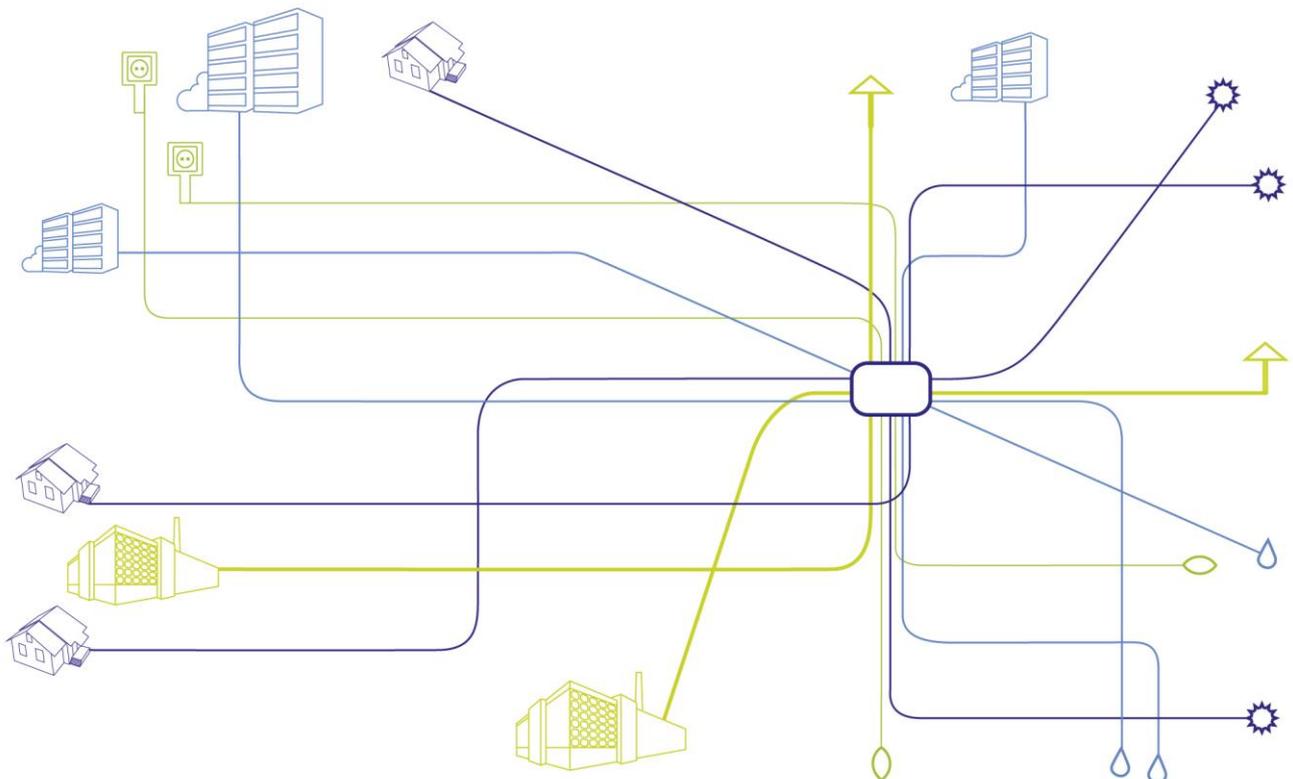




## GRÜNE ZukunftSCHULEN

Grüne Schuloasen im Neubau. Fokus  
Planungsprozess und Bestandsgebäude



## VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at) zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „**Smart Cities Demo - 8. Ausschreibung**“. Mit diesem Förderprogramm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, große Demonstrations- und Pilotprojekte zu initiieren, in denen bestehende bzw. bereits weitgehend ausgereifte Technologien und Systeme zu innovativen interagierenden Gesamtsystemen integriert werden.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!



Theresia Vogel  
Geschäftsführerin, Klima- und  
Energiefonds



Ingmar Höbarth  
Geschäftsführer, Klima- und  
Energiefonds

## PUBLIZIERBARER ENDBERICHT

### A. Projektdetails

<b>Kurztitel:</b>	GRÜNEzukunftSCHULEN
<b>Langtitel:</b>	Grüne Schuloasen im Neubau. Fokus Planungsprozess und Bestandsgebäude
<b>Programm:</b>	Smart Cities Demo - 8. Ausschreibung
<b>Dauer:</b>	01.03.2017 bis 29.02.2020
<b>KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:</b>	TU Wien - Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien
<b>Kontaktperson - Name:</b>	Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Azra Korjenic
<b>Kontaktperson – Adresse:</b>	Karlsplatz 13/E207-03, 1040 Wien, Österreich
<b>Kontaktperson – Telefon:</b>	+43 1 58801 - 207301
<b>Kontaktperson – E-Mail:</b>	azra.korjenic@tuwien.ac.at
<b>Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):</b>	B-NK GmbH Büro für nachhaltige Kompetenz (Wien) Dipl.-Ing. Ralf Dopheide e.U. (Wien und Niederösterreich) Universität für Bodenkultur Wien, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (Wien)
<b>Projektwebsite:</b>	<a href="http://www.grueneschulen.at/">http://www.grueneschulen.at/</a>
<b>Schlagwörter (im Projekt bearbeitete Themen-/Technologiebereiche)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Gebäude <input type="checkbox"/> Energienetze <input type="checkbox"/> andere kommunale Ver- und Entsorgungssysteme <input type="checkbox"/> Mobilität <input checked="" type="checkbox"/> Kommunikation und Information
<b>Projektgesamtkosten genehmigt:</b>	938.540 €
<b>Fördersumme genehmigt:</b>	563.122 €
<b>Klimafonds-Nr.:</b>	KR16SC0F13247
<b>Erstellt am:</b>	31.03.2020

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

## B. Projektbeschreibung

### B.1 Kurzfassung

<b>Ausgangssituation / Motivation:</b>	<p>Klimawandel, zunehmende Verstädterung und Nachverdichtungen im innerstädtischen Raum erfordern neue Wege und Lösungsansätze zur Steigerung der Lebensqualität und des Wohnkomforts, aber auch der Aufenthaltsqualität in Schulgebäuden, wo Kinder und Jugendliche den Großteil ihrer Tage verbringen. Der Gestaltung dieser Bereiche wird in der Regel nur eine geringe Bedeutung beigemessen, Schulfreiräume werden den gestiegenen Anforderungen im Schulalltag oftmals nicht gerecht. Dabei sind qualitätsvolle Lernräume und das Wohlfühlen in schulischen Innen- und Außenräumen Grundlage für gutes Lernen. Das Projekt „GRÜNEzukunftSCHULEN“ setzt genau bei diesem Problem an und will Begrünungsansätze aufzeigen, die zu einer besseren Aufenthalts- und Lernqualität in unseren Schulen führen. Konkret wurde das an drei Untersuchungsstandorten in Wien untersucht: Am BRG 16 am Schuhmeierplatz in Ottakring, am BRG 15- Diefenbach Gymnasium im 15. Bezirk und am Konrad Lorenz Gymnasium BRG in Gänserndorf.</p>
<b>Bearbeitete Themen-/ Technologiebereiche:</b>	<p>Gebäude, Kommunikation und Information</p>
<b>Inhalte und Zielsetzungen:</b>	<p>Im Rahmen dieses F&amp;E-Projekts wurden vertikale Begrünungsmaßnahmen im Innen- und Außenraum in zwei Schulgebäuden in Wien umgesetzt. Die beiden Schulgebäude unterscheiden sich durch das Vorhandensein einer Lüftungsanlage bzw. durch natürliche Belüftung. Umfangreiche bauphysikalische und mikroklimatische Messungen wurden durchgeführt und Untersuchungen bzgl. der Vegetationstechnik, der Grünpflege und Wartung der Systeme sowie bzgl. der Auswirkungen auf das Mikroklima erfolgten. Außerdem wurde die Integration der Begrünungen in den Schulalltag durch das Projektkonsortium begleitet und verschiedene Veranstaltungen, Workshops etc. abgehalten. Darüber hinaus wurde der Planungsprozess eines Schulneubaus begleitet, um das Potential bei einer Einbindung der Begrünungsmaßnahmen bereits in frühen Planungsphasen zu erheben.</p>
<b>Methodische Vorgehensweise:</b>	<p>Aufgrund der breitgefächerten Expertise des Projektkonsortiums war auch die methodische Vorgehensweise sehr umfassend.</p> <p>Es wurden zahlreiche bauphysikalische und mikroklimatische Insitu-Messungen, deren Auswertungen sowie auch Simulationen durchgeführt. Das vegetationstechnische Monitoring erfolgte ebenso direkt in den Schulen sowie im Rahmen von Laborversuchen und zugehörigen Analysen. Die Planung, Installation sowie die Grünpflege und Wartung erforderten Methoden der Bautechnik sowie des Garten- und Landschaftsbaus. Durch Workshops, Gespräche, Interviews und Befragungen konnten die sozialen Wirkungen der Begrünungsmaßnahmen erhoben werden.</p>

<p><b>Ergebnisse und Schlussfolgerungen:</b></p>	<p>Neben der Umsetzung und Evaluierung von Begrünungen im Schulneubau wurden die Erkenntnisse aus dem F&amp;E-Projekt in Form eines Leitfadens gebündelt. Dieser enthält Informationen zu grüner Architektur im Schulbau, aber auch zur Planungs- und Bauphase, Sanierung, Errichtung, Pflege und langfristigen Betreuung (auch unter Berücksichtigung der Schulferien) von Begrünungselementen an und in Gebäuden und im Schulfreiraum. Der Leitfaden richtet sich an Schulen in ganz Österreich. Zusätzliche Unterrichtsmaterialien und Lessons learnt aus den sozialen Prozessen stehen auch weiteren interessierten Schulen zur Verfügung. Interaktive Austauschformate mit anderen interessierten Schulen, dem Schulumfeld, Verwaltungen und weiteren Stakeholdern runden das Projekt ab.</p> <p>Detaillierte Auswertungen und Beschreibungen zu den erhobenen bauphysikalischen Messdaten sowie die vegetationstechnischen und mikroklimatischen Analysen finden sich in diesem Bericht.</p>
<p><b>Ausblick:</b></p>	<p>Anknüpfend an dieses Projekt startete bereits im März 2020 das ebenso durch den Klima- und Energiefonds geförderte Projekt „<u>MehrGrüneSchulen</u>“, welches unter der Leitung der TU Wien und erneuter Beteiligung des Projektkonsortiums von GRÜNEzukunftSCHULEN an den gewonnenen Erkenntnissen anknüpfen kann. Ziel ist durch das Entwickeln von Finanzierungsmodellen für grüne Infrastruktur an Schulen ein Ausrollen von Begrünungen in und an Schulen vorzubereiten. Hierzu werden außerdem bestehende Begrünungssysteme weiter für den Anwendungsfall Schule optimiert und weitere Do-it-yourself-Begrünungen im Low Cost-Bereich entwickelt und umgesetzt.</p>

## B.2 English Abstract

<b>Initial situation / motivation:</b>	<p>Climate change, increasing urbanisation and densification in inner-city areas require new ways and solutions to improve the quality of life and living comfort, but also the quality of staying in school buildings where children and young people spend most of their days. The design of these areas is usually only of minor importance, and open school spaces often do not meet the increased requirements of everyday school life. Quality learning spaces and the feeling of well-being in indoor and outdoor school spaces are the basis for good education. The project "GRÜNEzukunftSCHULEN" (Green Future Schools) addresses precisely this problem and aims to identify greening approaches that lead to a better quality of staying and learning in our schools. In concrete terms, this was examined at three study sites in Vienna: At BRG 16 at Schuhmeierplatz in Ottakring, at BRG 15 Diefenbach Gymnasium in the 15th district and at Konrad Lorenz Gymnasium BRG in Gänserndorf.</p>
<b>Thematic content / technology areas covered:</b>	<p>Buildings, Communication and information</p>
<b>Contents and objectives:</b>	<p>Within the scope of this R&amp;D project, vertical greening measures were implemented in the interior and exterior of two school buildings in Vienna. The two school buildings differ in the presence of a ventilation system and natural ventilation respectively. Extensive building physics and microclimatic measurements were carried out and investigations were conducted with regard to the vegetation technology, maintenance of the greenery and systems as well as the effects on the microclimate. In addition, the project consortium accompanied the integration of the greenery into everyday school life and held various events, workshops, etc. Furthermore, the planning process of a new school building was accompanied in order to assess the potential of integrating the greening measures already in early planning phases.</p>
<b>Methods:</b>	<p>Thanks to the project consortium's wide-ranging expertise, the methodological approach was also very diverse.</p> <p>Numerous building physics and microclimatic in-situ measurements, their evaluation as well as simulations were carried out. The vegetation monitoring was also performed directly in the schools as well as in the context of laboratory tests and related analyses. The planning, installation as well as the maintenance and care of the greenery required methods of construction engineering as well as gardening and landscaping. The social effects of the greening measures could be ascertained through workshops, discussions, interviews and surveys.</p>
<b>Results:</b>	<p>In addition to the implementation and evaluation of greenery in new school buildings, the findings from the R&amp;D project were bundled in the form of a guideline. This contains information on green architecture in school construction, but also on the planning and construction phase, renovation, construction,</p>

