchschnabel  
*Lysimachia nummularia* - Pfennigkraut  
*(Origanum vulgare* - Oregano)  
*(Phlox subulata* - Polster phlox)  
*Sanguisorba minor* - Wiesenknopf  
*(Salvia argentea* - Silber Salbei)  
*Salvia officinalis* - Salbei  
*Sedum floriferum 'Weihenstephaner Gold'* - Gold Fetthenne  
*Sedum reflexum* - Tripmadam  
*Sedum spurium* - Kaukasus-Fetthenne  
*Sedum telephium* - Hohe Fetthenne  
*(Stachys byzantina 'Silver Carpet'*  
 - Woll-Ziest)  
*Teucrium chamaedris* - Gamander

#### Steckbrief

**Begrünungsform:** wandgebundene Aluminiumtröge mit Hinterlüftungsspalt

**Vegetationsträger:** Ziegelsplitt und Kompost

**Bewässerung:** Automatisch über Tropfschläuche. in zwei Kreisläufen (links und rechts, Steuergerät in den Sanitärräumen im 2. OG.)

**Düngung:** Depotdünger

**Zugänglichkeit:** Steuerung ohne Hilfsmittel erreichbar. Pflege der Begrünung nur mit dem Hubsteiger durchführbar.

**Besonderheiten:** Für ein wandgebundenes Begrünungssystem (durch das Substratvolumen und den Wasseranbau in den Reihen) sehr resilient.

\*(in Klammer gesetzte Arten) sind zwar vorhanden, allerdings tendenziell für diese Variante nicht geeignet, durchgestrichene Arten haben sich als ungeeignet erwiesen, ! Arten mit Rufzeichen ! sind sehr geeignet in diesem System



Abb. 28: wandgebundenes Trogsystem im Innenhof.

## Begrünungsvariante 8 - wandgebundenes Trogsystem

### Beschreibung:

Die Maße dieser Begrünungsfläche betragen 8,28 m in der Breite und 7,19 in der Tiefe, die Tröge beginnen ab dem 2. Stock. Aufgrund der Höhe muss für den Pflegegang im Frühjahr ein Hubsteiger verwendet werden.

Das System besteht aus 27 Reihen Aluminiumtrögen, die mit einem Substrat aus einer Mischung aus Ziegelsplitt und Kompost befüllt sind. Es ist mit einer Mischung unterschiedlicher (teilweise wintergrüner) Staudenarten bepflanzt. Die Stauden wurden als Ballenware gesetzt, bei den Pflegegängen wurde noch zusätzlich angesät.

Die Bepflanzung bietet ein abwechslungsreiches Bild über das ganze Jahr: Nach dem Rückschnitt im Frühling fängt das Pink der Bergenieblüte den Blick, im Frühsommer blühen Schafgarbe und Löwenmaul. Im Herbst färben sich die Blätter der Bergenie rot und die Blühstände der Hohen Fetthenne treten hervor.

Die Bewässerung erfolgt über Tropfschläuche, in zwei Kreisläufen (links und rechts). Die Steuerung der Magnetventile erfolgt mittels Bewässerungscomputer. An Tagen unter +5 °C wird die Bewässerung durch einen Frostwächter unterbunden.

*Wenn Systeme mit dem Hubsteiger gepflegt werden müssen, muss die Möglichkeit zur Zufahrt des Hebekrans gegeben sein.*

*Das System eignet sich auch sehr gut für Ansaaten, so kann die Artenvielfalt einfach erhöht werden.*

*Fassadengebundene-Begrünungen müssen im Winter bewässert werden. Ein frostsicherer Wasseranschluss und ein Frostsensor der Bewässerung bei unter +5 °C unterbindet ist dabei unerlässlich.*



Abb. 29: Pflege der Grünfassade mit dem Hubsteiger.



Abb. 30: Im GRG 7 hat der Turnlehrer das Umstellen der Zeitschaltuhren übernommen.

*Befindet sich ein Steuergerät an allgemein zugänglichen Orten, ist ein mit Nummernschloss gesicherter Kasten von Vorteil.*

*Zuständigkeiten (Wer ist verantwortlich wofür?) müssen dringend geklärt werden.*

## Begrünungsvariante 8 - wandgebundenes Trogsystem

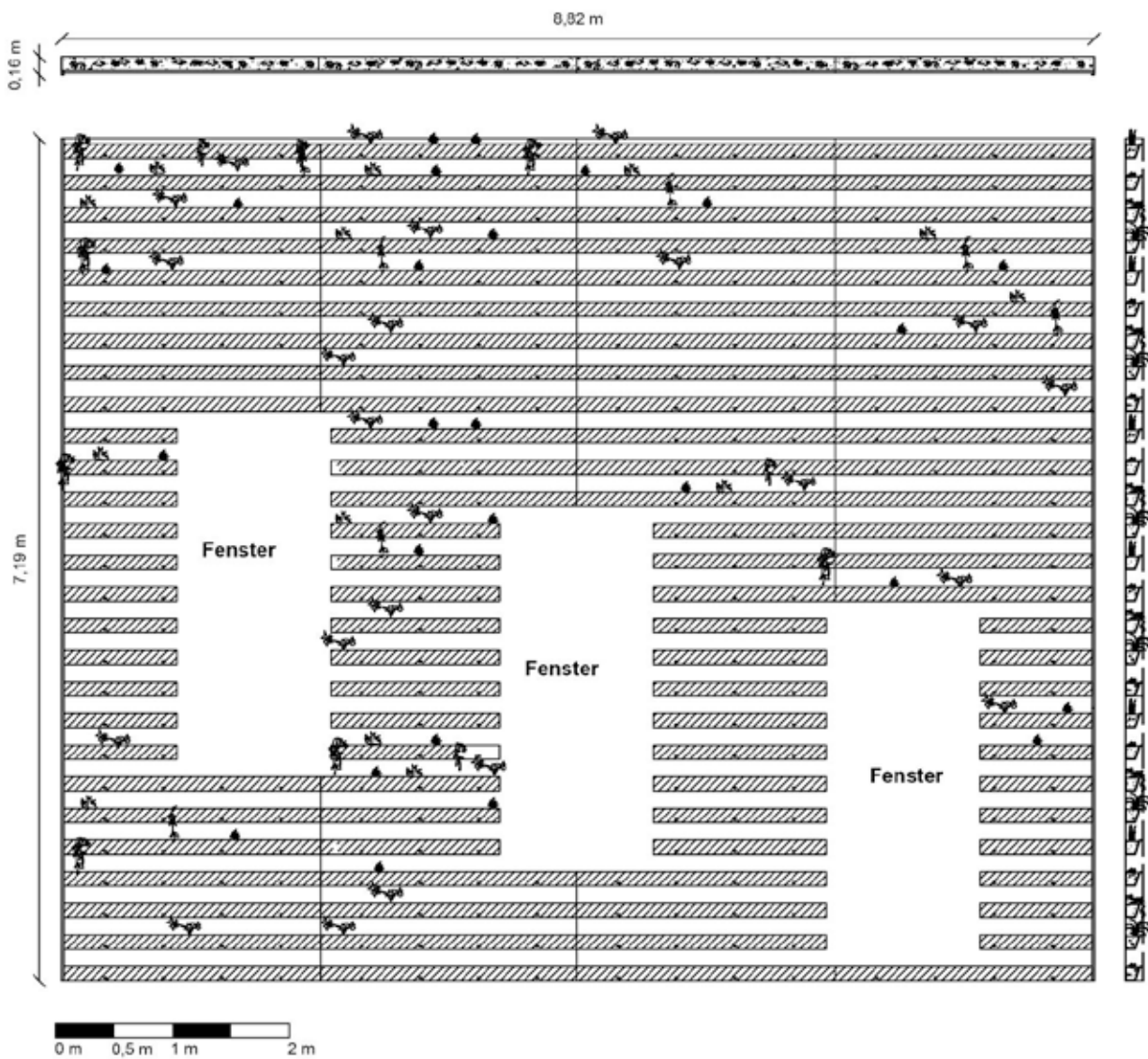


Abb. 31: Schematische Skizze des wandgebundenen Trogsystems.

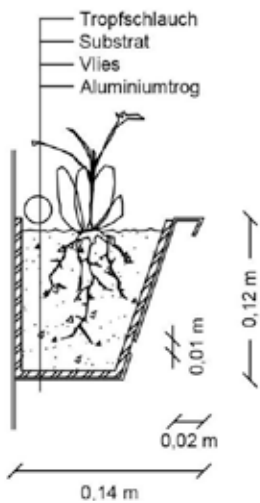


Abb. 32: Schematische Skizze eines Troges des wandgebundenen Systems.



Abb. 33: Buntblühende Trogreihen im Frühling und Sommer

## Begrünungsvariante 8 - wandgebundenes Trogsystem

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Im Winter 2016/17 kam es durch eine Schadstelle an der Bewässerung im linken Kreislauf zu großen Ausfällen auf dieser Seite. Mit den Reparaturarbeiten musste abgewartet werden bis der Hubsteiger für den Pflegegang im Frühjahr veranschlagt war.

Als Ersatzpflanzungen wurden unter anderem Stecklinge von *Sedum*-Arten verwendet und Saatgut eingebracht. Das Saatgut hat sich gut in der Fassade etabliert und somit kann gesagt werden, dass Ansaat eine kostengünstige, einfache Lösung zum Lückenschluss im Aluminiumtrogsystem darstellt. Auch die *Sedum*stecklinge sind einwandfrei angewachsen.

Flugsamen können sich in den Trögen gut etablieren, wenn das etwas „struppigere“ Erscheinungsbild im Herbst nicht gewünscht ist, müssen zwei Pflegegänge im Jahr veranschlagt werden.

Im Aluminiumtrogsystem rinnt das Wasser von oben nach unten durch die Überlauföffnungen. Das System ist also unten feuchter als oben, dies wurde mit Pflanzenarten, die unterschiedliche Ansprüche haben, ausgeglichen.

*Tritt an unzugänglichen Stellen ein Schaden auf, muss mit der Reperatur gewartet werden, bis eine Hebebühne für die Wartung eingeplant ist, oder es treten ungeplante Zusatzkosten auf.*

*Stecklinge und Saatgut eignen sich als kostengünstige Alternative für Nachpflanzungen in diesem System.*



Abb. 34: Rotgefärbte Bergenienblätter



im Herbst ...



Abb. 35: ... und auch der Winteraspekt



ist nicht zu vernachlässigen.

### 3.2.5 Begrünungsvariante 9 - wandgebundenes Kassettensystem

#### Artenliste

- Ajuga reptans* - Kriechender Günsel
- Allium schoenoprasum* - Schnittlauch
- Bergenia cordifolia* - Bergenie
- (Bistorta amplexicaulis*-Staudenknöterich)
- Campanula portenschlagiana* - Dalmatiner Glockenblume
- Geranium macrorrhizum* - Balkan-Storchschnabel !
- Geranium renardii*  
- Kaukasus-Storchschnabel
- Geranium sanguineum* - Blutroter Storchschnabel
- Heuchera micrantha 'Palace Purple'*  
- Purpurglöckchen
- Heuchera sanguinea 'Leuchtkäfer'*  
- Purpurglöckchen
- Heuchera x Pink Lady* - Purpurglöckchen
- (Lysimachia nummularia* - Pfennigkraut)
- Nepeta x fassenii* - Katzenminze !
- Phlox subulata Atropupurea'* - Polsterphlox
- Saponaria sp.* - Seifenkraut
- Sedum album* - weißes Sedum !
- Sedum floriferum Weihenstephaner Gold'* - Gold-Sedum !
- Sedum hybridum Immergrünchen'* - Sedum
- Sedum reflexum* - Tripmadam !
- Sedum spurium* - Kaukasus-Sedum !
- Sedum telephium Herbstfreude'* - hohes Sedum !