	<p>maintenance and long-term care (also taking into account school holidays) of greenery elements on and in buildings and in school open spaces. The guide is aimed at schools throughout Austria. Additional teaching materials and lessons learned from the social processes are also available to other interested schools. Interactive exchange formats with other interested schools, the school environment, administrations and other stakeholders complete the project.</p> <p>Detailed evaluations and descriptions of the collected building physics measurement data as well as the vegetation and microclimatic analyses can be found in this report.</p>
<p><b>Outlook / suggestions for future research:</b></p>	<p>Continuing this project, the project "MehrGrüneSchulen" (More Green Schools), which is also supported by the Klima- und Energiefonds, was launched in March 2020. Under the leadership of the Vienna University of Technology and with the renewed participation of the project consortium of GREEN FUTURE SCHOOLS, it can build on the knowledge gained. The aim is to prepare the roll-out of greenery in and at schools by developing financing models for green infrastructure at schools. To this end, existing greening systems will be further optimised for school use and further do-it-yourself greening systems in the low-cost sector will be developed and implemented.</p>

## Inhalt

1	Ausgangslage, Stand der Technik und Motivation sowie Zielsetzung für das Projekt .....	9
1.1	Aufgabenstellung .....	9
1.2	Begrünungsmaßnahmen .....	10
1.2.1	Trogsystem .....	11
1.2.2	Vliessystem .....	13
1.2.3	Kassettensystem .....	14
1.2.4	Low Cost Maßnahmen .....	15
1.2.5	Bewässerung .....	17
1.2.6	Eingesetzte Pflanzen .....	17
1.2.7	Substrate .....	20
1.2.8	Bauliche Umsetzung .....	20
1.3	Untersuchte Räume und Begrünungsflächen .....	21
1.4	Durchführung von Pflege und Wartung .....	26
1.5	Integration in den Schulalltag der beiden Schulen .....	27
1.6	Integration ins Schulumfeld .....	27
1.7	Schule in der Planungsphase (Pilotschule) .....	28
1.8	Ökologische Materialien .....	28
2	Methoden .....	30
2.1	Bauphysikalische und mikroklimatische Methoden .....	30
2.1.1	Methode zur Ermittlung der thermischen Dämmeigenschaften von fassadengebundener Begrünung im gedämmten Neubau .....	30
2.1.2	Methode zur Ermittlung der akustischen Auswirkungen von Gebäudebegrünung .....	33
2.1.3	Methode zur Ermittlung hygrothermischer Parameter .....	35
2.1.4	Methode zur Ermittlung der Schimmelsporenbelastung aufgrund von Innenraumbegrünung .....	36
2.1.5	Methode zur Untersuchung der Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf die CO <sub>2</sub> -Konzentration .....	38
2.1.6	Methode zur Berechnung des Mikroklimas .....	39
2.1.7	Methode zur Formel für die Berechnung der Evapotranspiration .....	39
2.1.8	Methode der messbaren und visuellen vegetationstechnischen Parameter .....	40
2.2	Methode zur Untersuchung der Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf die Staubkonzentration .....	43
2.2.1	Staubmessgeräte .....	43
2.2.2	Messungen .....	44
2.2.3	Referenzmessstellen für die Qualitätskontrolle: .....	46
2.3	Sozialwissenschaftliche Methoden .....	46
3	Ergebnisse .....	48
3.1	Bauphysikalische und mikroklimatische Ergebnisse .....	48
3.1.1	Thermische Dämmung von Fassadenbegrünung im Winter .....	48
3.1.2	Akustische Auswirkungen von Gebäudebegrünung .....	55
3.1.3	Ergebnisse hygrothermische Parameter .....	58
3.1.4	Schimmelsporenbelastung aufgrund von Innenraumbegrünung im Schulneubau .....	63
3.1.5	Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf die CO <sub>2</sub> -Konzentration .....	65
3.1.6	Kühlleistung von Fassadenbegrünung (Mikroklima) .....	68
3.1.7	Formel zur Berechnung der Evapotranspiration .....	71
3.2	Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf die Staubkonzentration .....	73
3.2.1	Feinstaub (Durchschnittskonzentrationen) .....	73
3.2.2	Feinstaub (Verhältnis der Konzentrationen) .....	75
3.2.3	Verhältnis begrünter Raum zur Referenzklasse .....	78

3.2.4	Verhältnis Begrünte Klasse zur Referenz .....	79
3.2.5	Partikelgrößenverteilung.....	81
3.2.6	Rußpartikel Verhältnis der Konzentrationen Innen und Außen .....	83
3.3	Vegetationsstechnische Ergebnisse .....	85
3.3.1	Auswertung der messbaren und visuellen vegetationstechnischen Parameter – BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).....	85
3.3.2	Auswertung der messbaren und visuellen vegetationstechnischen Parameter – BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	97
3.3.3	Grünpflege .....	108
3.3.4	Technische Wartung und Instandhaltung.....	109
3.3.5	Strom- Wasserverbrauch.....	110
3.3.6	Wasseruntersuchungen.....	111
3.4	Sozialwissenschaftliche Ergebnisse .....	112
3.4.1	Wohlbefinden und Akzeptanz aus Sicht der SchülerInnen und Lehrkräfte .....	112
3.4.2	Fragen & Antworten .....	115
3.5	Prozessergebnisse .....	116
3.5.1	Integration in den Schulalltag.....	116
3.5.2	Wissensvermittlung an die Schüler und Schülerinnen: Unterrichtsmaterialien.....	119
3.5.3	Pflege und Wartung, Verantwortungsmatrix .....	121
3.5.4	Übergabe an die Schulen am Projektende .....	122
3.6	Dissemination und Veröffentlichungen .....	123
3.6.1	Wissenschaftliche Community .....	123
3.6.2	Studentische Arbeiten im Zuge des Projektes .....	124
3.6.3	Stakeholder Dialoge/Events/Workshops.....	125
3.6.4	Allgemeine Öffentlichkeit .....	125
3.6.5	Zusätzliche Führungen durch die Schule .....	126
4	Erreichung der Programmziele .....	126
5	Schlussfolgerungen und Diskussion .....	128
6	Ausblick und Empfehlungen.....	131
	Leitfaden – Grüne Architektur im Schulbau .....	143
	Fragen & Antworten – Argumente rund um Grüne Schulen in Österreich.....	143
	Unterrichtsmaterialien zu den grünen Wänden in Schulen.....	143
	Grundlagen zu Grünpflege & Wartung von Vertikalbegrünungen an Schulen .....	143
	Grüne Selbstbauwand – Do-it-yourself Anleitung .....	143
	Soziale Wirkungen von Begrünungen an Schulen. Vergleichende Ergebnisse von drei Online-Befragungen .....	143

## B.3 Einleitung

### 1 Einleitung

Die zunehmende Urbanisierung und Nachverdichtungen im innerstädtischen Raum gehen mit einem Verlust von Grünflächen einher. Neben dem Klimawandel und dem steigenden Urban Heat Island-Effekt erfordern diese Veränderungen neue Wege und Lösungsansätze zur Steigerung der Lebensqualität und des Wohnkomforts in städtischen Strukturen. Abgesehen von den zumeist eingeschränkten Aktionsräumen von Kindern und Jugendlichen im direkten Wohnumfeld verbringen viele Schüler/innen zunehmend mehr Zeit in der Schule. Insbesondere in Schulen als Orte des Lernens für Kinder und Jugendliche, die sich noch in der Entwicklung befinden, sind eine gute Raumluftqualität und eine qualitätsvolle Lern- und Lehrumgebung wichtig. Grüne Infrastruktur kann einen wichtigen Beitrag hierzu leisten.

Daher wurden im Projekt „GRÜNEzukunftSCHULEN“ an zwei Wiener Schulen, dem BG, BRG Wien 15, Diefenbachgasse 19 im 15. Wiener Gemeindebezirk und dem BRG Wien 16, Schuhmeierplatz 7 im 16. Wiener Gemeindebezirk, im Innenraum, an den Außenfassaden sowie im Außenraum verschiedene Begrünungssysteme angebracht.

Ziel des Projektes war es die unterschiedlichen Begrünungssysteme in verschiedenen baulichen Gegebenheiten zu testen, die gemessenen Ergebnisse miteinander zu vergleichen, die positiven Auswirkungen von Pflanzen auf die in der Schule tätigen Personen zu erforschen und die grünen Wände nachhaltig in die Schulkultur zu integrieren. Dazu wurden Messungen durchgeführt, um die Auswirkungen der Begrünungen auf das hygrothermische Raumklima, die Schimmelsporenkonzentration, die Raumakustik, die CO<sub>2</sub>-, die Staubkonzentration sowie die thermische Dämmung zu erfassen und zwischen Neubaugebäuden, ohne bzw. mit Lüftungsanlage und Altbaugebäude zu vergleichen. Somit knüpft das Projekt direkt an die Projektergebnisse aus dem Projekt GrünPlusSchule an. Außerdem erfolgten Berechnungen zu den Auswirkungen der Begrünungssysteme auf das Mikroklima im Außenraum. In diesem Zusammenhang wurden Laboruntersuchungen durchgeführt, anhand derer die Evapotranspiration, die Kühlung durch Verdunstung ausgewählter Pflanzen unter bestimmten Bedingungen erhoben wurde. Zur Erhebung der sozialwissenschaftlichen Auswirkungen der Begrünung in den Schulklassen und Schulfreiräumen wurden Workshops und Interviews durchgeführt. Darüber hinaus hielt das Projektteam viele Unterrichtseinheiten ab und erstellte daran anknüpfend praxisorientierte Unterrichtsunterlagen für Lehrer/innen. Regelmäßig erfolgte die Teilnahme an Planungssitzungen zum Erweiterungsbau einer Schule, um die notwendigen Planungsschritte für Begrünung zu diskutieren und bereits in frühen Planungsphase zu integrieren.

Aufbauend auf diesem Projekt GRÜNEzukunftSCHULEN startete im März 2020 das Projekt MehrGrüneSchulen, das auf den Erkenntnissen der Projekte GrünPlusSchule und GRÜNEzukunftSCHULEN anknüpft und sich mit der Entwicklung von Finanzierungsmodellen als Grundlage für Ausrollen von grüner Infrastruktur in und an Schulen beschäftigt.

## B.4 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

# 2 Ausgangslage, Stand der Technik und Motivation sowie Zielsetzung für das Projekt

## 2.1 Aufgabenstellung

Das vorliegende Projekt erforschte technische Begrünungssysteme im Innenraum und an der Außenfassade an neugebauten Schulzubauten, um die Auswirkungen auf Mikroklima, Innenraumklima, Bauteile, die soziale Nachhaltigkeit im Schulalltag, sowie die Wartungs- und Planungsmethoden zu untersuchen.

Die grüne Infrastruktur musste so geplant werden, dass zum einen die technischen Parameter untersucht werden konnten und die Wartung vereinfacht wurde. Dabei konnte auf Erkenntnisse aus dem Vorprojekt GrünPlusSchule [1] zurückgegriffen werden. In diesem Vorprojekt wurde die Wartung dokumentiert, ein Leitfaden für die Pflanzenpflege [2] erstellt aber keine soziale Nachhaltigkeit im Schulalltag untersucht. Neu im vorliegenden Projekt ist die intensive soziale Prozessbegleitung, die die Schule auf eine optimale Aufteilung der Arbeitsschritte sowie die Integration der Begrünungen in die Schulkultur vorbereitet hat.