\*(in Klammer gesetzte Arten) sind zwar vorhanden, allerdings tendenziell für diese Variante nicht geeignet, durchgestrichene Arten haben sich als ungeeignet erwiesen, ! Arten mit Rufzeichen ! sind sehr geeignet in diesem System



Abb. 36: wandgebundenes Kassettensystem im Innenhof.

#### Steckbrief

Begrünungsform: Kassettensystem

Vegetationsträger: Lavasplitt

Bewässerung: Automatisch mit Bewässerungscomputer. Bewässerung durch Tropfschläuche über ein Kapilarvlies an der Kassettenrückseite.

Düngung: automatisch mit Flüssigdünger

Zugänglichkeit: Steuerung ohne Hilfsmittel erreichbar. Bei Internetverbindung sogar über App überwacht- und manipulierbar. Pflege und Wartungsarbeiten mittels Hubstseiger.

Besonderheiten: Durch den speziellen Bewässerungscomputer Steuerung und Überwachung der Bewässerung über Computer oder Mobiltelefon möglich. Automatische Witterungsbedingte Anpassung der Wassergaben. Fehlermeldungen werden per SMS oder Email verschickt.

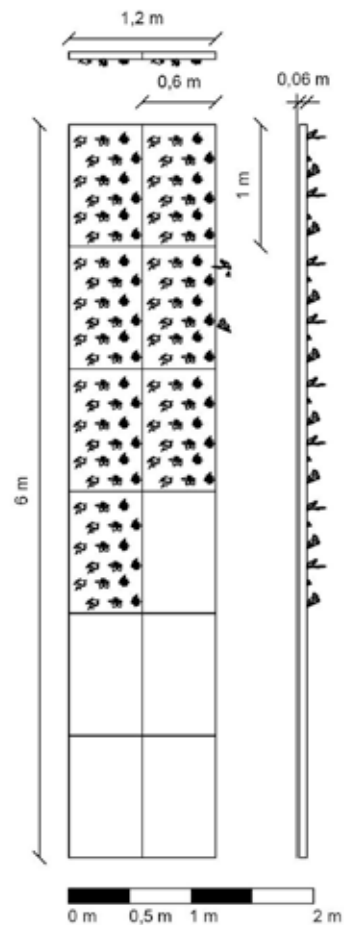


Abb. 37: Schematische Skizze eines Elementes des wandgebundenen Kassettensystems im Innenhof.

## Begrünungsvariante 9 - wandgebundenes Kassettensystem

### Beschreibung:

Diese Begrünungsform besteht aus in einem substratgefüllten, aus Aluminium bestehenden Pflanzkorb, der mit einem Hinterlüftungsspalt von 4 cm an der Fassade befestigt ist. Ein Element hat die Abmessungen 1 m x 0,6 x 0,06 m und bietet Platz für 18 Pflanzen, in eigens dafür vorgesehenen Ausnehmungen. Die beiden Teilflächen mit einer Gesamtfläche von 14,40 m<sup>2</sup> befindet sich an der Südseite des Innenhofes.

Da das System an der Fassade in der Höhe des zweiten Stockwerks angebracht ist, ist dieses nicht direkt zugänglich. Jegliche Pflege- und Wartungsarbeiten müssen mithilfe eines Hubsteigers durchgeführt werden.

Die Bewässerung erfolgt über ein automatisches Tropfbewässerungssystem, das mit einem Bewässerungscomputer gesteuert ist. Ein Frostsensor unterbricht die Bewässerung bei weniger als +5 °C. Die Düngung mit Flüssigdünger erfolgt automatisch über das Bewässerungssystem. Die Steuerung ist bodennah im Innenhof erreichbar, Einstellungen der Bewässerungsintervalle können über eine App durchgeführt werden, wenn eine Internetverbindung vorhanden ist.

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Im Projektzeitraum kamen zwei unterschiedliche Bewässerungscomputer zum Einsatz: Ein Batteriebetriebenes Gerät mit dem es immer wieder zu Problemen gekommen ist und ab Juni 2018 ein Bewässerungscomputer mit W-lan Verbindung der über eine App kontrolliert und gesteuert werden kann. Dieser Computer ist mit der Wetterstation des Flughafens Wiens verbunden und reguliert die Wassergaben nach den jeweiligen Wetterverhältnissen. Das neue System bietet auch die Möglichkeit, Fehlermeldungen per SMS oder Email zu versenden.

Aufgrund der oftmaligen Bewässerungsausfälle hat sich das Pflanzenspektrum im Projektzeitraum stark verändert. Pflanzen mit hoher Stresstoleranz sind *Sedum*-Arten, *Bergenia cordifolia*, *Heuchera*-Arten und *Geranium*.



Abb. 38: wandgebundenes Kassettensystem im Innenhof im Detail.

*Je dünner der Vegetationsträger, desto anfälliger das System.*

*Komplexere Bewässerungscomputer passen die Wassergaben an die Witterungsverhältnisse an und lassen sich per App steuern und überwachen.*

*Auch wenn Warnungen und Fehlermeldungen automatisch vom System verschickt werden, muss jemand darauf reagieren.*

*Sedum, Bergenia, und Storchschnabel eignen sich immer!*



Abb. 39: Screenshot der Bewässerungsapp.

### 3.2.6 Begrünungsvariante 10 - extensives Gründach

#### Artenliste

- Alyssum alyssoides* - Kelch-Steinkraut
- Alyssum montanum* - Berg Steinkraut
- Anthoxanthum odoratum* - Gewöhnliches Ruchgras
- (*Arbitopsis thaliana* - Ackerschmalwand)
- (*Capsella bursa-pastoris* - Gewöhnliches Hirtentäschel)
- Carex caryophylla* - Frühlings-Segge
- Cerastium glutinosum* - Kleb-Hornkraut
- Cerastium pumilum* - Eigentliches Niedrighornkraut
- Draba verna* - Hungerblümchen
- Festuca ovina* - Echter Schaf-Schwingel
- Festuca valesiaca* - Walliser Schafschwingel
- Genista pilosa* - Behaarter Ginster
- Heinaria glabra* - Kahles Bruchkraut
- Hieracium pilosella* - Kleines Habichtskraut
- Iris pumila* - Zwerg-Schwertlilie
- Petrorhagia saxifraga* - Steinbrech-Felsennelke
- Potentilla argentea* - Silber-Fingerkraut
- Salvia nemorosa* - Steppen-Salbei
- Sedum acre* - Scharfer Mauerpfeffer
- Sedum album* - Weiße Fetthenne
- Sedum lydium* - Türkischer Mauerpfeffer
- Sedum reflexum* - Tripmadam
- Sedum sexangulare* - Milder Mauerpfeffer
- Silene vulgaris* - Leimkraut
- Veronica praecox* - Früher Ehrenpreis

\*(in Klammer gesetzte Arten) wurden nicht angesät sind aber aufgekommen.

#### Steckbrief

**Begrünungsform:** extensives Gründach

**Vegetationsträger:** extensives Dachsubstrat

**Bewässerung:** Drainageplatten mit Anstaelementen

**Zugänglichkeit:** über Leiter aus dem Physiksaalfenster

**Besonderheiten:** Ansaat pannonischer Flora, Strukturelemente (Steine und Holz), temporäre Wasserfläche, ein Streifen mit künstlicher Bewässerung als Abgrenzung an der Ostseite und zur PV

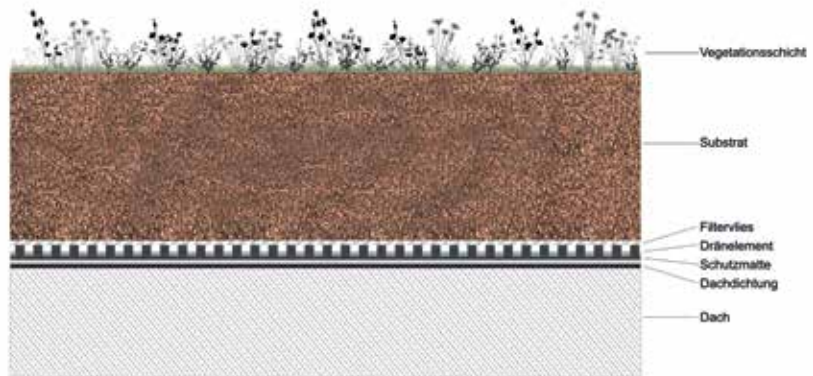


Abb. 40: Schematische Skizze des Gründachaufbaues am GRG 7.



Abb. 41: Pannonisches Trockenrasendach mit Strukturbildnern.

## Begrünungsvariante 10 - extensives Gründach

### Beschreibung:

Das Turnsaaldach auf dem GRG 7 hat die Abmessungen 22 x 12 m. Im Zuge der Sanierung der Dachabdichtung wurde ein extensives Gründach mit einer Pflanzfläche von 203 m<sup>2</sup> angelegt. Der Aufbau der Vegetationsfläche besteht aus 2,5 cm Festkörperdrainage mit aufgeschichtetem Filtervlies und einer Substratschicht aus leichtem, extensiven Dachsubstrat in Stärken von 5 bis 20 cm. Als Vegetationsform wurde eine pannonische Trockenrasenflora ausgewählt. Zusätzlich zu den unterschiedlichen Substratstärken wurde Strukturelemente aus Holz und Steinen eingebracht und Kalkschotter und Sandlinsen angelegt um die Biodiversität zu fördern. Rund um die Vegetationsfläche befindet sich ein Brandschutzstreifen aus Kies mit 1 m Breite.

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Ganz der pannonischen Flora entsprechend verändert sich das Gründach über das Jahr. Im Frühling ist es frisch und Grün und trocknet bei Hitze im Sommer. Im Herbst, wenn die Stressperiode vorbei ist, treiben die Pflanzen wieder neu aus.

Je höher das Substrat, umso mehr Wasser wird für Trockenperioden gespeichert. Im Schatten trocknen die Fläche weniger schnell aus. Auch die eingebrachten Strukturen erzeugen diesen Effekt.

Bewässerte und beschattete Stellen dienen als „Breeding Spots“ von denen die Wiederverbreitung der Pflanzen ausgehen kann.

*Die Vegetationsform Trockenrasen ist eine naturnahe Alternative zur extensiven Dachbegrünung rein aus Sedumsprossen.*

*Gehölzkeimlinge müssen unbedingt entfernt werden.*

*Mahd ist optional.*



*Die vier Jahreszeiten können beim Blick auf das Trockenrasendach deutlich miterlebt werden.*



Abb. 42: Die vier Jahreszeiten auf dem Turnsaaldach des GRG 7 (Winter, Frühling, Sommer, Herbst).

Abb. 43: Kiesdach vor der Begrünung (ganzjährig grau).

### 3.2.7 Begrünungsvariante 11 - Begrünung in Verbindung mit Photovoltaik (PV)

#### Artenliste Gründach+PV

*Anemone sylvestris* – Großes Windröschen  
*Bergenia cordifolia* - Bergenie  
*Ceratostigma plumbaginoides* - Chinesischer Bleiwurz!  
*Corydalis ceilanthalifolia* - Farn-Lerchensporn!  
*Heuchera micrantha* - Purpurglöckchen  
*Hypericum calycinum* – Teppich-Johanniskraut  
*Symphytum grandiflorum* - Kaukasus Beinwell  
*Sedum telephium* - hohes Sedum

#### Steckbrief Dachbegrünung + PV

Begrünungsform: Gründach mit horizontalen transluzenten Photovoltaikmodulen (Lichtdurchlässigkeit 30%)  
Abstand zur PV: 50- 72 cm.