Zusätzlich zu den Untersuchungen der Begrünungssysteme in den Pilotschulen wurde im Projekt „GRÜNEzukunftSCHULEN“ der Planungsprozess für einen neuen Zubau für das Gänserndorfer Gymnasium begleitet. Ziel war es zu erheben, wie Begrünungen von Beginn an in der Planung mitgedacht und in die konkrete Bauphase/Gewährleistungsphase (Rohbau, Innenausbau) eingebracht werden können. Im vorliegenden Projekt wurde untersucht, wie Grünelemente, insbesondere Grünwände, intensiv begrünte Dachgärten, Hochbeete in einen Planungsprozess (Vorentwurf-, Entwurfs- Planungsphase) und in die konkrete Bauphase/Gewährleistungsphase (Rohbau, Innenausbau) eingebracht werden können. Außerdem wurden die Untersuchungen von Gebäudebegrünung in Schulgebäuden vertieft und ausgebaut. Erstmals wurde einem wissenschaftlichen Projektkonsortium die Aufgabe betrachtet, Gebäudebegrünung bereits im Planungsprozess eines Gebäudes zu integrieren. Diese Ergebnisse wurden in einem erstellten Leitfaden zusammengefasst, der das Einbringen von Grünelementen in den Planungsprozess beschreibt und in Zukunft vereinfachen soll.

Im Rahmen des Projekts wurden außerdem Innen- und Außenraumbegrünung detailliert untersucht. Die Basis hierfür boten die im Rahmen des Projekts installierten Begrünungsmaßnahmen in bzw. an zwei Schulgebäuden in Wien. Dabei war es wichtig, Altbau mit Neubau (sowohl mit als auch ohne Lüftungsanlage) zu vergleichen. Abbildung 1 zeigt die im Nachfolgenden verwendeten Bezeichnungen für die zwei untersuchten Schulen des Projekts, sowie der Altbauschule GRG 7, die im Projekt GrünPlusSchule [1] untersucht wurde und in diesem Projekt zum Vergleich herangezogen wird. Auch Vor- und Nachteile der Begrünung wurden im Projekt ausgearbeitet und untersucht. Die Aufgabenstellung bezüglich der technischen Parameter von Innraumbegrünung war die Untersuchung der Auswirkung von Innraumbegrünung auf die hygrothermische Behaglichkeit, die CO<sub>2</sub>-Konzentration, die Staubkonzentration, die Schimmelsporenkonzentration und die Raumakustik. Dabei gilt ein besonderer Fokus auf der Untersuchung von Evapotranspiration unterschiedlicher Begrünungstypen als Grundlage für die Dimensionierung zukünftiger Innraumbegrünung. Außenraumbegrünung wurde hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Mikroklima und die thermische Dämmung berücksichtigt. Auch mögliche Wärmebrücken aufgrund von Befestigungselementen an der Fassade wurden international zum ersten Mal erforscht und Optimierungen formuliert. Für Innen- und Außenraumbegrünung wurden darüber hinaus auch die Auswirkungen der Begrünungselemente auf die Nachhallzeit untersucht.



Abbildung 1: Übersicht über die untersuchten Schulgebäude und ihre Bezeichnungen

Die Begrünungsprozesse und deren Wartung wurden im Zuge des Projektes aus landschaftsgärtnerischer Sicht begleitet. Hierzu wurden auch Pflege- und Entwicklungspläne für Bauwerksbegrünung sowohl im Innenraum als auch im Außenraum konzipiert. Es entstand eine Verantwortungsmatrix, die darstellt, was in den Verantwortungsbereich von der Schulgemeinschaft fällt und was durch externe Gründienstleistung getan werden soll.

Neben dem Leitfaden gibt es auch ein Dokument, in dem brennende Fragen beantwortet werden (siehe „Fragen & Antworten – Argumente rund um grüne Schulen in Österreich“), in dem die positiven Aspekte von Grün an Schulen in Hinblick auf Wohlbefinden, Konzentrationsfähigkeit und Gesundheitsförderung dargestellt sind. Auch eine umfassende Analyse der Auswirkungen von Begrünung auf SchülerInnen, LehrerInnen und anderes Schulpersonal wurde im Zuge des Projektes bearbeitet.

## 2.2 Begrünungsmaßnahmen

Bei der Auswahl der Begrünungssysteme wurde darauf geachtet, dass eine Vergleichbarkeit zu den bereits bestehenden Begrünungssystemen aus dem Vorprojekt [1] gegeben ist. Sie werden in den Kapiteln 2.2.1 und 2.2.2 kurz beschrieben. Dadurch war es möglich, die Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf das Raumklima im Altbaugebäude mit jenen im Neubau sowohl mit als auch ohne Lüftungsanlage zu vergleichen. Unter Innenraumbegrünung ist eine „... dauerhafte Begrünung von Innenräumen in mobilen oder ortsfesten Gefäßen bzw. in horizontalen oder vertikalen Flächen mit oder ohne Bodenanschluss“ zu verstehen [3]. Aus dieser Definition geht hervor, dass die Innenraumbegrünung auf Dauer angelegt ist, und sich somit von einer temporären Begrünung, die in erster Linie der Dekoration dient, unterscheidet. Erst durch die Pflanzen als Lebewesen wird ein Innenraum zum begrünten Innenraum [4]. Begrünungssysteme stellen Bauweisen für den Wurzelraum der Pflanzen dar. Diese variieren in Abhängigkeit von gegebenen Standortbedingungen, Materialauswahl und Begrünungszielen [5]. Bei der Ausführung wurden rein mineralische Substrate verwendet. „Substrate sind Stoffe oder Stoffgemische, die den Pflanzen in bodenunabhängigen Anwendungen als Wurzelraum dienen oder auf Böden aufgebracht werden“ [5]. Wie aus [1] und [6] hervorgeht, gibt es unterschiedliche Varianten, um die Pflanzen in den Begrünungssystemen zu bewässern. Im vorliegenden Projekt wurde darauf geachtet, unterschiedliche Varianten zu untersuchen. Deshalb gibt es Begrünungssysteme mit Zu- und Abfluss, mit Zu- aber ohne Abfluss und ohne Zu- und Abfluss (siehe Kapitel 2.2.5). Bei der Innenraumbegrünung kommt eine Vielzahl an Pflanzensubstraten unterschiedlicher Zusammensetzung zum Einsatz. Sie werden in Kapitel 2.2.7 erklärt.

Bei der Außenbegrünung wurden an den Fassaden dieselben Begrünungssysteme wie in [1] installiert. Es konnte deshalb auf die Untersuchungen von [1] zurückgegriffen werden und ein Vergleich zwischen ungedämmten Fassaden und gedämmten Fassaden hinsichtlich Wärmedämmung angestellt werden.

## 2.2.1 Trogsystem

Dieses System wurde im Innenraum in den beiden Biologieräumen und im Außenraum im Schulhof des BRG16 montiert. Es kann aufgrund seiner Bauweise sehr gut von den Schülerinnen und Schülern selbst bepflanzt werden. Bei der Pflanzenart wurde insbesondere darauf geachtet, solche Pflanzen zu wählen, die von den Kindern und Jugendlichen selbst vermehrt werden können. Als Pflanzsubstrat wurde ein gängiges Produkt für Innenraumbegrünungen aus geblähtem Tongranulat verwendet. Abbildung 2 zeigt in einer schematischen Darstellung den Aufbau dieses Begrünungssystems.

Die Basis dieses Systems bildet eine Metallkonstruktion mit Profilen in Trapezform, welche kaskadenförmig an der Fassade angeordnet werden. Befestigt auf einer Unterkonstruktion dient diese Metallkonstruktion als Pflanzentrog, der ausgekleidet mit einem Multifunktionsvlies und gefüllt mit Substrat von verschiedenen, standort- und nutzungsabhängigen Pflanzen bestückt wird. Durch die Montage der einzelnen ca. 28 cm hohen Tröge übereinander ist das System flexibel gestaltbar. Abbildung 3 zeigt ein Foto vom Trogsystem im Biologieraum im BRG15, dem Neubau-Schulgebäude mit Lüftungsanlage.

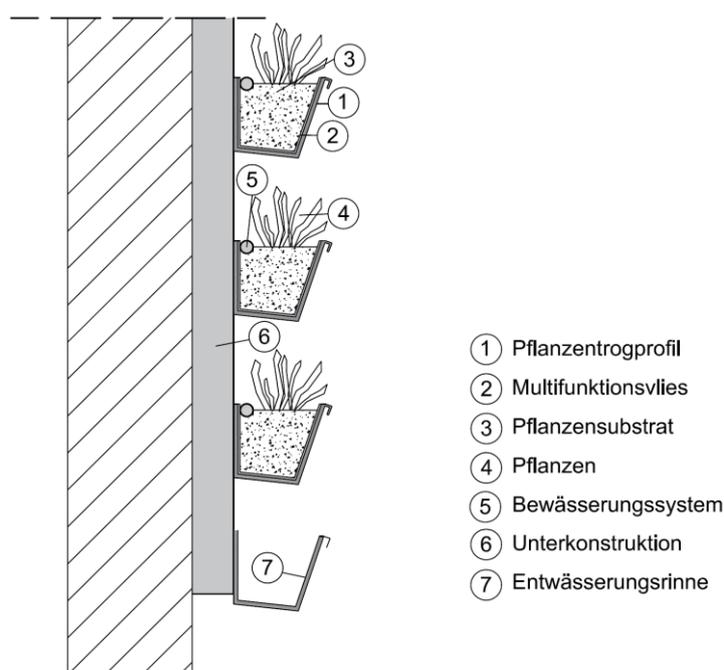


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Trogsystems [7]



Abbildung 3: Links: Trogsystem im Innenraum im Biologieraum des BRG15 (Neubau mit Lüftungsanlage); Rechts: Trogsystem im Innenraum im Biologieraum des BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

Das Trogsystem wurde im Außenraum im Schulhof des Neubau-Schulgebäudes ohne Lüftungsanlage (BRG 16) montiert. Ein Foto dazu wird in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 4: Trogsystem im Außenraum an der Fassade des BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

## 2.2.2 Vliessystem

Dieses System kann nur im Innenraum eingesetzt werden. Es wird schematisch in Abbildung 5 dargestellt. Es verwendet eine Kombination aus unterschiedlichen Vliesen als Vegetationsträger.

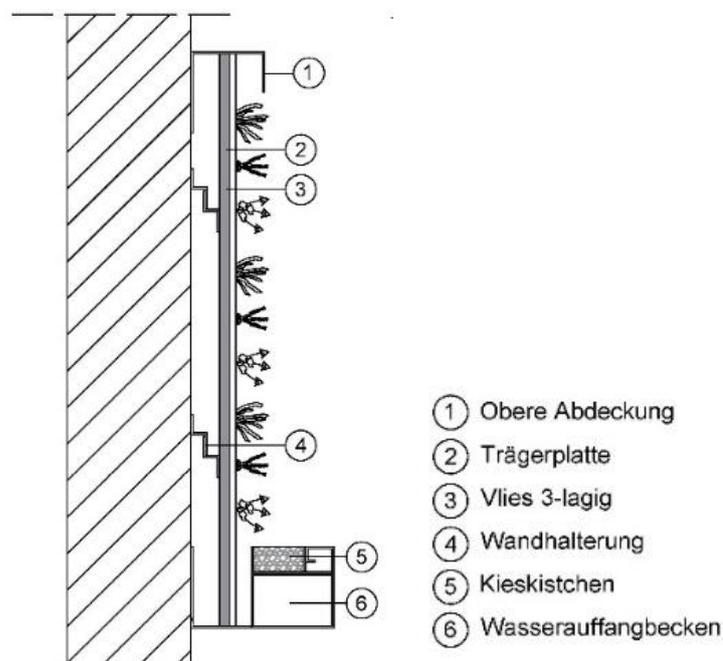


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Vliessystems [7]

Die Wandhalterung ist die Verbindung zwischen Mauerwerk und dem Begrünungssystem. Durch diese Anordnung entsteht ein Luftraum von 5 cm, der für eine ausreichende Luftzirkulation sorgt und ebenso als Schutz vor Staunässe dient. Die Aluminiumwandhalter weisen abhängig von der Wand, an der das System installiert wurde, eine Abwicklungslänge von 10 cm und einer Materialstärke von 2 mm auf. Die Trägerplatte stellt die Tragkonstruktion dar. Sie ist 10 mm dick und aus Kunststoff. Ein 3-lagiges Vlies ist an der Trägerplatte befestigt. Das Vlies sorgt für ausreichende Wasserverteilung und stellt den Wurzelebenraum der Pflanzen dar. Die Pflanzen werden in die vorgesehenen Taschen eingesetzt. Am Fuße der Konstruktion befindet sich ein Kiesbett mit Wasserauffangbecken. Diese Konstruktion besteht aus Aluminium und ist beschichtet. Das System ist sowohl an der Oberseite als auch an den beiden Seitenflächen mit Abdeckungen verkleidet. Diese Bauteile werden aus einer Metallkonstruktion gebildet.