Vegetationsträger: extensives Dachsubstrat

Bewässerung: östliches PV-Feld bewässert, Südliches ohne Bewässerung

#### Artenliste Grünfassade+PV

*Bergenia cordifolia* - Bergenie  
*Heuchera sp.* - Purpurglöckchen  
*Geranium*-Arten  
(*Festuca gautierii* - Bärenfell-Schwingel)  
*Sagina subulata* – Sternmoos  
(*Sedum*-Arten - Sedum)

durchgestrichene Arten haben sich als ungeeignet erwiesen,  
! Arten mit Rufzeichen ! sind sehr geeignet in diesem System  
(in Klammer gesetzte Arten sind mäßig geeignet)

#### Grünfassade + PV

Begrünungsform: Pflanzkassetten mit vorgesetzten Photovoltaikmodulen, Abstand zur Begrünung 25 und 44 cm.

Vegetationsträger: Lavasplitt

Bewässerung: Automatisch mit Bewässerungscomputer. Bewässerung durch Tropfschläuche über ein Kapillarlvlies an der Kassettenrückseite.

Düngung: automatisch mit Flüssigdünger



Abb. 44: Dach- und Fassadenbegrünung in Kombination mit Photovoltaikpaneelen auf dem Schuldach.

## Begrünungsvariante 11 - Begrünung in Verbindung mit Photovoltaik (PV)

### Beschreibung:

**Dach+PV:** Über einem Teil des Gründaches wurden horizontale Photovoltaikmodule auf Aluminiumträgern angebracht. Die Glas-Glas Module sind zu 30 % lichtdurchlässig, um Pflanzenwachstum unter den Modulen zu ermöglichen. Der Abstand zur Begrünung variiert von 50 - 72 cm. Unter einer der beiden Teilflächen befindet sich ein Tropfschlauch, die andere bleibt unbewässert.

**Fassade+PV:** Das für die Kombination von Fassadenbegrünung herangezogene Kassettensystem ist in Variante 9 beschrieben, und hängt auch am selben Bewässerungskreislauf. Die Photovoltaikmodule mit 30 %iger Lichtdurchlässigkeit sind den Kassetten mit einer Aluminiumrahmenkonstruktion vorgehängt. Eine Variante hat einen Abstand von 25 cm zu den Pflanzkassetten, die zweite Variante hat einen Abstand von 44 cm und verfügt zusätzlich über einen Kippmechanismus, mit dem das PV-Modul bewegt werden kann, um Pflegemaßnahmen besser durchführen zu können.

### Beobachtungen und Besonderheiten während der Projektlaufzeit:

Bei zu geringem Abstand zwischen PV- und Begrünungssystem wird die Pflege schwierig. Zusätzlich heizt sich der Luftraum bei geringem Abstand hinter den Modulen stärker auf und es sind mehr Ausfälle an der Bepflanzung sichtbar.



Abb. 46: Kombination von Grünfassade und transluzentem Photovoltaikmodul.



Abb. 45: PV-Module unbedingt vor Verschattung freihalten!

*Ein Minimum von 45 cm Abstand von PV und Begrünung sind erforderlich, um sowohl gute Zugänglichkeit zur Pflege als auch eine ausreichende Hinterlüftung der PV zu gewährleisten.*

*Die Photovoltaik hält Strahlung von der Vegetationsoberfläche ab, weswegen das Substrat weniger schnell austrocknet.*

*Natürlicher Niederschlag kann die Flächen unter der PV kaum erreichen*

*Unter den Photovoltaikflächen werden Temperaturschwankungen abgepuffert.*

*Ein Freihalten der PV-Flächen vor Verschattung durch Vegetation ist unbedingt notwendig.*

### 3.3 Zusammenfassung ,Vergleich und Übersicht zur Bedienbarkeit der Begrünungselemente und deren Systemkomponenten Begrünungselemente und deren Systemkomponenten

Auf der folgenden Doppelseite sind die einzelnen Komponenten der Begrünungsvarianten aufgelistet. Je nach Kombination der unterschiedlichen Elemente (Vegetationsträger, Bewässerung, Düngung, Beleuchtung, Steuerung und Zugänglichkeit) wird das System in der Handhabung aufwändiger zu bedienen.

Der Farbcode gibt Informationen über die Komplexität der einzelnen Systemkomponenten:

**Gering:** wenig Aufwand, einfach in der Handhabung

**Mittel:** mäßiger Aufwand

**Hoch/ Fachpersonal sinnvoll:** hoher Aufwand in der Bedienung, technisch komplex, Fachwissen notwendig, externes Fachpersonal sinnvoll

**Fachpersonal notwendig:** Aufwand dem Schulpersonal keinesfalls mehr zumutbar, externes Fachpersonal erforderlich

Generell gilt:

- Je **dicker ein Vegetationsträger** (je dicker die Substratstärke) **umso resilienter ist das System**, da es nicht so schnell austrocknen kann und Temperaturschwankungen besser ausgeglichen werden.
- **Horizontale Systeme haben eine homogenere Wasserverteilung**, da die Schwerkraft weniger Auswirkungen hat.
- Die **Zugänglichkeit** der Begrünung sowie der Steuerung ist **sehr wichtig**: nur leicht erreichbare Stellen werden häufig gepflegt, und nur einfach einzusehende Steuerungen werden kontrolliert.
- Die Hemmung eine Zeitschaltuhr einzustellen ist geringer, als einen Bewässerungscomputer zu bedienen. Mechanische Zeitschaltuhren sind am leichtesten zu verstehen, sorgen jedoch für Verwirrung, wenn die Zeit nach einem Stromausfall verstellt ist (digitale Zeitschaltuhren haben im Gegensatz dazu einen Pufferspeicher, der die Einstellungen beibehält). Online überwachbare Anlagen, können Fehlermeldungen versenden und sind übersichtlicher zu bedienen.
- **Generell ist die Hemmschwelle in ein System einzugreifen umso höher, je technischer das System ist.**

Abb. 47: (rechte Seite) Übersicht der verschiedenen Komponenten von Begrünungssystemen und deren Bedienbarkeit/Komplexitätsgrad.





## 4. Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen



Abb. 48: Techniker der TU-Wien beim Vorbereiten des Raumes mit dem Blower Door Test für die Ermittlung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Raumluft.

Begrünungen beeinflussen den Innen- und Außenraum eines Gebäudes in unterschiedlicher Art und Weise. Einige der im Eingangskapitel erwähnten **positiven Effekte** konnten an den Begrünungsvarianten im GRG7 näher untersucht werden. Das folgende Kapitel gibt näheren Einblick auf die **Auswirkungen von Begrünungsmaßnahmen in Schulgebäuden gegliedert** nach folgenden Aspekten:

- Dämmwirkung - U-Werte
- Transpirationsleistung - Kühlleistung
- Hygrothermisches Verhalten des Innenraumes
- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit
- Staub
- CO<sub>2</sub>
- Untersuchung auf Schimmelsporen
- Raumakustik
- Kombination PV und Begrünung

## 4.1 Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die U-Werte der Fassade

### Beschreibung der Methode und der Untersuchungsobjekte:

In Österreich gibt die OIB-Richtlinie 6 einen Wärmeschutz für Gebäude vor. Dieser kann mit unterschiedlichen Methoden für den Energieausweis berechnet werden. Ein Teil des Wärmeschutzes ist eine ausreichend gut gedämmte Außenhülle, damit die Wärmeverluste im Winter gering sind. Wie gut eine Konstruktion thermisch gedämmt ist, wird mit dem U-Wert angegeben.

Im Zuge des Projektes GrünPlusSchule@Ballungszentrum wurden Luft und Oberflächentemperaturen und Wärmestrom mehrere Jahre lang gemessen und nach Plausibilität und Verwendbarkeit für die U-Wert Berechnungen detailliert geprüft und die Messungen ausgewertet.

Berechnet wurden die U-Werte für das in Kapitel 3 beschriebene Trogsystem (Begrünungsvariante 8) und für das Kassettensystem (Begrünungsvariante 9) und für die Konstruktion ohne Begrünung berechnet. Das Trogsystem ist an einer Vollziegelmauer mit 60 cm Stärke angebracht, das Kassettensystem an einer Mauer mit Hochlochziegeln und 35 cm Stärke. Aus der U-Wert Differenz (grün und nicht grün) wurde der Einfluss der fassadengebundenen Begrünung auf die U-Werte der Fassade berechnet.

Folgende Filter wurden zur Berechnung des U-Wertes verwendet:

1. Der Temperaturunterschied zwischen Innenluft und Außenluft ist größer als 15 Kelvin
2. Der Temperaturunterschied zwischen Oberfläche an der Innenwand und Außen-Fassadenoberfläche ist größer als 15 Kelvin
3. Der Temperaturunterschied zwischen Oberfläche an der Innenwand und Außen-Fassadenoberfläche in den letzten 24 h im Mittel ist größer als 15 Kelvin
4. Der Temperaturunterschied zwischen Innenluft und Außenluft hat in den letzten 24 h nicht mehr als 2 Kelvin geschwankt
5. Die Oberflächentemperaturen der Innenwand und Außen-Fassadenoberfläche hat in den letzten 24 h nicht mehr als 2 Kelvin geschwankt.

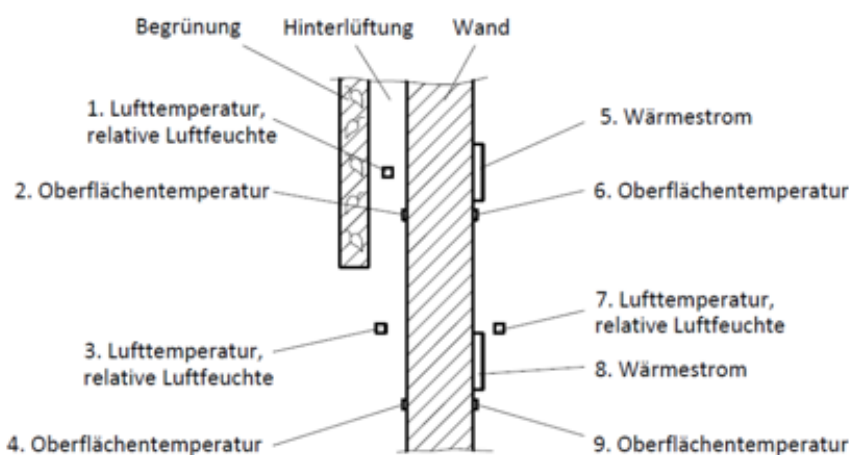


Abb. 49: Schematische Darstellung des Messaufbaus.

## Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die U-Werte der Fassade

### Ergebnisse:

Die Berechnung der U-Werte hat gezeigt, dass bei Begrünungssystemen mit kleineren Hinterlüftungsöffnungen die thermische Dämmung der Fassade höher ist als bei Begrünungssystemen mit größeren Hinterlüftungsöffnungen (wesentlich höhere Durchströmung). Verblendungen an den Seiten und andere Maßnahmen die das Durchströmen von Außenluft reduzieren, erhöhen die Verbesserung der Dämmwirkung. Außerdem ist es ein Vorteil, wenn das Begrünungssystem großflächig ist und möglichst wenige Unterbrechungen (Grenzflächen zur Außenluft) hat.