Die Pflanzen werden wurzelnackt in hineingeschnittene Taschen gesetzt. Eine Mischung aus horstig wachsenden und sich flächig ausbreitenden Zimmerpflanzen ist gleichmäßig im Vegetationsträger verteilt. Abbildung 6 zeigt Fotos der beiden eingesetzten Vliessysteme.

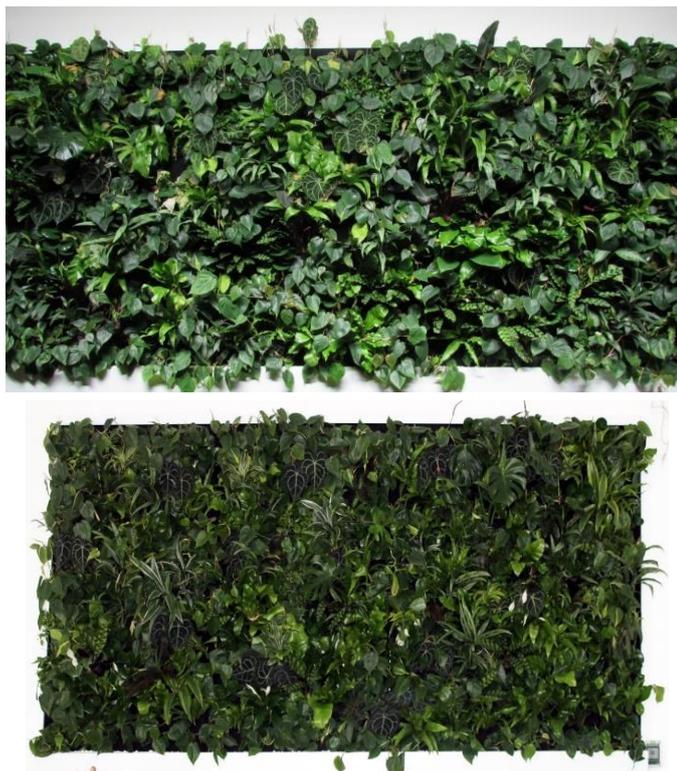


Abbildung 6: Links: Vliessystem im Innenraum, BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) Rechts: Vliessystem im Innenraum, BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

### 2.2.3 Kassettensystem

Das Kassettensystem kann nur im Außenraum und nicht im Innenraum verwendet werden. Es kommt auf der Dachterrasse des Neubau-Schulgebäudes mit Lüftungsanlage (BRG 15) zum Einsatz. Hier werden Pflanzen in einem Winkel von 90° zur Wand in kleinen Öffnungen eines Pflanzmoduls gesetzt. Ein Element besteht aus einer 60 cm mal 100 cm großen Metallkassette, an der vorne eine Gitterstruktur mit Öffnungen für die Pflanzen befestigt ist und mit Substrat verfüllt ist. Das über Tropfschläuche zugeführte Wasser wird über ein Vlies an der Hinterseite der Metallkassette verteilt. Abbildung 7 zeigt eine schematische Darstellung des Systemaufbaus.

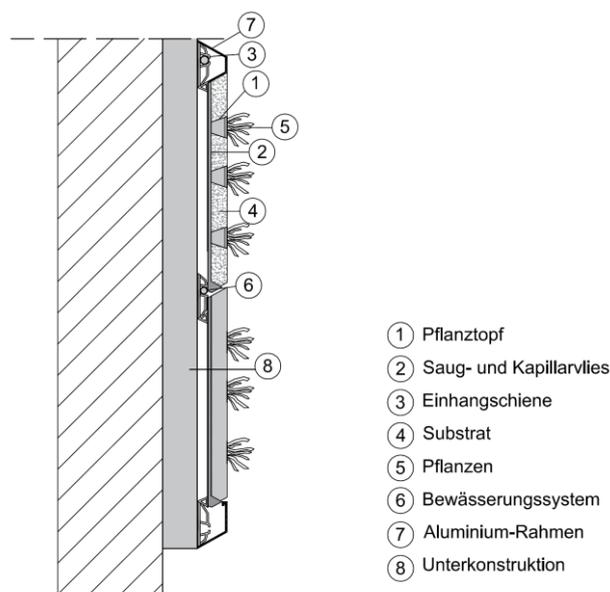


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Kassettensystems [7]

Die Aluminiumkassetten werden direkt aneinandergereiht und übereinander angebracht (siehe Abbildung 8). Das im Fassadenkorb integrierte Vlies speichert und verteilt das Wasser gleichmäßig. Die Wurzelballen der Pflanzen stehen in direktem Kontakt zum Vlies, welches das Wasser speichert und verteilt. An der Rückseite jedes Fassadenelementes befindet sich eine Einhangschiene aus Aluminium zur Befestigung an der Unterkonstruktion beziehungsweise an der Bestandswand. Die Einhangschiene bildet den Hinterlüftungsspalt zwischen Aluminiumplatten und Fassade. Er ist ca. 5 cm breit. Abbildung 8 zeigt das Kassettensystem kurz nach Installation und nach einer Wachstumsphase der Pflanzen von zwei Jahren.



Abbildung 8: Kassettensystem am BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) Links: kurz nach der Bepflanzung im Sommer 2017; Rechts: 2 Jahre nach der Bepflanzung (Sommer 2019)

## 2.2.4 Low Cost Maßnahmen

Neben den eher hochpreisigen fassaden- bzw. wandgebundenen Grünsystemen gibt es zahlreiche Möglichkeiten auch mit weniger Budget Begrünungen in, an und auf Schulen umzusetzen. Im Zuge des Projektes wurde eine Pergola auf der Dachterrasse des BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) errichtet. Sie wurde gemeinsam mit der Schule, integral geplant und in einem partizipativen Prozess vom Projektkonsortium und Schülerinnen und Schülern während des Werkunterrichts errichtet.

Auch eine Anleitung zur Herstellung einer mobilen vertikalen begrünten Wand wurde entwickelt. Diese Selbstbauwand wurde ebenfalls von Schülerinnen und Schülern im Werkunterricht hergestellt. Aufgrund der

leichten Zugänglichkeit und der überschaubaren Größe lassen sich derartige Begrünungen leicht pflegen. Zur Sicherstellung der Grünpflege über die Ferienzeit in den Sommermonaten ist ein Wasseranschluss in der Nähe z.B. auf der Dachterrasse etc. sehr hilfreich. Eine automatische Bewässerungsanlage erleichtert in Zusammenhang mit der richtigen Auswahl des Pflanzsubstrates und der passenden Pflanzenauswahl die Grünpflege und Wartung der angestrebten Begrünungen

Abbildung 9 zeigt links wie Schülerinnen und Schüler an der Herstellung der Selbstbauwand arbeiten und rechts, eine Skizze der fertigen Pergola. Abbildung 10 zeigt die fertige begrünte Pergola, sie dient als Schattenspendender und Sitzgelegenheit für alle Terrassen-NutzerInnen.

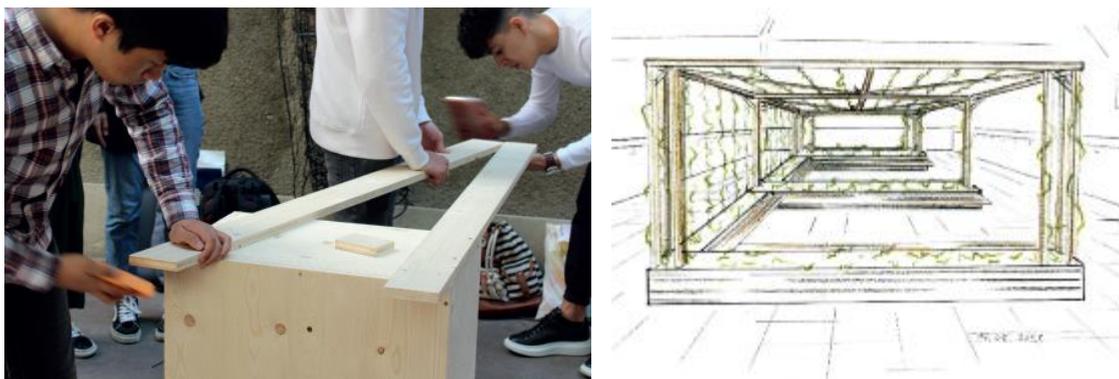


Abbildung 9: Bau der grünen Selbstbauwand mit einer Klasse (links); Entwurf der Pergola (rechts)



Abbildung 10: Pergola auf dem Dach des BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) konzipiert als Freiluftklasse

Auch eine Anleitung zur Herstellung einer mobilen vertikalen begrünten Wand wurde entwickelt. Diese Selbstbauwand wurde von Schülerinnen und Schülern im Werkunterricht hergestellt. Sie wird in Abbildung 11 dargestellt.



Abbildung 11: Grüne Selbstbauwände in einem Klassenraum

### 2.2.5 Bewässerung

Nicht bei allen Begrünungen ist es möglich einen Wasserzu- und -ablauf zu installieren. Deshalb wurden Begrünungssysteme mit Zu- und Abfluss, mit Zu- aber ohne Abfluss und ohne Zu- und Abfluss untersucht.

Die Bewässerung bei einem Begrünungssystem mit Zu- und Abfluss wird mittels Magnetventil automatisch gesteuert, zur Steuerung ist jedoch ein Bewässerungscomputer notwendig. Beide Innenraumbegrünungen, das Trogsystem und das Vliessystem, im BRG15 (Neubau mit Lüftungsanlage) sowie das Trogsystem im Außenraum am BGR16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) verfügen über einen Zu- und Abfluss.

Hat das Bewässerungssystem einen Zu- aber keinen Abfluss, wird das überschüssige Wasser in einem Tank gespeichert und mittels Pumpe wieder zu den Pflanzen geleitet. Diese Variante wurde beim Kassettensystem am BRG15 (Neubau mit Lüftungsanlage) gewählt. Der Tank muss einmal jährlich bzw. bei starker Verschmutzung gereinigt und das gesamte Wasser gewechselt werden, um Verschmutzung der Pumpe zu vermeiden. Ist auch kein Zufluss vorhanden, muss der Tank mittels Gießkanne oder Kübel regelmäßig befüllt werden. Die Innenraumbegrünungen im BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage), Trogsystem und Vliessystem, wurden mit Tanklösung, ohne Zu- und Abfluss, installiert.

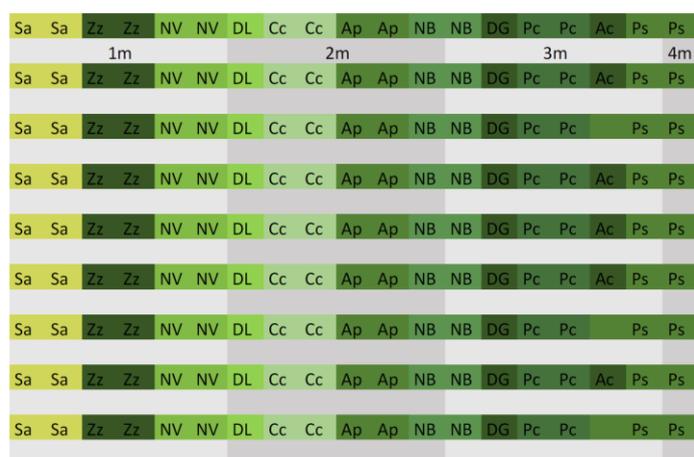
### 2.2.6 Eingesetzte Pflanzen

Für das Vliessystem, welches in Kapitel 2.2.2 beschrieben wird, kamen folgende Pflanzen zum Einsatz:

- *Asplenium antiquum* – Schmalblättriger Nestfarn
- *Asplenium nidus* – Vogelneestfarn
- *Monstera deliciosa* ‚Borsigiana‘ – Kleines Fensterblatt
- *Peperomia clusiifolia* – Zwergpfeffer

- *Peperomia angulata* – Zierpeffer
- *Peperomia puteolata* – Parallel Peperomia
- *Philodenron brasil* – Baumfreund
- *Philodendorn scandens* – Kletterphilodendron
- *Spathiphyllum wallisii* – Blattfahne
- *Schefflera arboricola* - Strahlenaralie
- *Dieffenbachis seguine* – Dieffenbachie
- *Calathea rufibara* – Korbmarante
- *Tradescantia spathacea* – Purpurbl. Dreimasterblume
- *Chlorophytum vomosum* 'Ocean' – Grünlilie
- *Dracaena deremensis* – Drachenbaum
- *Anthurium crystallinum* – Kristall-Schweifblume
- *Scindapsus aureus* – Efeutute
- *Scindapsus pictus* – gefleckte Efeutute
- *Phlebodium aureum* – Tüpfelfarn
- *Platynerium* – Geweihfarn
- *Nephrolepis* – Schwertfarn