Die Fassaden an denen die Begrünungssysteme montiert sind, weisen unterschiedliche Dämmqualität auf. Das großflächige Begrünungssystem mit Verblendung ist an einem Teil der Fassade montiert der aus Vollziegeln besteht. Das kleinflächige Begrünungssystem ohne Verblendung an einer Fassade mit Hochlochziegeln. Dementsprechend unterscheiden sich die U-Werte der nicht begrünenden Fassaden. Entscheidend um die Auswirkungen der Fassadenbegrünung zu erkennen ist der jeweilige Vergleich zwischen der begrünenden und der nicht begrünenden Fläche. Das großflächige Begrünungssystem mit Verblendung weist auf der Altbaumauer eine Verbesserung von etwa 20 % auf. Das kleinflächige ohne Verblendung eine Verbesserung von 4 % der besser gedämmten Mauer.

*Entscheidend für die thermische Dämmung ist das Reduzieren der Hinterlüftungsöffnungen und Erhöhen der durchgängigen Begrünungsfläche.*

*An ungedämmten Gebäuden ist eine Verbesserung von ca. 20 % möglich.*

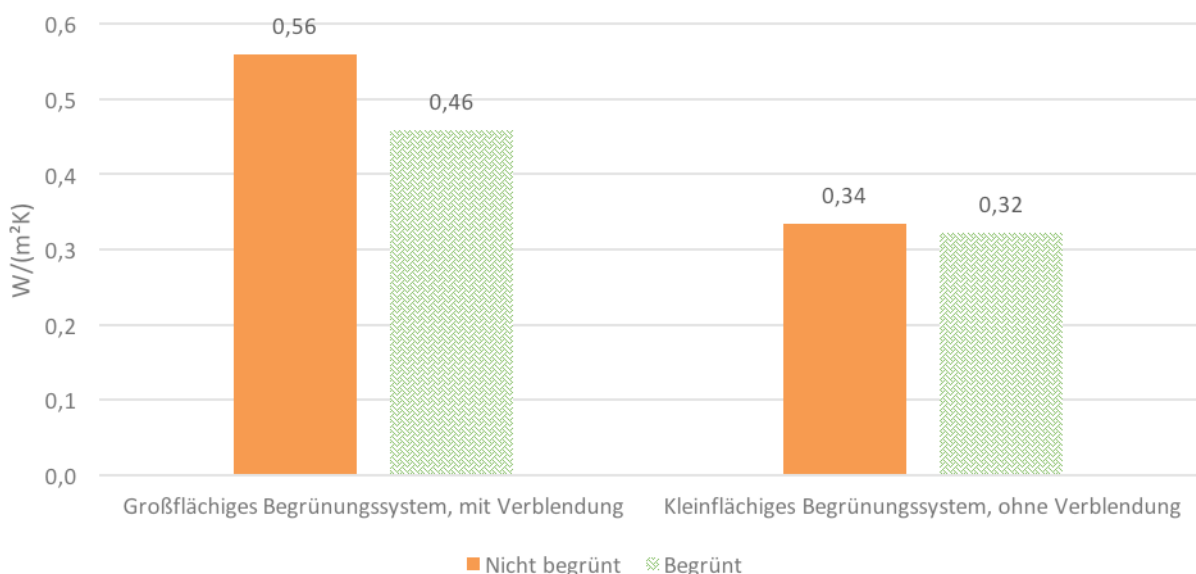


Abb. 50: U-Werte an der Fassade des Grg 7 mit und ohne Begrünung

## 4.2 Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf das hygrothermische Verhalten im Innenraum

Die entscheidenden Parameter die das hygrothermische Raumklima beschreiben, sind Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. In der begrünten Klasse, dem Biologieraum und der Referenzklasse wurden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit 3 Jahre lang zeitgleich alle 5 Minuten gemessen.

Abb. 51 zeigt die hygrothermischen Bereiche, die für die untersuchten Klassenräume als behaglich (innerhalb des roten Bereichs), noch behaglich (innerhalb des grünen Bereichs) und nicht behaglich (außerhalb des grünen Bereichs) eingestuft werden. Jeder Punkt im Diagramm ist eine bestimmte Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur zugeordnet. Die Punktwolke stellt Messergebnisse während der kalten Jahreszeit (1. Oktober – 31. März) dar. Es ist ersichtlich dass die Luftfeuchtigkeit im begrünten Klassenraum größer ist als im nicht begrünten. Das führt dazu, dass behagliches Raumklima in der begrünten Klasse häufiger auftritt als in der Referenzklasse.

Die Häufigkeit der gemessenen Werte je Behaglichkeitsbereich wird in Abb. 52 für die kalte Jahreszeit dargestellt. Es ist ersichtlich, dass im nicht begrünten Klassenraum das hygrothermische Raumklima für 42 % der Zeit behaglich war. Mehr als die Hälfte (58 %) der Zeit waren die hygrothermischen Verhältnisse nicht im optimalen Bereich. Gerade im Winter sind die Schleimhäute bei trockener Luft besonders angreifbar und das Risiko zu erkranken steigt [1]. Die Innenraumbegrünung entschärft diese Situation. Im begrünten Klassenraum war in 71 % des Messzeitraums das hygrothermische Raumklima behaglich. Das ist eine Erhöhung der Behaglichkeitsdauer im selben Zeitraum um über 69 %.

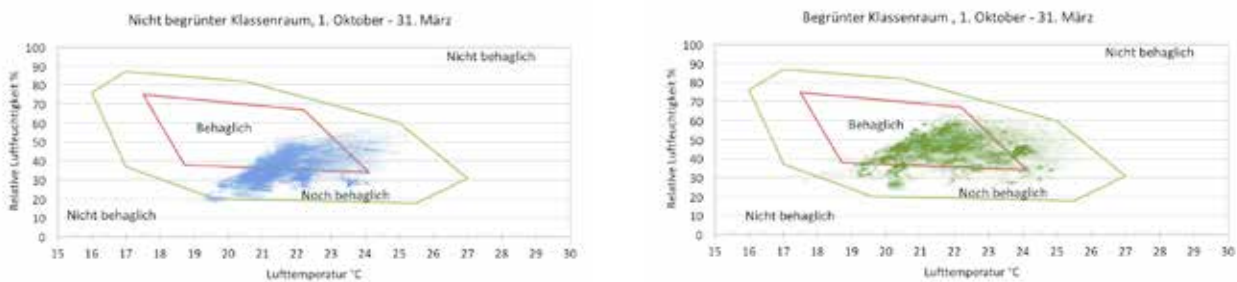


Abb. 51: Hygrothermische Behaglichkeit zwischen 1. Oktober und 31. März, begrünte Klasse links, Referenzklasse rechts.

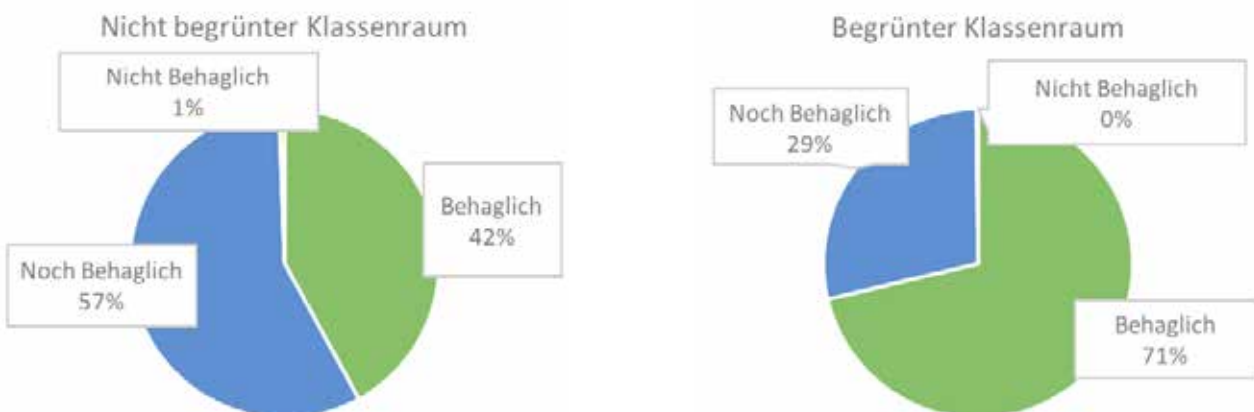


Abb. 52: Häufigkeiten der unterschiedlichen Behaglichkeitsstufen im nicht begrünten Klassenraum (links) und im begrünten Klassenraum (rechts), zwischen 1. Oktober und 31. März in den Jahren 2016, 2017 und 2018.

## Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf das hygrothermische Verhalten im Innenraum

Während der Sommermonate ist die Luftfeuchtigkeit im Innenraum generell höher. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es dennoch nicht zu feucht in den begrünten Räumen wird. Außerdem wurden Schimmelsporenuntersuchungen von der Firma IBO Innenraumanalytik OG durchgeführt. Es konnte keine erhöhte Schimmelsporenbelastung in den begrünten Klassen festgestellt werden.

*Das hygrothermische Raumklima wird aufgrund von Innenraumbegrünung verbessert. Die Luftfeuchtigkeit wird aufgrund der Innenraumbegrünung erhöht, dennoch ist bei sinnvoller Dimensionierung der Begrünung keine erhöhte Schimmelsporenbelastung zu befürchten.*

### 4.3 Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die CO<sub>2</sub> Belastung im Innenraum

Es gab zwei Untersuchungsreihen in der begrünten Klasse und der Referenzklasse. Bei der Langzeitmessung wurde die CO<sub>2</sub>-Konzentration während des gesamten Projektzeitraumes gemessen. Nach einbringen der Innenraumbegrünung wurde in der nicht begrünten Referenzklasse zeitgleich wie in der begrünten Klasse und im Biologieraum gemessen. Der Sommersversuch wurde während den Sommerferien durchgeführt. In die leer stehenden, ungestörten Räume wurde gezielt CO<sub>2</sub> eingebracht und der Abfall gemessen und analysiert. Dabei wurde darauf geachtet dass die Bedingungen möglichst vergleichbar waren. Öffnungen zur Außenluft und Nachbarräumen wurden abgedichtet sodass dieselbe Luftdichtheit in beiden Räumen herrschte (gleiche Dichtheit mit Blower Door Test gemessen).

*Innenraumbegrünung reduziert während des Tages die CO<sub>2</sub>-Konzentration. Die Reduktion ist jedoch so gering, dass sie während einer Raumnutzung auf Lüften nicht verzichtet werden kann.*

Die Langzeituntersuchungen können könnten aufgrund der Dynamik einer Schulunutzung nicht für eine wissenschaftliche Aussage bezüglich den Vergleich begrünter und nicht begrünter Klassenräume herangezogen werden . Zu viele Parameter, insbesondere des NutzerInnenverhaltens stören die Messungen. Sie haben jedoch gezeigt, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration generell zu hoch ist. Sie steigt in der Früh rasch an und bleibt auf hohem Niveau. Das Öffnen von Tür und Fenstern reduziert die CO<sub>2</sub>-Konzentration rasch. Die Auswirkungen von Innenraumbegrünung sind verhältnismäßig vernachlässigbar.

*Regelmäßiges Lüften ist wichtig!!!*

Im Sommersversuch wurde ersichtlich, dass bei möglichst gleichen Bedingungen die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der begrünten Klasse, schneller abfiel als in der Referenzklasse. Der Mehrabfall war je nach Messung zwischen 1,5 % und 6,8 %.

## 4.4 Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die Akustik

Der wichtigste Faktor für die Verständlichkeit von Sprache ist neben der Lautstärke auch der Hall. Letzterer wird durch die Nachhallzeit charakterisiert [2]. Eine große Nachhallzeit kann bei Konzertsälen positiv wirken, eine kleinere Nachhallzeit ist positiv für Kommunikation und Sprache [3]. Im Zuge des vorliegenden Projektes wurde die Nachhallzeit von Räumen und Außenbereichen gemessen, sowohl ohne als auch mit Begrünungselementen. So ist es möglich die Auswirkungen der Begrünung auf die Nachhallzeit und in weiter Folge auf die akustische Qualität der Räume zu berechnen und zu analysieren.

Wandbegrünungen verhalten sich durch ihren Aufbau sowie die Bepflanzung ähnlich wie poröse Absorber. Die Schallabsorption durch poröse Stoffe basiert auf der Umwandlung von Schall- in Wärmeenergie. Der Schallabsorptionsgrad gibt an, welcher Anteil der ankommenden Schallenergie wieder reflektiert wird. Ein Schallabsorptionsgrad von 0 bedeutet dass die gesamte Schallenergie wieder in den Raum zurückgegeben wird. Ein Schallabsorptionsgrad von 1 bedeutet dass kein Anteil der Schallenergie in den Raum reflektiert wird. Die gesamte Schallenergie wird absorbiert.

*Die untersuchten Begrünungssysteme absorbieren Schall, insbesondere in gut hörbaren Frequenzen. Das führt zur besseren Verständlichkeit bei gleicher Lautstärke, insbesondere beim Lernen von Fremdsprachen ist die Reduktion der Nachhallzeit ein großer Vorteil.*

*Verglichen mit üblichen technischen Absorbieren wie Plattenschwingern oder porösen Absorbieren sind grüne Wände als sehr hochwertig einzustufen.*

Abbildung Abb. 54 zeigt die berechneten Schallabsorptionsgrade der unterschiedlichen Innenraum-Begrünungssysteme. Werte die größer als 1 sind bedeuteten dass mehr als 100 % der eintreffenden Schallenergie absorbiert werden. Das ist theoretisch unmöglich, kommt in der Praxis allerdings häufig vor. Gelangt Schall in eine stark absorbierende Probe wird nur sehr wenig reflektiert. Die Diskontinuität im Wellenfeld an der Kante der Probe erzeugt einen Beugungseffekt, der das Schallfeld verzieht. Für den Schall wird dadurch die Probe um eine Viertel Wellenlänge größer. Insbesondere bei niedrigen Frequenzen und kleinen Absorberflächen ist diese Auswirkung besonders groß [4]. Die Fläche nimmt zu und absorbiert pro Wandfläche mehr Schallenergie, als an der Wand angekommen wäre. Die höchsten Schallabsorptionsgrade weist das Trogsystem auf. Insbesondere im gut hörbaren Bereich, die Menschen als besonders laut wahrnehmen (um 1.000 Hz), ist der Schallabsorptionsgrad hoch. Die geringste Absorption findet in den tieferen Frequenzbereichen statt. Tiefe Frequenzbänder wechselwirken nur mit schwereren Bauteilen, während höhere Frequenzen auch mit leichteren (wie etwas Pflanzen oder Blättern) in Interaktion treten [5].

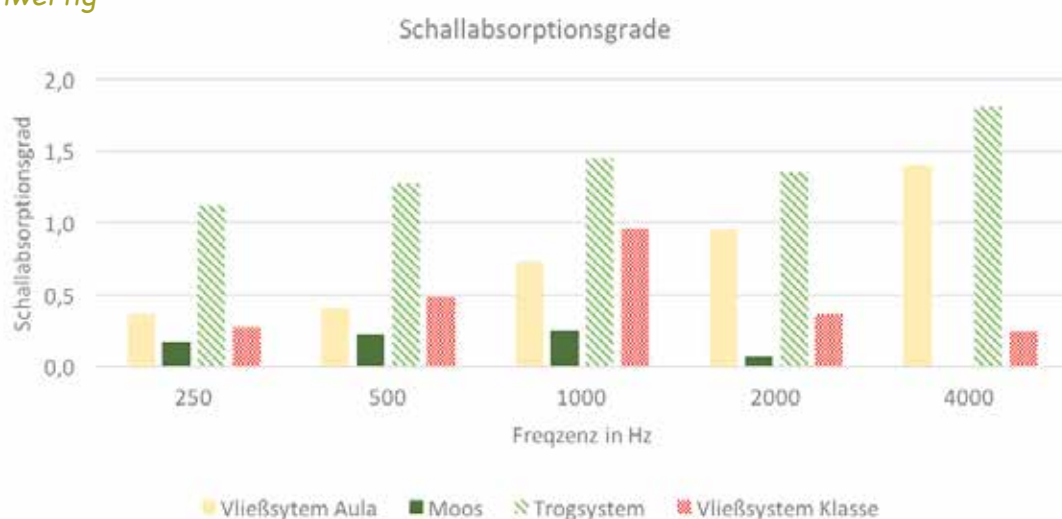


Abb. 54: : Schallabsorptionsgrade der Grünen Wände, berechnet auf Basis der Nachhallzeitmessungen.

## 4.5 Auswirkungen der Begrünungsmaßnahmen auf die Staubbelastung im Innenraum

Im Rahmen des Projektes wurde die Auswirkung von Innenraumbegrünung auf die Staubkonzentration in Innenräumen untersucht. Dafür wurde die Staubkonzentration in der begrünten Klasse und der Referenzklasse gemessen. Die Konzentration von PM<sub>10</sub> in der Außenluft wurde zeitgleich von der Wiener Umweltschutzabteilung – MA 22 Bereich für Luftreinhaltung gemessen. Die MA 22 führt Messungen in Wien in der Taborstraße, in der Kendlerstraße und beim AKH durch. Es wurden die Mittelwerte der unterschiedlichen Messstationen für den Messungszeitraum berechnet. Je nach Wetterlage schwankt die Staubkonzentration in der Außenluft. Die Staubkonzentration im Innenraum ist von der äußeren abhängig und deshalb auch wetterabhängig. Während des Schulbetriebs ist die Staubkonzentration im Innenraum auch abhängig von den Aktivitäten der RaumnutzerInnen. Es gibt unterschiedliche innere Staubquellen (z. B. Tafelkreide). Auch körperliche Aktivitäten der RaumnutzerInnen beeinflussen die Staubkonzentration in der Luft. Bei viel Bewegung wird mehr Staub von den Oberflächen (Fußboden, Möbel, etc.) aufgewirbelt und das erhöht somit die gemessene Staubkonzentration in der Luft.

In Abbildung Abb. 55 wird gezeigt, dass die Konzentrationen aller untersuchten Feinstaubgrößen, in der begrünten Klasse während der Messung geringer waren, als in der nicht begrünten Klasse und das obwohl die Außenluftkonzentration während den Messungen in der begrünten Klasse höher war.

*Die Staubkonzentration schwankt je nach Raumnutzung und Wetterlage. Sie nimmt aufgrund von Innenraum- und Außenraumbegrünung im Mittel ab.*

Das Analysieren der Messungen zeigt unter Berücksichtigung aller Partikelgrößen bis PM<sub>10</sub> eine Differenz zwischen begrünter Klasse und Referenzklasse von ca. 2,5 µg/m<sup>3</sup>. Das sind (nach Bezugnahme des Raumvolumens und der Begrünungsfläche) 7,8x10<sup>-8</sup> kg pro m<sup>2</sup> Grünfläche ohne Berücksichtigung der höheren Staubkonzentration in der Außenluft. Die Staubkonzentration der Außenluft war während der Messung in der begrünten Klasse höher um ca. 1,5 µg/m<sup>3</sup>.

Die Literatur [2] [3] gibt (nach Umrechnungen) für die Reduktion der Feinstaubkonzentration in der Außenluft aufgrund von Außenbegrünung 5,3x10<sup>-9</sup> kg/m<sup>2</sup> Grünfläche an.

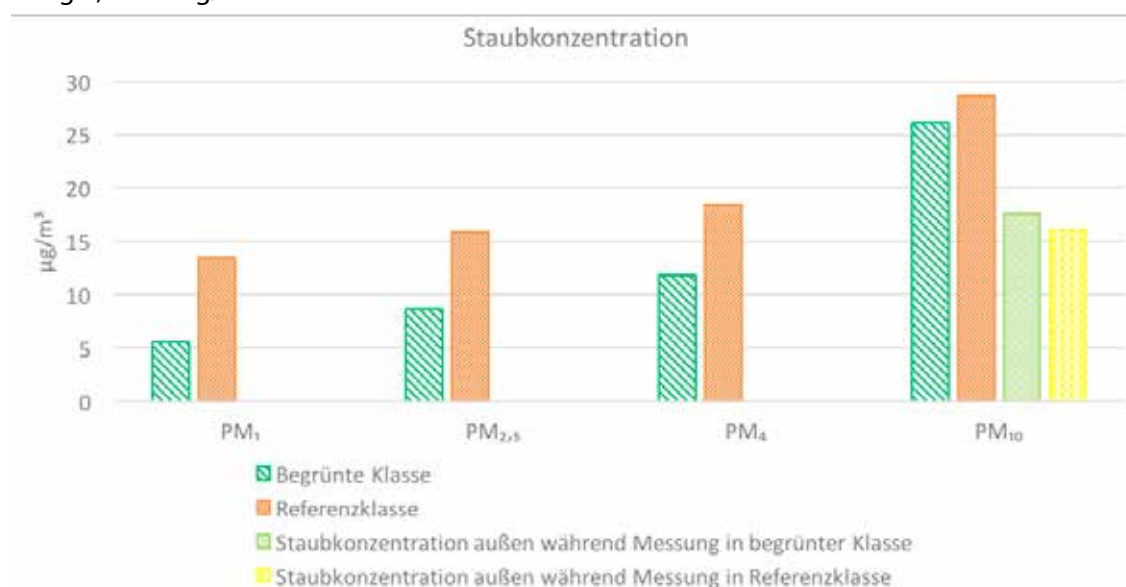


Abb. 55: : Konzentration der unterschiedlichen Feinstaubgrößen im begrünten und im nicht begrünten Klassenraum. Mittelwerte der Messwerte ab dem Jahr 2016. „Außen Grün“ bezeichnet dabei die Feinstaubkonzentration der Außenluft während der Messungen in der begrünten Klasse. „Außen nicht grün“ bezeichnet die Feinstaubkonzentration der Außenluft während der Messungen in der nicht begrünten Klasse.

## 4.6 Kühlleistung der Begrünungssysteme

Durch Sonneneinstrahlung erhitzen sich die Außenoberflächen von Gebäuden und sie geben die Wärme einerseits an die umströmende Luft ab und andererseits gelangt die Wärme abhängig von der Aufbau und Dämmqualität der Wand über Wärmeleitung (und eventuell Konvektion) in den Innenraum. Um den Kühleffekt von Gebäudebegrünungen durch Evapotranspiration zu untersuchen, wurden Zu- und Abfluss des Begrünungssystems gemessen. Der Zufluss ist die Summe von Bewässerung und Niederschlag. Der Abfluss ist die Wassermenge, die durch die Abflusssrinne abtransportiert wurde. Die Differenz des täglichen Abflusses und Zuflusses wurde berechnet. Es wurde angenommen, dass die gesamte Differenz von Zu- und Abfluss verdunstet ist. Weiters wurden die Lufttemperatur und die Oberflächentemperatur hinter den Begrünungssystemen und an der unbegrünten Fassade über den gesamten Projektzeitraum gemessen. Ein Vergleich zeigt die Auswirkungen von Verschattung und Verdunstung an den äußeren Fassadenoberflächen. An der Innenseite wurde die Oberflächentemperatur auch gemessen um Auswirkungen auf den Innenraum des Gebäudes festzustellen.