Da die Pflanzen regelmäßig getauscht werden müssen, gibt es für dieses Begrünungssystem keinen genauen Pflanzenplan. Beim Trogsystem ist das anders. Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die Pflanzen, die in den beiden Trogsystemen eingesetzt wurden.



	botanischer Name	deutscher Name
Sa	<i>Scindapsus aureus</i>	Efeutute
Zz	<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	Glücksfeder
NV	<i>Nephrolepis exaltata</i> 'Vitale'	Schwertfarn
DL	<i>Dracaena fragrans</i> 'Lemon Lime'	Drachenbaum
Cc	<i>Chlorophytum comosum</i> 'Ocean'	Grünlilie
Ap	<i>Asparagus plumosus</i>	Federspargel
NB	<i>Nephrolepis exaltata</i> 'Boston'	Schwertfarn
DG	<i>Dracaena fragrans</i> 'Green Jewel'	Drachenbaum
Pc	<i>Peperomia clusifolia</i>	Zwergpeffer
Ac	<i>Ananas champaca</i>	Zierananas
Ps	<i>Philodendron scandens</i>	Baumfreund

Abbildung 12: Pflanzplan des Biologiesaals im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)





botanischer Name	deutscher Name
A <i>Aster dumosus</i> 'Kassel'	Kissen Aster
B <i>Bergenia cordifolia</i>	Bergenie
C <i>Campanula portenschlagiana</i>	Dalmatiner Glockenblume
F <i>Fragaria vesca</i> var. <i>Vesca</i>	Wald Erdbeere
GL <i>Gaura lindheimeri</i>	Prachtkerze
G <i>Geranium macrorrhizum</i>	Balkan Storchschnabel
Hc <i>Helianthemum x cultorum</i> 'Bronzeteppich'	Sonnenröschen
Hc <i>Helianthemum x cultorum</i> 'Golden Queen'	Sonnenröschen
H <i>Hemerocallis Hybrida</i> 'Stella de Oro'	Taglilie
HP <i>Heuchera micrantha</i> 'Palace Purple'	Purpurglöckchen
HL <i>Heuchera sanguinea</i> 'Leuchtkäfer'	Grünes Purpurglöckchen
Ps <i>Phlox subulata</i>	Polster Phlox
Ps <i>Phlox subulata</i> 'White Delight'	Polster Phlox
Pn <i>Potentilla neumanniana</i>	Frühlings Fünffingerkraut
Sf <i>Sedum floriferum</i> 'Wheinstephaner Gold'	Gold Fetthenne
Sp <i>Sedum pachyclados</i>	Dickrosettiges Fingerblatt
St <i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	Herbst Fetthenne

Abbildung 15: Pflanzplan der Wandbegrünung auf der Terrasse des BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)

## 2.2.7 Substrate

Die Substrate bestehen ausschließlich oder überwiegend aus strukturstabilen, organischen Elementen. Neben Bestandteilen natürlichen Ursprungs (z.B. Bimse, Kiese, Laven, Zeolithe, Perlite) kommen auch industriell hergestellte Komponenten (z.B. Blähton, Pflanzengranulate, Steinwollen) zur Anwendung [5]. Bei den Innenraumbegrünungen der Projektschulen kommt an sämtlichen Standorten ein Tongranulat zum Einsatz.

Die Substratansprüche des Außenraums, gleichen jenem des Innenraums. Bei den Außenraumbegrünungen kommen im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) Blähschiefer als Substrat zum Einsatz, im Aluminiumtrogsystem am BRG16-(Neubau ohne Lüftungsanlage) wird ein Substrat auf Basis von Sand, Blähtonbruch, Blähschiefer und Kompost A+ verwendet.

## 2.2.8 Bauliche Umsetzung

Die bauliche Umsetzung ist von Fachfirmen in Abstimmung mit der Gebäudeeigentümerin BIG und den Schulen durchgeführt worden. Für die Begrünungssysteme mit Wasseranschluss und Abfluss wurden von zertifizierten Firmen die notwendigen Leitungen umgeleitet. Im Neubau ist es notwendig bei jedem Umbau auch auf die bereits bestehenden Gewährleistungen der Firmen zu achten. Deshalb wurden die Arbeiten in den neuen Gebäudeteilen von denselben Installateuren durchgeführt, welche die Leitungen ursprünglich errichtet haben. Nur so konnte die Gewährleistung aufrechterhalten werden.

Für die Außenbegrünung wurden die detaillierten Gebäudepläne erhoben, um festzulegen, welche Befestigungselemente eingesetzt werden, um statische Sicherheit für Fassadenbegrünung zu gewährleisten. Für die Installation der Begrünungselemente wurden Fachfirmen beauftragt.

### 2.3 Untersuchte Räume und Begrünungsflächen

In den Schulen BRG15-Diefenbachgasse (BRG15) (Neubau mit Lüftungsanlage) und BRG16-Schuhmeierplatz (BRG16) (Neubau ohne Lüftungsanlage) wurden Begrünungssysteme in jeweils einer Standardklasse (begrünte Klasse) installiert. Außerdem wurden der Biologieraum im BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) und der Physikraum im BRG15 (Neubau mit Lüftungsanlage) installiert. Abbildung 16 bis Abbildung 19 zeigen schematische Zeichnungen der begrünten Räume.

Tabelle 1 zeigt die technischen Daten zu den untersuchten Räumen und deren Begrünungssystemen.



Abbildung 16: Schematische Darstellung des Biologiesaals im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

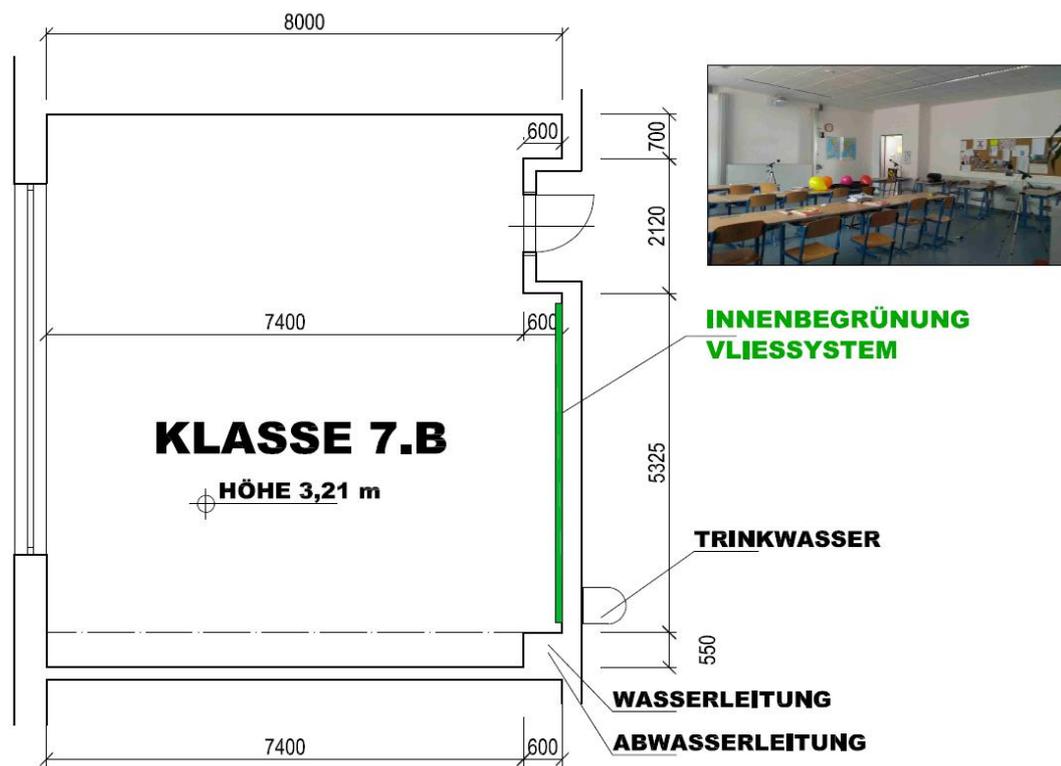


Abbildung 17: Begrünter Klassenraum im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

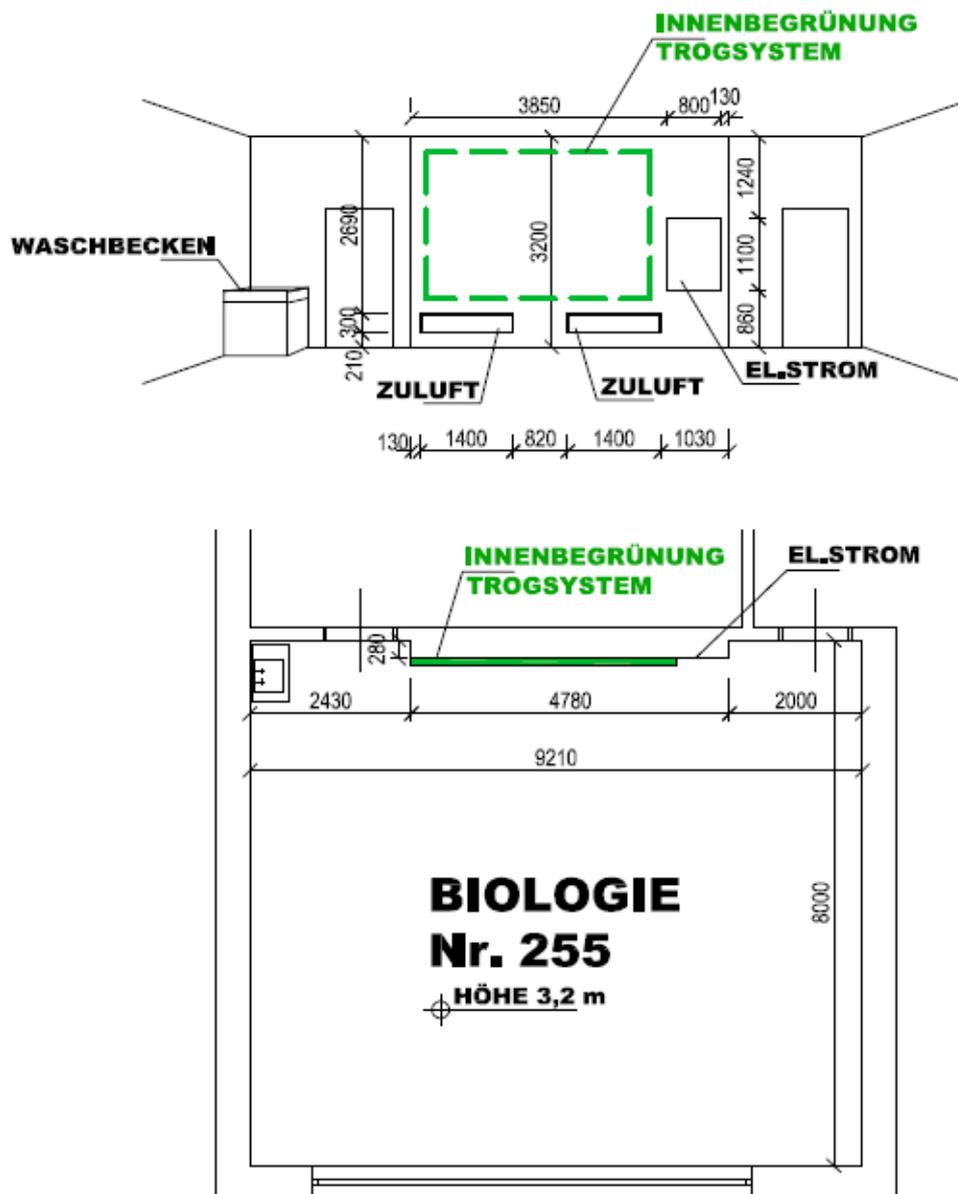


Abbildung 18: Biologieraum BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)