Die Auswirkungen von Innenraumbegrünung wurden mittels Messung von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in der begrünten Klasse und der Referenzklasse über den gesamten Projektzeitraum untersucht.

Die Kühlleistung durch Evapotranspiration hängt von der Wetterlage und dem zugeführten Wasser ab. Wird weniger gegossen, sodass die Pflanzen zwar noch überleben, das Substrat aber trocken ist, reduziert sich die Verdampfungsenergie. Am höchsten ist sie bei mehrmaligen Gießen an einem heißen, sonnigen Tag. Um die Kühlleistung der Evapotranspiration zu ermitteln wurde der Zeitraum von Anfang August 2017 bis Ende September 2017 betrachtet. Der durchschnittliche Tageswert der Verdampfungsenergie liegt bei 69,06 kWh. Der maximale Tageswert liegt bei 131,78 kWh. Das ist die gesamte Wärmeenergie die der Umgebung entzogen wird.

Auf die Oberflächentemperatur der Außenfassade wirkt zusätzlich die Beschattung des Begrünungssystems. Im Folgenden werden die Außenoberflächentemperaturen der Fassaden verglichen (begrünt und nicht begrünt). Dafür werden in Abb. 56 und Abb. 57 die gemessenen Oberflächentemperaturen an den Fassaden dargestellt.

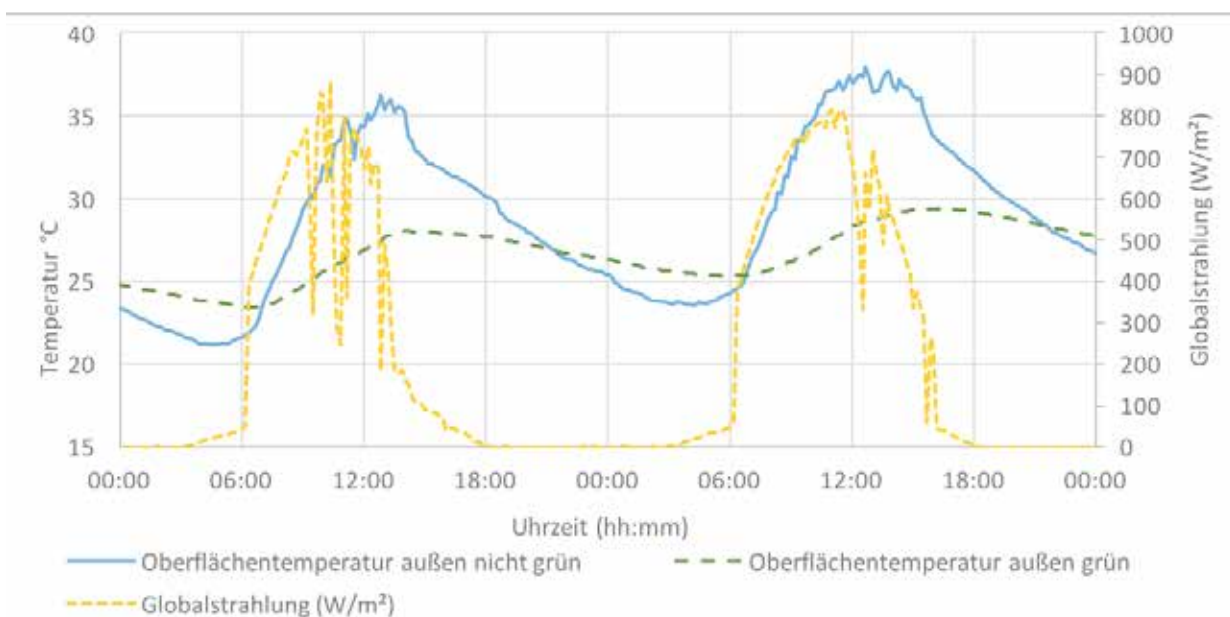


Abb. 56: Oberflächentemperatur der Fassade außen. Ohne Begrünung und mit Begrünung mittels Trogsystem.

## Kühlleistung der Begrünungssysteme

Es ist ersichtlich dass die äußere Oberflächentemperatur am nicht begrünten Teil der Fassade steiler ansteigt, als beim begrünten Teil der Fassade. Grund dafür ist die Verschattung durch das Begrünungssystem und die Evapotranspiration die verhindert, dass sich die vorgehängte Konstruktion in der Sonne aufheizt. Wie stark sich eine unbegrünte Fassade aufheizt hängt von der Farbe, Fassadenbauweise, der Exposition und den Witterungsbedingungen ab [6]. Die hier untersuchte Fassade wurde im Jahr 2015 weiß gestrichen und ist ungedämmt. Beim Trogsystem ist es Vollziegel, ca. 60 cm. Beim Kassettensystem Hochlochziegel ca. 35 cm. Deshalb werden auch südseitig Oberflächentemperaturen von unter 45°C gemessen. Bei dunklen oder verschmutzten Fassaden ist die Auswirkung von Fassadenbegrünung auf die äußerer Oberflächentemperatur höher [6]. In der Nacht kühlt die begrünte Fassade weniger stark aus, als die unbegrünte. Grund dafür ist die fehlende Sicht zum Himmel. Die geringeren Schwankungen der äußeren Oberflächentemperaturen und der UV-Schutz erhöhen die Lebenserwartung der Fassade.

*Die größte Kühlleistung hat Außenbegrünung an einem heißen, sonnigen Tag bei viel zugeführten Wasser. Die Außenluft wird gekühlt und die Außenbauteile beschattet. Für den Innenraum sind die Auswirkungen sehr gering.*

Im Innenraum wirkt sich die Außenbeschattung und Evapotranspiration im Außenbereich wesentlich geringer aus. Die Raumbeschaffenheit und der Wärmeeintrag durch nicht opake Flächen beeinflusst die Innenlufttemperatur wesentlich stärker [6] [7]. Im Zuge des Projektes GrünPlusSchule@Ballungszentrum wurden die Oberflächentemperaturen im Innenraum hinter Fassadenbegrünung und hinter einer nicht begrünten Wand gemessen. Das Resultat ist, dass es geringen Unterschied gibt. Im Mittel ist an heißen sonnigen Tagen die innere Oberflächentemperatur hinter einer begrünten Fassade um ca. 0,2 kühler als hinter einer nicht begrünten Fassade. Die Auswirkungen auf die Raumluft sind, je nach Raumgröße, Form und Beschaffenheit jedenfalls sehr klein und gegenüber anderen Einflüssen (z. B. Außenverschattung von Fenstern oder Nachtlüftung) vernachlässigbar.

Innenraumbegrünung reduziert die Lufttemperatur an heißen Tagen, erhöht aber gleichzeitig die Luftfeuchtigkeit. Die gefühlte Temperatur ist im Mittel unverändert.

*Innenraumbegrünung wirkt sich auf die gefühlte Innenraumtemperatur nicht aus.*

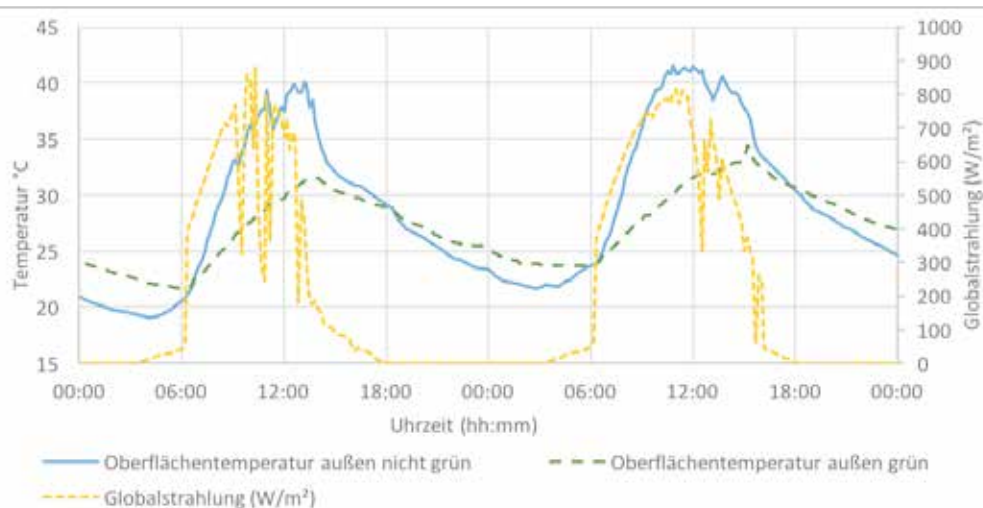


Abb. 57: Oberflächentemperatur der Fassade außen. Ohne Begrünung und mit Begrünung mittels Kassettensystem.

## 4.7 Wechselwirkungen von Photovoltaik und Begrünung

### Beschreibung der Methode und der Untersuchungsobjekte:

Der Aufbau des Gründaches und der Fassadenbegrünung in Kombination mit Photovoltaikmodulen wird bei der Begrünungsvariante 11 näher beschrieben.

Im Substrat der Dachfläche wurden sowohl unter den PV-Paneelen sowie im freien Substrat Bodenfeuchte- und Bodentemperatursensoren angebracht, um die Auswirkungen der horizontalen Photovoltaikmodule auf das Gründach festzustellen.

Zur Evaluierung der Temperaturverhältnisse zwischen PV- und Grünfassade wurden Temperatursensoren an der Rückseite der vertikalen PV-Module angebracht.



Abb. 58: Vegetation auf der freien Dachfläche (links) und unter den PV-Modulen (rechts) während einer Hitzeperiode.

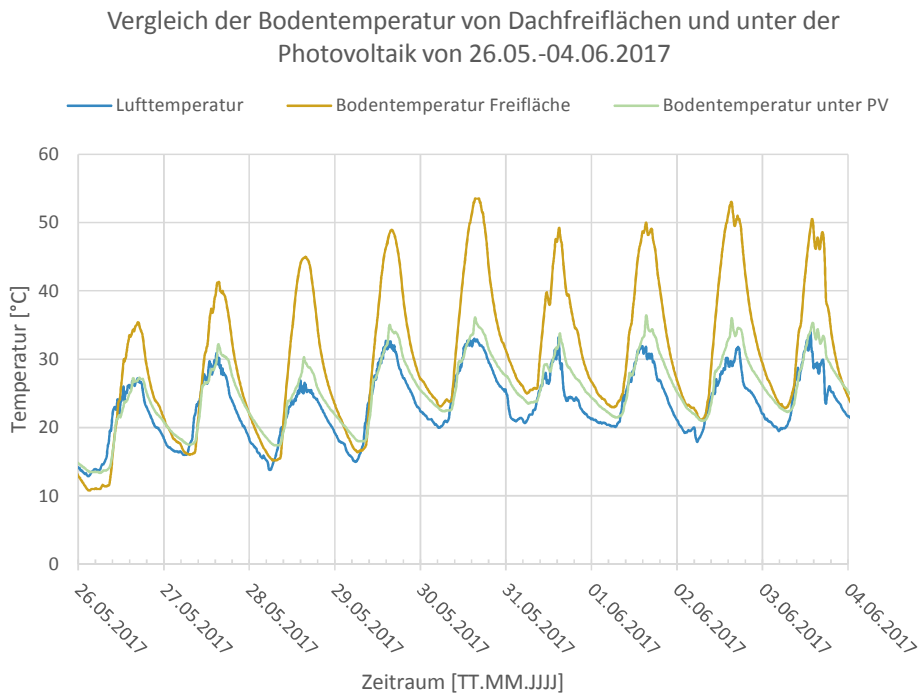


Abb. 59: Temperaturen im Substrat während einer Hitzeperiode auf der freien Dachfläche und unter den Photovoltaikpaneelen an der Drainageebene.

## Wechselwirkungen von Photovoltaik und Begrünung

### Ergebnisse:

Wie man in der beispielhaft herausgegriffenen Abbildung einer Hitzeperiode Abb. 59 erkennen kann sind die Bodentemperaturen im Substrat unter den PV-Modulen deutlich geringer. Bei einer Lufttemperatur von +32 °C am 30.05.2017 liegen die Temperaturen im Substrat der Freifläche bei +53 °C und unter der PV bei +36, 1 °C. Die niedrigeren Bodentemperaturen bewirken auch, dass das Substrat unter der Beschattung weniger schnell austrocknet und sich die Vegetation dort länger halten kann.

*Temperaturschwankungen werden durch die PV-Überdachung abgepuffert.*

Generell kann man sagen, dass die Photovoltaik-Lage als eine Art Puffer wirkt, es dauert länger bis sich das Substrat darunter aufheizt oder abkühlt.

An der Fassade sieht man in Abb. 60 dass sich sowohl die Begrünung, als auch der Abstand der Begrünung zum Photovoltaikmodul auf die Modultemperatur auswirkt: Beim Referenzmodul ohne Begrünung waren die Temperaturen immer am höchsten. Ein größerer Abstand (44 cm) bringt einen besseren Kühleffekt als der geringere Abstand von 25 cm, da die Luft besser zirkulieren kann.

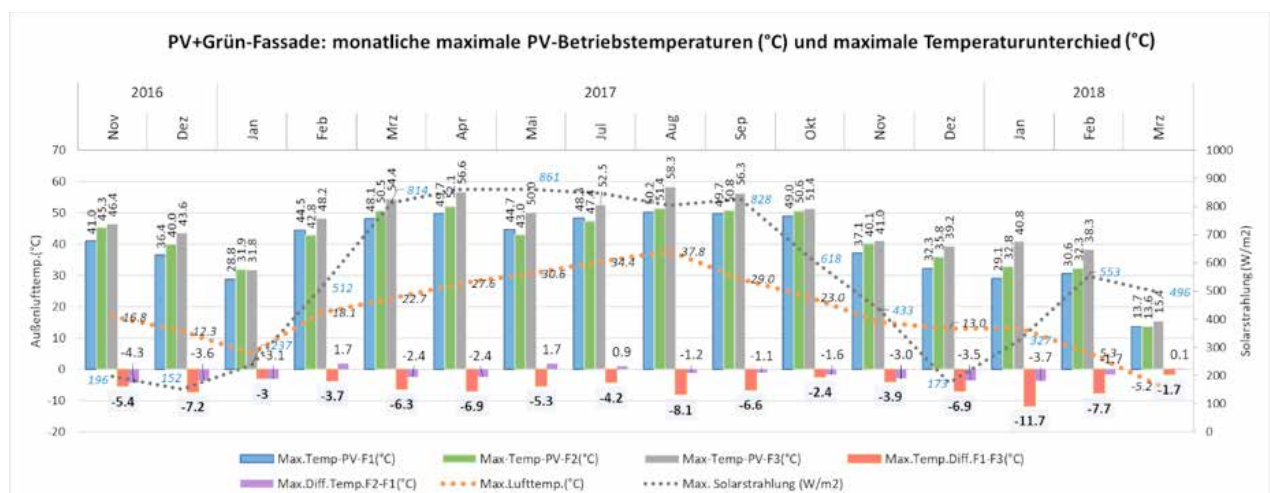


Abb. 60: Oberflächentemperaturen und Temperaturunterschiede an der Fassade (blau: Temperatur des PV-Moduls mit 25 cm Abstand zur Begrünung, grün: Temp. des PV-Moduls mit 44 cm Abstand zur Begrünung, grau: Temp. des PV-Moduls ohne Begrünung).

## 5. Einbindung in den Unterricht /Wissensvermittlung an die Schülerinnen und Schüler

Ein Ziel des Forschungsvorhabens war die Wissensvermittlung nach außen.

Durch **aktive Mitarbeit der Schule** (SchülerInnen, Lehrkörper, Direktion) wurde in den Unterrichtseinheiten der unterschiedlichen Fächer ein Gefühl für Themen wie Energieeffizienz, Umweltschutz, erneuerbare Energie etc. vermittelt (**Bewusstseinsbildung**).

Gerade im laufenden Schulbetrieb hat sich gezeigt, dass hierdurch eine hohe **Akzeptanz für die Begrünungsmaßnahmen** geschaffen wurde, und so auch etwaige **Schäden durch Vandalismus vermieden** werden konnten.



Abb. 61: Schüler und Schülerinnen im begrünten Klassenraum.

Durch die laufende Präsenz des Forschungsteams im Schulgebäude sowie eine direkte, unmittelbare Kommunikation zu Direktion und Lehrkörper konnten auch Entscheidungen schnell und unbürokratisch herbeigeführt werden, und erforderliche Informationen auf kurzem Wege ausgetauscht werden.

Das aktive Mitarbeiten der SchülerInnen etwa bei der Herstellung der Innenraumbegrünung in Workshopatmosphäre hat einen hohen Lerneffekt und fördert die soziale Kompetenz der Jugendlichen zu einem wichtigen Zeitpunkt ihrer Entwicklung.

Die Einbindung des Wissens zu Gebäudebegrünung und deren Auswirkungen wurde über folgende Kanäle an die Schülerinnen und Schüler weitergegeben:

## Einbindung in den Unterricht /Wissensvermittlung an die Schülerinnen und Schüler

- **Gespräche und Workshops mit den Lehrern und Lehrerinnen und anderem Schulpersonal um Projektinhalte, Erfahrungen mit den Begrünungssystemen und Messergebnisse auszutauschen.**

Am Anfang, in der Mitte und am Ende des Projektes wurden Gesprächsrunden durchgeführt, um Informationen und Erfahrungen auszutauschen.

Wichtig ist, dass jeder weiß was passiert und wer wofür zuständig ist.

- **Einbindung der Thematik im Unterricht in entsprechend passenden Fächern, Arbeiten mit realen Daten der Messungen im Unterricht und in vorwissenschaftlichen Arbeiten.**

In passenden Fächern wie Physik und Chemie können Verknüpfungen der Unterrichtsinhalte zu den Begrünungsmaßnahmen günstig herbeigeführt werden. Im Zuge des Schwerpunktes Stadtökologie wurde beispielsweise die Fauna am Schuldach erforscht, im Physikunterricht wurde die Photovoltaikanlage erklärt und im Informatikunterricht mit Daten der Messkampagnen aus dem Projekt gearbeitet.

Kinder sind neugierig, viele Fragen zu den Begrünungen werden auch außerhalb des Unterrichts gestellt.



Abb. 62: Zeichnungen zum Klimawandel aus dem Bildnerische Erziehungs -Unterricht.



Abb. 63: Im Werkunterricht wurde eine Verkleidung der Wasserrohrleitung für die grüne Wand gehäkelt.

- **Vorstellung des Projektes bei den Berufsinformationstagen und am Tag der offenen Tür**

Für den Tag der offenen Tür wurden vom Projektteam leicht verständliche Präsentationstafeln erstellt, die die Inhalte des Forschungsprojektes vermitteln sollten.

Im Rahmen von Berufsinformationstagen wurde den höheren Klassen die Berufsfelder der im Projekt involvierten Firmen sowie die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen vorgestellt.

## Einbindung in den Unterricht /Wissensvermittlung an die Schülerinnen und Schüler

- **Gemeinsame Bepflanzungsworkshops mit den Schülerinnen und Schülern**

Das Trogsystem wurde in den unteren Reihen von den Schülern und Schülerinnen selbst bepflanzt. Vorbereitend wurde mit den Kindern Lebensraumtypen und Pflanzenarten spielerisch erarbeitet, und die Pflanzen dann unter Anleitung in das System eingebracht.

In einem späteren Workshop wurden aus bestehenden Pflanzen in der Wand Ableger gezogen und anhand dessen die vegetative Vermehrung von Pflanzen erklärt. Die selbst gezogenen Pflanzen konnten dann wieder in die Grünwand eingepflanzt werden. Durch das „selber Hand anlegen“ ist die Bindung zu einer Begrünung hergestellt und man passt darauf auf.

Gut zur Vermehrung geeignete, pflegeleichte Pflanzen sind Grünlilien, Bogenhanf und Efeutute.



Abb. 65: Die Kinder beim Bepflanzen der Grünen Wand im Wahlpflichtfach Biologie.

- **Anzeige der Photovoltaik-Leistung in anschaulicher Darstellung**

Über Bildschirme in Aula und Physiksaal wird die Leistung der Photovoltaik-Anlage an Fassade und Dach angezeigt. Die Darstellung der erzeugten Kilowattstunden wird dabei in Betriebsstunden gängiger Elektrogeräte umgerechnet um einen Bezug herzustellen.



Abb. 66: Anschauliche Darstellung der Photovoltaikleistung auf Bildschirmen in Aula und Physiksaal.

## 6. Auszeichnungen

Aufgrund der guten Zusammenarbeit in den innovativen Forschungsansätzen wurden das Projektteam und die Schuld mit drei Preisen ausgezeichnet:

- Österreichischen Schulpreis (2016)
- Energy Globe (Kategorie Jugend) (2017)
- ÖGUT Umweltpreis (2017)



Abb. 67: Schüler und Schülerinnen, Lehrern und Lehrerinnen und der Direktor des GRG 7 sowie Forscher und Forscherinnen von TU Wien und BOKU Wien und die Firmenpartner bei der stolzen Übernahme des Energy Globe 2017.



## 7. Literaturverzeichnis

### zitierte Quellen:

- [1] S. Rief and J. Mitja, "Luftfeuchtigkeit am Büroarbeitsplatz; Studie zur Bedeutung der Luftfeuchtigkeit im Büro," Arbeitswirtschaft, Fraunhofer-Institut für, 2014.
- [2] O. Gorbachevskaya and S. Herfort, "Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen," 2012.
- [3] T. A. M. Pugh, A. R. MacKenzie, J. D. Whyatt, and C. N. Hewitt, "Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 46, 2012.
- [4] C. Riccabona and T. Bednar, *Baukonstruktionslehre 4*. Vienna, 2013.
- [5] K. Eggenschwiler, "Raumakustik der Klassenzimmer der Rudolf Steiner Schule Zürcher Oberland 2 Wirkung von Lärm und schlechter Akustik in Schulzimmern 3 Anforderungen an die Akustik in Klassenzimmern," pp. 1–10, 1996.
- [6] UdK Berlin, "Absorptionsgrad größer 1 - Blatt 1," p. 5301669, 2005.
- [7] T. Van Renterghem and D. Botteldooren, "Numerical evaluation of sound propagating over green roofs," *J. Sound Vib.*, vol. 317, no. 3–5, pp. 781–799, 2008.
- [8] B. Brettschneider, A. Korjenic, U. Pitha, and M. Lutz, "Greening Aspang - Endbericht," 2017.
- [9] D. Tudiwer, V. Höckner, and A. Korjenic, "Greening Aspang – Hygrothermische Gebäudesimulation," *Bauphysik*, 2018.