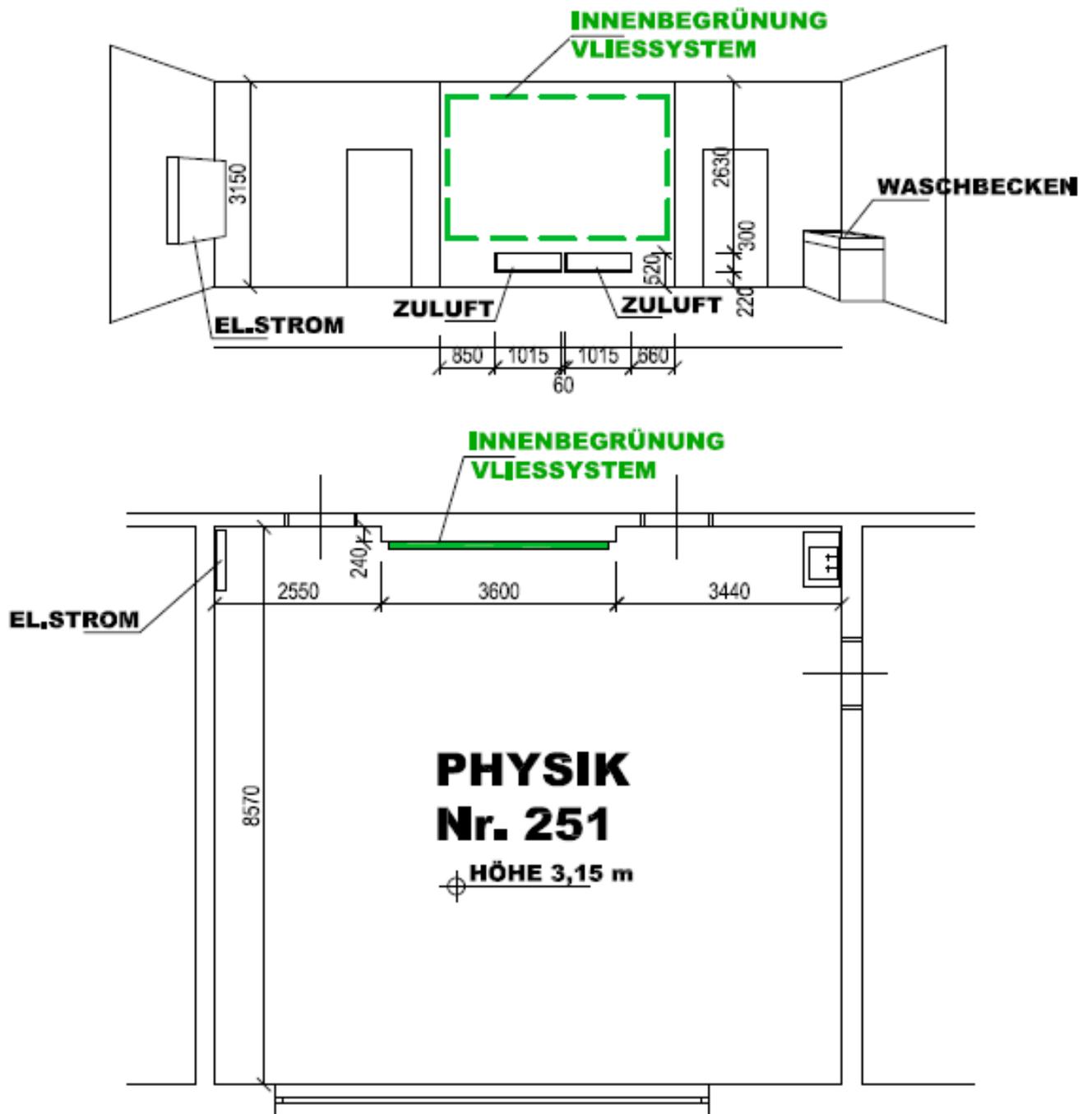


Abbildung 19: Physik BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)

Tabelle 1: Überblick zu den untersuchten Räumen und Begrünungsmaßnahmen

Begrünung – Position	Innen	Innen	Innen	Innen	Außen	Außen
Schulgebäude – Standort	BRG 16 (ohne Lüftungsanlage) (Tanklösung)	BRG 16 (ohne Lüftungsanlage) (Tanklösung)	BRG15 (mit Lüftungsanlage)	BRG15 (mit Lüftungsanlage)	BRG16	BRG15
Begrünungstyp	Trogsystem	Vliessystem	Trogsystem	Vliessystem	Trogsystem	Kassettensystem (Tanklösung)
Standort	Biologiesaal	Klassenraum der 7.B Klasse	Biologiesaal	Physiksaal	Innenhof	Dachterrasse
Größe der Begrünungsfläche [m²]	11,4 m²	6,12 m²	9,0 m²	6,8 m²	16,5 m²	9,6 m²
Wasserbedarf [m3/Jahr]	--	1,298 m3/Jahr	1,976 m3/Jahr	5,915 m3/Jahr	7,345 ** m3/Jahr	5,612 m3/Jahr
Strombedarf [kWh/Jahr]	473 kWh/Jahr	937 kWh/Jahr	333 kWh/Jahr	1432 kWh/Jahr	0 kWh/Jahr *** Außen keine Beleuchtung (nur für das Heizkabel im Winter erforderlich - Verbrauch ist Wetterabhängig und sehr gering)	0 kWh/Jahr *** Außen keine Beleuchtung (nur für das Heizkabel im Winter erforderlich. - Verbrauch ist Wetterabhängig und sehr gering)

\*\* Bewässerungszeiten für BRG 16 – Außen: 6 Monate MO, DO, FR 7 min und 6 Monate MO, DO, FR 3 min \*\*\* 490,2 kWh/Jahr – Pumpe und Heizkabel – BRG15 – Kassettensystem

## 2.4 Durchführung von Pflege und Wartung

Lebende Pflanzen sowie die technischen Systeme zur Vertikalbegrünung bedürfen einer regelmäßigen Pflege und Wartung. Die Intensität der Pflege- und Wartungsintervalle unterscheidet sich einerseits vom Standort der Begrünung, ob im Innen- oder Außenraum, andererseits auch von der Auswahl der technischen Grünsysteme.

Die einzelnen Grünpflegetätigkeiten sind in den erstellten Handbüchern (Anhang) detailliert beschrieben und die einzelnen Tätigkeiten je System in einer Tabelle zusammengefasst, um sie auf einen Blick zu erfassen.

Ein wichtiger Arbeitsschritt in Zusammenhang mit den Begrünungen ist die Sichtkontrolle. Dabei ist mittels Inspektionsblick zu prüfen, ob die Pflanzen gesund und vital sind und per Fingerprobe ist die Feuchtigkeit der Begrünung zu überprüfen. Diese regelmäßige Kontrolle ist wichtig, denn je schneller bei Problemen reagiert wird, desto einfacher kann ein möglicher Schaden begrenzt werden.

Die Bewässerung kann als Herzstück von Vertikalbegrünungen gesehen werden. Im Projekt wurden unterschiedliche Varianten zur Bewässerung verwendet. Einerseits gibt es Vertikalbegrünungen, die über einen eigenen Wasser Zu- und Ablauf verfügen, wenn dies technisch nicht möglich war, wurde andererseits eine Bewässerung mittels Tanklösung installiert. Die automatische Wasserversorgung sollte möglichst robust ausgeführt werden und zuverlässig funktionieren: Dazu ist in den ersten Wochen nach der Installation eine regelmäßige Kontrolle und Nachsteuerung nötig. Der Wasserverbrauch ist abhängig von der Transpiration durch die Pflanzen, der konvektiven Verdunstung sowie der Witterung bei Außenbegrünungen. Die Bewässerung kann zwischen „gerade noch ausreichend“ und „sehr feucht“ gesteuert werden. Die Balance zwischen zu viel und zu wenig Wasser ist eine Herausforderung, die durch die Bewässerungszeiten und Bewässerungsintervalle gesteuert wird.

Bei den Tanklösungen ist das Auffüllen des Wassertanks mittels Gießkanne bzw. Schlauch eine Aufgabe, die in der Regel einmal wöchentlich zu erledigen ist. Im Rahmen des Projekts konnte diese Tätigkeit im Schulalltag fest verankert werden und wird in der Regel gemeinsam von der Lehrperson und Lernenden in der Nachmittagsbetreuung durchgeführt.

Die Düngung der Pflanzen in den Grünwänden ist ebenfalls vom technischen System abhängig. Bei den Trogsystemen wird in der Regel mit Feststoffdünger gearbeitet, welcher alle drei Monate direkt in den Trögen auf das Substrat ausgebracht und leicht eingearbeitet wird. Die weiteren Systeme, das Vlies- und das Kassettensystem, werden mit Flüssigdünger bzw. wasserlöslichem pulverförmigen Dünger gedüngt. Hier wird der Dünger direkt in den Tank bzw. den Düngemittelbehälter zur automatischen Düngung gegeben.

Zur Pflege der Pflanzen zählt außerdem der Rückschnitt und der Austausch bzw. das Nachsetzen von Pflanzen.

Im Außenraum wurden die Pflanzen aus ökologischen Gründen - ähnlich wie in einem Naturgarten - erst im Frühjahr zurückgeschnitten. Im Zuge dieses Frühjahrsrückschnittes wurden abgestorbene Pflanzenteile und alte Blühstände entfernt, sowie gegebenenfalls abgestorbene Pflanzen ausgetauscht bzw. nachgepflanzt.

Im Innenraum wurde je nach Bedarf zurückgeschnitten, abgestorbene Pflanzenteile wurden rasch entfernt. Welche Blätter schaden der Pflanze zwar nicht, beeinträchtigen jedoch das visuelle Gesamtbild und wurden ebenfalls entfernt. Fehlstellen durch abgestorbene Pflanzen wurden nachgepflanzt. Eine Kontrolle betreffend Schädlinge und Pflanzenkrankheiten fand laufend statt.

Zur besseren Etablierung in den Schulalltag wurden die Pflegedurchgänge auch in Form von Workshops mit den Schülerinnen und Schülern durchgeführt. Durch Fachinputs konnten die Kompetenzen zur richtigen Pflanzenpflege, Rückschnitt sowie Nachpflanzungen an die Lernenden vermittelt und anschließend praktisch umgesetzt werden.

Die Pflegearbeiten wurden mit Hilfe von Pflegeprotokollen dokumentiert. Dabei wurde der Gesamteindruck der Vitalität bewertet, die Grünwand auf Schädlinge bzw. Krankheiten untersucht sowie auf Schäden oder Mängel an den technischen Einrichtungen geachtet.

Neben den Pflanzen bedürfen auch die technischen Systeme einer regelmäßigen Pflege. Vor allem die Bewässerung muss zuverlässig funktionieren. Eine Wartung mindestens 1x jährlich ist unumgänglich. Zu achten ist vor allem darauf, dass die Schläuche intakt sind und die Tropfer einwandfrei funktionieren. Verstopfungen der Tropfer, z.B. durch Kalkablagerungen, können auftreten und sind zu bereinigen. Ebenfalls ist bei Grünsystemen mit Pumpe diese mindestens einmal jährlich zu reinigen sowie bei den Innenraumbegrünungen die gesamte Außenhülle der Grünwand. Außerdem ist bei den Bewässerungen mit Tanklösungen der Tank in regelmäßigen Abständen zu leeren und zu reinigen.

## *2.5 Integration in den Schulalltag der beiden Schulen*

Pflanzen sind lebende Baustoffe und benötigen daher neben ausreichend Wasser, Nährstoffen und Licht selbstverständlich regelmäßige Pflege. Hochtechnisierte Begrünungssysteme benötigen zudem regelmäßige technische Wartung. Gerade bei vertikalen Begrünungssystemen sind Pflanzen die „Hauptattraktion“. Demnach ist es nicht sinnvoll, vor allem bei Innenraumbegrünungen, grüne Wände nur als „Kunstwerk an der Wand“ zu betrachten, da der Zugang zu einem Kunstwerk eher passiv ist. Ebenso passiv verhält es sich dann mit Erwartungen an den Arbeitsaufwand. Unter anderem aus diesem Grund wurde bereits beim Verfassen des Antrages festgelegt, einen intensiven Prozess mit den Schulen zu starten. Ziel war und ist es, die Begrünungen in die Schulkultur zu integrieren, sprich die Pflanzenpflege und technische Wartung in den alltäglichen Schulbetrieb im Unterricht einzubinden, die grünen Wände für praktische Übungsteile heranzuziehen und diese aktiv in verschiedenen Unterrichtsfächern einzubinden. Der im Projekt verfolgte Ansatz war und ist es, aus den Begrünungen einen Mehrwert für die Schulen und den Unterricht zu generieren. Im Unterricht behandelte Stoffgebiete sind nicht mehr länger abstrakt und surreal, sondern können mit der grünen Wand erklärt und veranschaulicht – erlebbar – werden. Zudem ist es für Kinder und Jugendliche wichtig für spätere Entscheidungen und berufliche Tätigkeiten unterschiedliche, innovative und zukunftsweisende Möglichkeiten kennen zu lernen.

Nachdem jede Schule über andere „unausgesprochene Regeln“, Rituale und Alltage verfügt, war es dem Projektkonsortium ein Anliegen die Grünpflege und Wartung angepasst an die Bildungseinrichtungen zu entwickeln und durch einen strukturierten Austausch voneinander zu lernen.

## *2.6 Integration ins Schulumfeld*

Neue und innovative Lösungen bringen wenig hinter verschlossenen Schultüren. Unter Schulumfeld werden neben den Eltern bzw. Bezugspersonen, der Elternverein, den Nachbarinnen und Nachbarn der Umgebung auch andere Schulen im Umfeld, Wirtschaftsunternehmen, interessierte Personen aus der Zivilgesellschaft, die Fachöffentlichkeit sowie die Bezirksverwaltung und -politik verstanden. Durch verschiedene Maßnahmen und Aktivitäten wurde im Rahmen des Projekts das Schulumfeld über das Projekt, die Projektergebnisse und die Wirkungen der grünen Wände auf die Kinder und Jugendlichen, aber auch auf die Lehrpersonen und das nicht lehrende Personal informiert.

Einen besonderen Schwerpunkt legte das Projektteam auf interessierte Schulen. Nachdem technische Begrünungen sehr kostenintensiv sind und das nötige Budget in Schulen in den meisten Fällen nicht vorhanden ist, wurden sogenannte „Assoziierte Schulen“ in das Projekt eingebunden, um auch selbstgebaute (do it yourself = DIY) Begrünungsvarianten auszuprobieren. Auch die DIY-Varianten wurden in den Leitfaden mitaufgenommen mit dem Ziel mehr Grün in die Schulen zu bringen.

## 2.7 Schule in der Planungsphase (Pilotschule)

Um Grüne Wände in bestehenden Schulgebäuden zu installieren, braucht es teilweise einiges an Adaptierungsarbeiten, um die Wasserzufuhr, den Wasserablauf sowie die Stromversorgung zu gewährleisten. Aufwändige Baumaßnahmen entfallen bei Neubauten beziehungsweise bei kompletten Umbauten. Daher war es ein Ziel des Projektes die Integration von Begrünungen von Beginn an einer Planung zu verfolgen und aus den vorgebrachten Argumenten der Planungsteams zu lernen. Mit einem laufenden Planungsprojekt der Bundesimmobiliengesellschaft (BIG), nämlich dem Konrad-Lorenz-Gymnasium in Gänserndorf (Niederösterreich) konnten diese Fragen bearbeitet werden. Die gesammelten Argumente flossen unter anderem in die Erarbeitung des Dokuments „Fragen & Antworten“ (Anhang) ein.

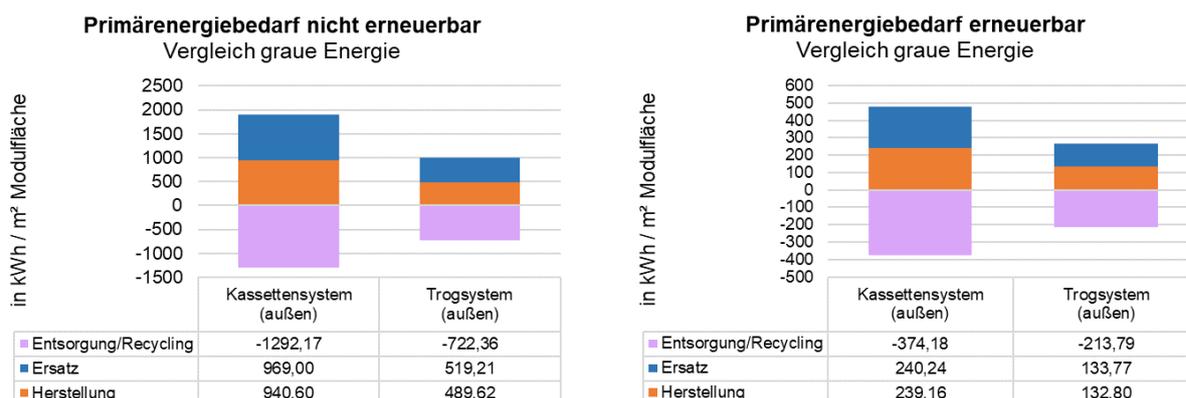
Dabei wurden die Entwurfs- und Planungssitzungen regelmäßig begleitet und die Argumente dokumentiert. Bereits während der Entwurfsphase äußerte die Direktorin der Schule den Wunsch nach einer grünen Wand und als Pilotschule in Niederösterreich zu fungieren. Die tatsächliche Entscheidung für den Bau und die Finanzierung der grünen Wand wurde bei der Entwurfspräsentation getroffen. Dabei ergab sich die Situation, dass bei der Diskussion eine Präsentationsfolie mit dem gesamten Bauvolumen und den Baukosten projiziert war. Letztendlich begünstigte diese Aufstellung die Entscheidung, da die Kosten für ein technisches Begrünungssystem im Eingangsbereich letztendlich nur im Promillebereich der gesamten Baukosten liegen.

Die Positionierung der Grünen Wand wurde während der Entwurfsphase von der Aula in die Eingangshalle verschoben. Ausschlaggebende Argumente gegen die dreistöckige Begrünung der Aula, die die „neue Mitte“ genannt wurde, war die kompliziertere Grünpflege aufgrund der Höhe. Die Begrünung der Eingangshalle punktete mit der Sichtbarkeit und der Nähe zu den Biologiesälen. Biologielehrkräfte und Schülerinnen und Schüler werden für die Pflege und Wartung verantwortlich sein. Dabei wurden das Interesse und Engagement von der Direktorin mit dem Kollegium abgestimmt und entschieden.

Situation zum Zeitpunkt des Projektendes: Bei einer Ausschreibung für die Elektro-Arbeiten waren die Positionen für die Beleuchtung der grünen Wand bereits inkludiert. Weitere Positionen, wie Wasser und Kanal wurden zum Projektende für die Sanitärausschreibung vorbereitet und es ist geplant die Grüne Wand selbst als eigenes Gewerk auszuschreiben.

## 2.8 Ökologische Materialien

Im Projekt GrünPlusSchule [1] wurden die Begrünungssysteme hinsichtlich ihrer ökologischen Eigenschaften detailliert untersucht. Dabei wurde der gesamte Lebenszyklus berücksichtigt. Für die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Bauweisen, die im vorliegenden Projekt untersucht wurden, war es wichtig, genau dieselben Begrünungssysteme einzusetzen, wie im Projekt [1]. Beim Trogsystem, beim Vliessystem und beim Kassettensystem konnte deshalb nicht auf die ökologischen Empfehlungen des Projektes eingegangen werden. Abbildung 20 und Abbildung 21 zeigen die Auswirkungen der Begrünungssysteme auf die relevanten ökologischen Parameter. Dabei wurde der gesamte Lebenszyklus der Begrünungssysteme berücksichtigt.



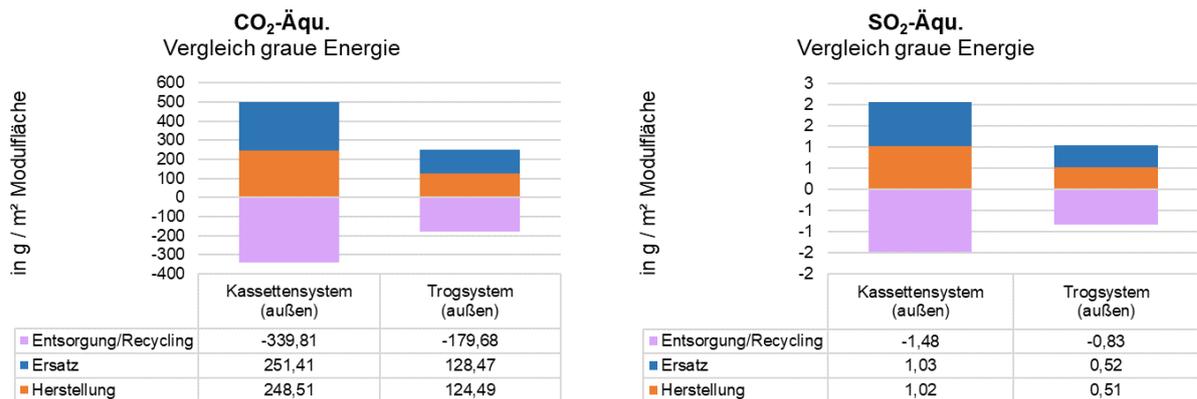


Abbildung 20: ökologische Bewertung der Außenbegrünungssysteme [1]

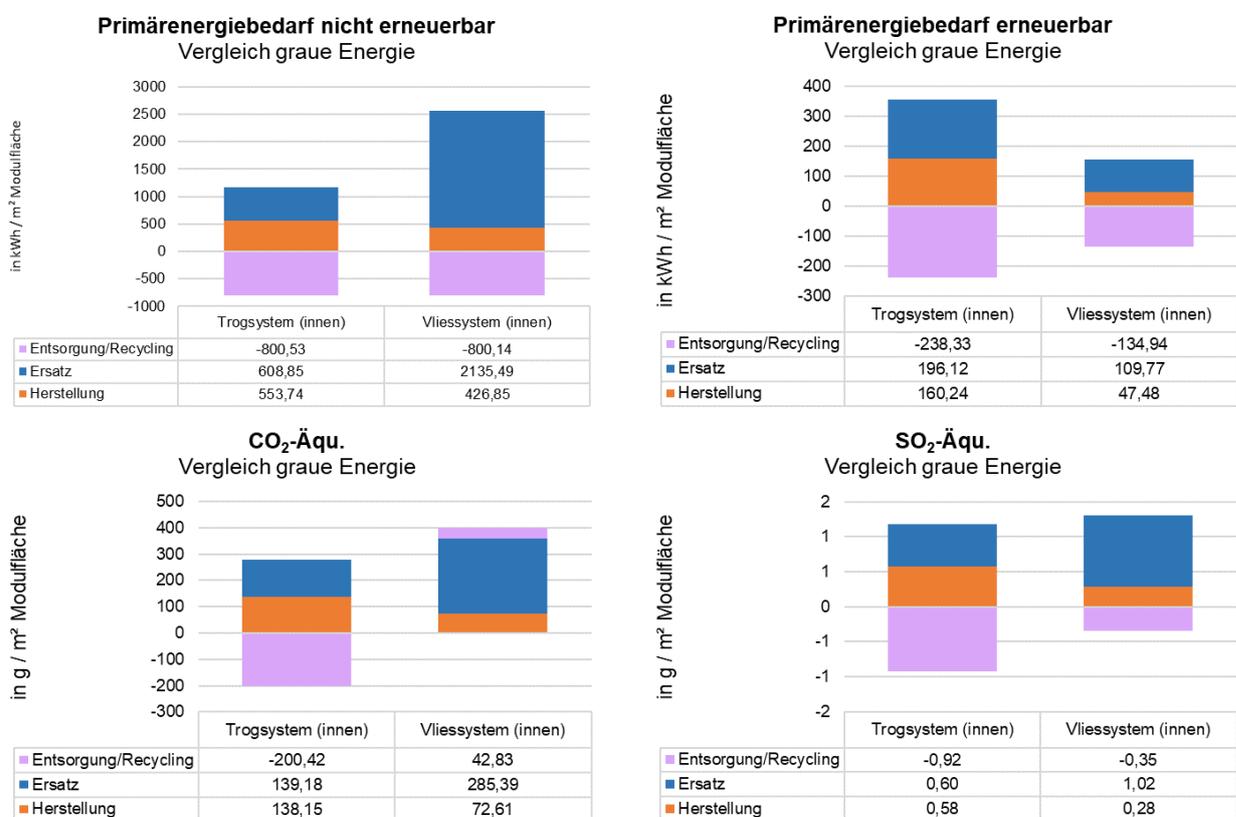


Abbildung 21: Ökologische Bewertung der Innenbegrünungssysteme [1]

Bei den Planungsbesprechungen zur Installation der Begrünungssysteme wurde mit den Fachfirmen über die Auswahl der Materialien diskutiert. Eine Veränderung der Vliese von Polyurethanen auf Geotextil würde die Eigenschaft der Feuchtigkeitsspeicherung verändern und so auch die Messwerte beeinflussen. Das eingesetzte Aluminium ist recyclingbar. Die Tröge können beim Rückbau ohne großen Aufwand von den anderen Materialien getrennt werden und wiederverwendet werden. Das Aluminium kann recycelt werden. Bei den neu entwickelten Low Cost Maßnahmen wurde auf die Ökobilanz und Graue Energie aller untersuchten Systeme und verwendeten Materialien im ganzen Lebenszyklus eingegangen. Sie bestehen hauptsächlich aus Holz. Dieses wurde nicht verklebt, sondern nur mit Schrauben bearbeitet, wodurch eine Trennung der Materialien beim Rückbau einfach ist. Auch die Bewässerungselemente wurden so eingebaut, dass sie einfach austauschbar sind. Einige Bewässerungselemente haben eine kürzere Lebensdauer als andere. Das gesamte Bewässerungssystem hat eine kürzere Lebensdauer als Tröge, Rahmen oder andere

Bestandteile des Begrünungssystems. Durch den einfachen Austausch einzelner Elemente ist es bei einem Ausfall nicht notwendig, noch funktionierende Bestandteile mit auszutauschen.