### weiterführende Literatur:

#### Publikationen:

- M. S. Penaranda Moren and A. Korjenic, "Hotter and colder – How Do Photovoltaics and Greening Impact Exterior Facade Temperatures: The synergies of a Multifunctional System," *Energy Build.*, vol. 147, pp. 123–141, 2017. D. Tudiwer, A. Korjenic: „The effect of living wall systems on the thermal resistance of the facade, *Energy Build.* 135 (2017) 10–19“.
- M. S. Penaranda Moren and A. Korjenic, "Green buffer space influences on the temperature of photovoltaic modules: Multifunctional system: Building greening and photovoltaic," *Energy Build.*, vol. 146, pp. 364–382, 2017.
- D. Tudiwer, A. Korjenic, „The effect of an indoor living wall system on humidity, mould spores and CO<sub>2</sub>-concentration," *Energy Build.* 146 (2017) 73–86.
- I. Zluwa: Eine Wand im Wandel der Jahreszeiten. *Biotope City Journal* (2018). online unter: <http://www.biotope-city.net>
- I. Zluwa, D. Tudiwer, A. Korjenic, U. Pitha: Vertikale Innenraumbegrünung in Klassenräumen. Ergebnisse zu Systemeignung und Raumklima aus dem Forschungsprojekt GrünPlusSchule@Ballungszentrum. *Gebäude+Grün* (3-2018).

### Masterarbeiten:

E. Abel und B. Kopelent „Handhabung und Eignung von Vertikalbegrünungen im Innen- und Außenraum öffentlicher Gebäude.“ Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, 2018.

J. Hollands, A. Korjenic, and D. Tudiwer, „Diplomarbeit Entwicklung eines Modells zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und energetischen Auswirkungen fassadengebundener Begrünungssysteme,“ TU Wien.

C. Nusser: laufende Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

M. Pamminer, „Entwicklung eines ökologischen Bewertungsmodells für Begrünungssysteme in Kombination mit PV- Modulen unter Betrachtung des gesamten Lebenszyklus,“ Technische Universität Wien, 2016.

F. Stria: laufende Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau.

### Projektarbeiten:

D. Nolz, Korjenic, Azra; Tudiwer, „Projektarbeit – PA Untersuchung des CO<sub>2</sub> – Abfalles in Räumen mit Begrünung sowie in Räumen ohne Begrünung Inhaltsverzeichnis,“ TU Wien, 2016.

A. Berger, A-S. Garschall, S. Stos, J.Sukalia, T. Wulsch, „Grüne Schule.“ Bericht zum Vertiefungsprojekt zur Vegetationstechnik, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, 2017.

### Schulbegrünung allgemein:

K. Katzmann-Meixner, „Therapieraum Garten. Kinder fördern in und mit der Natur. St. Pölten: Umweltschutzverein Bürger und Umwelt, Geschäftsbereich Natur und Garten, 2014.

M. Kumpfmüller und E. Kals: „Wege zur Natur ... im Schulgarten“. Handbuch. Amt der OÖ Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Linz 2010

## 8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Dachbegrünung mit vertikaler und horizontaler Photovoltaik und Innenhof mit verschiedenen Arten der Fassadenbegrünung. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	5
Abb. 2: Direktor Waschulin und Projektleiterin Azra Korjenic sowie einige Schülerinnen und Schüler vor einer Wandbegrünung im Klassenzimmer. (Foto: TU Wien)	6
Abb. 3: Die Projektpartner und involvierte Lehrerinnen nach einem Besichtigungsrundgang in der Schule (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	7
Abb. 4: Bau des Gründaches am Turnsaal des GRG 7 - Ausbringung des Substrates mit dem Silozug (Mai, 2016). (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	8
Abb. 5: Bepflanzung der Außenfassade mit Gerüst. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	8
Abb. 6: Die Bepflanzung der gut zu erreichenden Trogreihen im Biologiesaal erfolgte von den Schülern und Schülerinnen selbst. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	8
Abb. 7: Wandbegrünung im Klassenzimmer (Juli, 2016). (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	11
Abb. 8: Topfpflanzen am Gang. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	12
Abb. 9: Ficus sp. im Chemiesaal. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	12
Abb. 10: Topfpflanzen am Stiegenhausfenster. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	13
Abb. 11: Die Schulwartin beim Gießen der Begrünung im Biologiesaalgang. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	13
Abb. 12: Aluminiumtrogsystem im Biologiesaal. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	14
Abb. 13: Schematische Skizze des Aluminiumtrogsystems im Biologiesaal. (Erstellung: B. Kopelent)	15
Abb. 14: Vliestaschensystem im Klassenraum. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	16
Abb. 15: Schematische Skizze des Vliestaschensystems im Klassenraum. (Erstellung: B. Kopelent)	17
Abb. 16: Vliestaschensystem mit Wassertank und Umlaufpumpe im Eingangsbereich (Foto: E. Abel).	18
Abb. 17: Schematische Skizze eines Elementes des Vliessystems mit Wassertank und Umlaufpumpe. (Erstellung: B. Kopelent)	19
Abb. 18: Reinigung des Wassertanks.(Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	19
Abb. 19: Schüler und Schülerinnen vor der Grünen Wand im Biologiesaal.. (Foto: TU Wien)	20
Abb. 20: ... und vor der Wand im Klassenzimmer. (Foto: TU Wien)	20
Abb. 21: unterschiedliche Fassadenbegrünungssysteme im Innenhof. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	21
Abb. 22: Pflanzbeete im Innenhof aus der Luftperspektive. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	22
Abb. 23: Pflanzbeete im Innenhof mit integrierter Sitzbank und Ballfangnetz. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	23
Abb. 24: Schematische Skizze des Pflanzbeetes mit Klettergerüst im Innenhof. (Erstellung: B. Kopelent)	24
Abb. 25: Pflanzbeete mit Klettergerüst im Innenhof (Herbstaspekt). (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	25
Abb. 26: Pflanztröge auf der Mauerkrone mit Zaun als Klettergerüst. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	26
Abb. 27: Schematische Skizze eines Pflanztroges. (Erstellung: B. Kopelent)	27
Abb. 28: Vorsicht bei Fassaden mit Schindeldeckung und Kletterpflanzen! (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	27
Abb. 29: wandgebundenes Trogsystem im Innenhof. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	28

Abb. 30: Pflege der Grünfassade mit dem Hubsteiger. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	29
Abb. 31: Im Grg 7 hat der Turnlehrer das Umstellen der Zeitschaltuhren übernommen. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	29
Abb. 32: Schematische Skizze des wandgebundenen Trogsystems. (Erstellung: B. Kopelent)	30
Abb. 33: Schematische Skizze eines Troges des wandgebundenen Systems. (Erstellung: B. Kopelent)	30
Abb. 34: Buntblühende Trogreihen im Frühling und Sommer. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	30
Abb. 35: Rotgefärbte Bergenienblätter im Herbst ... (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	31
Abb. 36: ... und auch der Winteraspekt ist nicht zu vernachlässigen. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	31
Abb. 37: wandgebundenes Kassettensystem im Innenhof. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	32
Abb. 38: Schematische Skizze eines Elementes des wandgebundenen Kassettensystems im Innenhof. (Erstellung: B. Kopelent)	32
Abb. 39: wandgebundenes Kassettensystem im Innenhof im Detail. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	33
Abb. 40: Screenshot der Bewässerungsapp.	33
Abb. 42: Pannonisches Trockenrasendach mit Strukturbildnern. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	34
Abb. 41: Schematische Skizze des Gründachaufbaues am GRG 7. (Erstellung: C. Nusser)	34
Abb. 43: Die vier Jahreszeiten auf dem Turnsaaldach des GRG 7. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	35
Abb. 44: Kiesdach vor der Begrünung (ganzjährig grau). (Foto: TU Wien)	35
Abb. 45: Dach- und Fassadenbegrünung in Kombination mit Photovoltaikpaneelen auf dem Schuldach. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	36
Abb. 47: Kombination von Grünfassade und transluzentem Photovoltaikmodul. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	37
Abb. 46: PV-Module unbedingt vor Verschattung freihalten! (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB)	37
Abb. 48: (rechte Seite) Übersicht der verschiedenen Komponenten von Begrünungssystemen und deren Bedienbarkeit/ Komplexitätsgrad. (Erstellung: Irene Zluwa)	38
Abb. 49: Techniker der TU-Wien beim Vorbereiten des Raumes mit dem Blower Door Test für die Ermittlung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes in der Raumluft. (Foto: TU Wien)	41
Abb. 50: Schematische Darstellung des Messaufbaus. (D. Tudiwer, TU)	42
Abb. 51: U-Werte an der Fassade des Grg 7 mit und ohne Begrünung (Erstellung: D. Tudiwer, TU)	43
Abb. 52: Hygrothermische Behaglichkeit zwischen 1. Oktober und 31. März, begrünte Klasse links, Referenzklasse rechts. (Erstellung: D. Tudiwer, TU)	44
Abb. 53: : Häufigkeiten der unterschiedlichen Behaglichkeitsstufen im nicht begrünten Klassenraum (links) und im begrünten Klassenraum (rechts), zwischen 1. Oktober und 31. März in den Jahren 2016, 2017 und 2018. (Erstellung: D. Tudiwer, TU)	44
Abb. 55: : Schallabsorptionsgrade der Grünen Wände, berechnet auf Basis der Nachhallzeitmessungen. (Erstellung: D. Tudiwer, TU)	46
Abb. 56: : Konzentration der unterschiedlichen Feinstaubgrößen im begrünten und im nicht begrünten Klassenraum. Mittelwerte der Messwerte ab dem Jahr 2016. „Außen Grün“ bezeichnet dabei die Feinstaubkonzentration der Außenluft während der Messungen in der begrünten Klasse. „Außen nicht grün“ bezeichnet die Feinstaubkonzentration der Außenluft während der Messungen in der nicht begrünten Klasse. (Erstellung: D. Tudiwer, TU)	47
Abb. 57: Oberflächentemperatur der Fassade außen. Ohne Begrünung und mit Begrünung mittels Trogsystem. (Erstellung: D. Tudiwer, TU)	48

- Abb. 58: Oberflächentemperatur der Fassade außen. Ohne Begrünung und mit Begrünung mittels Kassetensystem. (Erstellung: D. Tudiwer, TU) 49
- Abb. 59: Vegetation auf der freien Dachfläche (links) und unter den PV-Modulen (rechts) während einer Hitzeperiode. (Fotos: F. Stria) 50
- Abb. 60: Temperaturen im Substrat während einer Hitzeperiode auf der freien Dachfläche und unter den Photovoltaikpaneelen an der Drainageebene. (Erstellung: F. Stria) 50
- Abb. 61: Oberflächentemperaturen und Temperaturunterschiede an der Fassade (blau: Temperatur des PV-Moduls mit 25 cm Abstand zur Begrünung, grün: Temp. des PV-Moduls mit 44 cm Abstand zur Begrünung, grau: Temp. des PV-Moduls ohne Begrünung). (Erstellung: M. S. Penaranda Moren) 51
- Abb. 62: Schüler und Schülerinnen im begrünten Klassenraum. (Foto: TU-Wien) 52
- Abb. 63: Zeichnungen zum Klimawandel aus den Bildnerische Erziehungs -Unterricht. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB) 53
- Abb. 64: Im Werkunterricht wurde eine Verkleidung der Wasserrohrleitung für die grüne Wand gehäkelt. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB) 53
- Abb. 66: Die Kinder beim Bepflanzen der Grünen Wand im Wahlpflichtfach Biologie. (Foto: Karola Gump) 54
- Abb. 67: Anschauliche Darstellung der Photovoltaikleistung auf Bildschirmen in Aula und Physiksaal. (Foto: Irene Zluwa, BOKU IBLB) 54
- Abb. 68: Schüler und Schülerinnen, Lehrern und Lehrerinnen und der Direktor des GRG 7 sowie Forscher und Forscherinnen von TU und BOKU und die Firmenpartner bei der stolzen Übernahme des Energy Globe 2017. (Foto: Energy Globe) 55