Alle Begrünungselemente wurden so errichtet, dass sie ohne den Einsatz einer Hebebühne gepflegt und gewartet werden können.

## 3 Methoden

### 3.1 Bauphysikalische und mikroklimatische Methoden

#### 3.1.1 Methode zur Ermittlung der thermischen Dämmeigenschaften von fassadengebundener Begrünung im gedämmten Neubau

International wurde die Dämmwirkung von Fassadenbegrünung untersucht, allerdings nicht an gedämmten Neubauten, wie es im vorliegenden Projekt der Fall ist. Diese Untersuchungen haben im vorliegenden Projekt zum ersten Mal stattgefunden. Außerdem gab es bisher keine Untersuchungen hinsichtlich möglicher Wärmebrücken, die aufgrund der installierten Fassadenbegrünung entstehen könnten. Das vorliegende Projekt hat auch diese Problematik detailliert für unterschiedliche Bauweisen analysiert.

Bereits im Projekt [1] wurden Messungen durchgeführt, um die thermische Dämmeigenschaft von fassadengebundener Begrünung zu ermitteln. Gemessen wurden Wärmestrom, Oberflächentemperaturen und Lufttemperaturen im Innen- und Außenbereich an begrünten und an nicht begrünten Fassadenabschnitten. Die Messdaten wurden ausgewertet und die begrünten Fassadenabschnitte mit den nicht begrünten Fassadenabschnitten verglichen. Das Projekt kommt zum Ergebnis, dass Fassadenbegrünung den äußeren Wärmeübergangswiderstand um  $0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$  bis  $0,39 \text{ m}^2\text{K/W}$  erhöht. Das Ausmaß der Erhöhung des äußeren Wärmeübergangswiderstandes hängt davon ab, wie groß das Begrünungssystem ist wie stark es hinterlüftet wird. Kleinflächige Begrünungssysteme ohne Verblendung, deren Luft im Hinterlüftungsspalt sich stark mit der Außenluft austauscht weisen eine geringere Erhöhung des Wärmeübergangswiderstandes auf. Großflächige Begrünungssysteme mit Verblendung und deshalb auch mit geringerem Luftwechsel zwischen Hinterlüftungsspalt und Außenluft weisen eine größere Erhöhung des äußeren Wärmeübergangswiderstandes auf. Gemessen wurde ausschließlich an ungedämmten Fassaden. Dieser Bericht bildet die Basis für die Berechnungen, die im Zuge des vorliegenden Projektes angestellt wurden.

In [8] und [9] wurden auch Insitu-Messungen durchgeführt. Sie beschreiben eine Verbesserung des äußeren Wärmeübergangswiderstandes zwischen  $0,31 \text{ m}^2\text{K/W}$  und  $0,68 \text{ m}^2\text{K/W}$  aufgrund von Fassadenbegrünung. In [10] wurden drei unterschiedliche Fassaden mit Fassadenbegrünung untersucht. Es wurde eine Verbesserung des U-Wertes von 20 % aufgrund der Begrünung festgestellt. Auf die Größe der Hinterlüftungsöffnungen wurde dabei nicht eingegangen. Im Jahr 2011 wurde in [11] eine Reduktion der Luftbewegung an der Fassade aufgrund der Fassadenbegrünung festgestellt. Die Luft an der Außenfassade hinter einem Begrünungssystem bewegt sich nicht schneller als in einem Innenraum. Nach [12] ergibt sich dadurch eine Erhöhung des äußeren Wärmeübergangswiderstandes von  $0,09 \text{ m}^2\text{K/W}$ . In [13] wurde mittels Computersimulation eine Erhöhung des äußeren Wärmeübergangswiderstandes aufgrund unterschiedlicher Fassadenbegrünungssysteme von 0 bis  $0,7 \text{ m}^2\text{K/W}$  festgestellt. Auch im Jahr 2013 wurde von J. A. Oosterlee eine Berechnung durchgeführt, die zeigte, dass der zusätzliche äußere Wärmeübergangswiderstand zwischen  $0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$  und  $0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  liegt [14]. In diesem Paper wurden Wärmebrücken zwar berücksichtigt, die Auswirkungen von Wärmebrücken aber nicht explizit gezeigt. Es ist deshalb unklar, wie groß die Auswirkungen der Wärmebrücken sind oder an was für einer Fassade die Begrünung installiert ist.

Das vorliegende Projekt hat auf den Messungen, Berechnungen und Ergebnissen von [1] aufgebaut. Es wurden die gleichen Begrünungssysteme installiert. Auch der Standort befindet sich in derselben Klimazone.

Die Unterschiede zu der in [1] untersuchten Situation beschränken sich auf die Bauweise der Fassaden. Da für den äußeren Wärmeübergangswiderstand der untersuchten nicht begrünten Fassade derselbe Wert angenommen werden kann, wie in [1] wirken sich die Unterschiede nicht auf den zusätzlichen äußeren Wärmeübergangswiderstand aus. Dieser kann aus den Messungen in [1] übernommen werden. Beim vorliegenden Projekt wurden ausschließlich großflächige Begrünungssysteme mit Verblendung installiert. Deshalb wird für den zusätzlichen äußeren Wärmeübergangswiderstand eine Erhöhung von  $0,39 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  angenommen. Noch nicht berücksichtigt sind hierbei aber die Wärmebrücken. Diese wurden mittels AnTherm® (Version 8.133.1.16375) für die Situationen im vorliegenden Projekt berechnet. Es wurde der punktuelle Wärmebrücken-Verlustkoeffiziente ( $\chi$ -Werte) der Befestigungselemente dynamisch berechnet. Die für die Berechnung erforderlichen bauphysikalischen Baustoff-Kennwerte (Dichte, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmespeicherkapazität und Wasserdampfdiffusionswiderstand) wurden der ÖNORM B 8115-7:2013 [15] sowie der ON-V 31:2001 [16] entnommen. Als Ergebnis einer Wärmebrückenberechnung wird bei dem 3D-Schichten-Modell die Matrix der thermischen Leitwerte  $L^{3D}$  ausgewiesen. Die Elemente der Leitwert-Matrix sind von den Randbedingungen (Temperaturen und Raumluftheuchten) unabhängig. Sie besitzen die Einheit  $\text{W}/\text{K}$ . Die Differenz der  $L^{3D}$ -Werte der Wärmebrückenberechnungen einer Außenwandkonstruktion, einmal mit und einmal ohne Berücksichtigung der Unterkonstruktion für die Fassadenbegrünung, ergibt den gesuchten  $\chi$ -Wert dieser punktuellen Wärmebrücke. Dieser  $\chi$ -Wert wird mit der Anzahl der Befestigungselemente je Quadratmeter multipliziert. Somit ist der  $\Delta U$ -Wert ermittelt. Er beschreibt die Änderung des U-Wertes. Wird er zum U-Wert der ungestörten Fassade addiert, entsteht der neue U-Wert unter Berücksichtigung der Wärmebrücken.

Die Fassaden des vorliegenden Projektes, an denen Begrünung befestigt wurde werden in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Aufbau der im Projekt untersuchten Fassaden

Bauteil	Stärke	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlasswiderstand R
	$m$	$\text{W}/(\text{mK})$	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
<b>R<sub>si</sub></b>			0.13
<b>Stahlbeton</b>	0.250	2.300	0.11
<b>XPS</b>	0.140	0.032	4.38
<b>Putz</b>	0.005	0.670	0.01
<b>R<sub>se</sub></b>			0.04
<b>Summe</b>	0.395		4.67

Da Fassadenbegrünung in Österreich häufig an Bestandsgebäuden ohne Dämmung installiert wird und um einen Vergleich zwischen gedämmten und ungedämmten Gebäuden darzustellen, wurden im Zuge des vorliegenden Projektes auch zwei weitere Fassaden rechnerisch untersucht. Sie beschreiben Gebäudetypen, die in Österreich üblich sind. Die Messungen des Forschungsprojektes [1] wurden an den in Tabelle 3 und Tabelle 4 beschriebenen Fassaden durchgeführt. Tabelle 3 beschreibt eine ungedämmte Fassade, die aus Hochlochziegeln gemauert ist.

Tabelle 3: Aufbau einer im Projekt rechnerisch untersuchten ungedämmten Fassade aus Hochlochziegeln

Bauteil	Stärke	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlasswiderstand R
	$m$	$W/(m.K)$	$m^2.K/W$
<b>R<sub>si</sub></b>			0.13
<b>Hochlochziegel</b>	0.350	0.390	0.87
<b>Putz</b>	0.005	0.670	0.01
<b>R<sub>se</sub></b>			0.04
<b>Total</b>	0.355		1.05

Tabelle 4 beschreibt eine typische Wiener Altbaufassade, wie sie um 1900 meistens errichtet wurden.

Tabelle 4: Aufbau einer im Projekt rechnerisch untersuchten ungedämmten Fassade aus Vollziegeln

Bauteil	Stärke	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$	Wärmedurchlasswiderstand R
	$m$	$W/(mK)$	$m^2K/W$
<b>R<sub>si</sub></b>			0.13
<b>Vollziegel</b>	0.600	0.690	0.90
<b>Putz</b>	0.005	0.670	0.01
<b>R<sub>se</sub></b>			0.04
<b>Total</b>	0.605		1.08

Abgesehen von den Berechnungen, wurden die Fassaden auch mittels Thermobildkamera untersucht. Bei der dafür eingesetzten Wärmebildkamera handelt es sich um die H2640 von NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd. Sie wird in Abbildung 22 dargestellt.



Abbildung 22: Wärmebildkamera zur Aufnahme der thermographischen Bilder.

Für das vorliegende Projekt war es wichtig, eine Thermokamera mit weniger als  $1,0^\circ$ mrad geometrischer Auflösung und zumindest  $640 \times 480$  thermischen Pixeln zu verwenden. Nur so konnten die begrünten, lebenden Fassaden genau untersucht werden. Auf den Bildern werden den erfassten Oberflächentemperaturen Farben zugeordnet. Es ist allgemein üblich den höheren Temperaturen „warme“ Farben und den niedrigeren Temperaturen „kühle“ Farben zuzuordnen.

### 3.1.2 Methode zur Ermittlung der akustischen Auswirkungen von Gebäudebegrünung

Die Zeit, in welcher der Schalldruckpegel um 60 dB absinkt, nach verstummen einer Schallquelle, wird Nachhallzeit genannt. Die Nachhallzeit kann mittels Schallmessgeräten gemessen werden. Wichtig ist, dass die Schallquelle plötzlich verstummt.

Gemessen wurde die Nachhallzeit in den Räumen, die begrünt wurden, sowohl vor als auch nach der Begrünung. Es wurde das Verfahren der integrierten Impulsantwort nach EN ISO 3382-3 [17] angewendet. Bei den untersuchten Räumen handelt es sich um Klassenräume in Neubaugebäuden oder neu errichteten Gebäudeteilen. Die eingesetzten Messgeräte sind Norsonic Nor140 Schallanalysatoren (siehe Abbildung 23 links). Vier dieser Messgeräte wurden gleichmäßig im Raum verteilt (siehe Abbildung 23 rechts). Ihr Abstand betrug 2-6 Meter. Ein Luftballon wurde zum Platzen gebracht und das erzeugte eine Schallquelle mit plötzlichem Verstummen. Es wurden in jedem Raum mehrere Messungen hintereinander durchgeführt, wobei die Positionen der Messgeräte zwischen den Versuchen geändert wurden. Nach der Durchführung mehrerer Messungen wurden die Mittelwerte der hintereinander durchgeführten Messungen gebildet.



Abbildung 23: Links: Norsonic Nor140 Schallanalysator; Rechts: Drei Schallmessgeräte in einem begrüntem Klassenraum während einer Nachhallzeitmessung.

Mithilfe der Sabine'schen Nachhallzeitformel kann die Nachhallzeit auch mittels Raumvolumen und äquivalenter Schallabsorptionsoberflächen berechnet werden (siehe Formel 1).

$$T = 0,163 \frac{V}{A}$$

- T Nachhallzeit [s]
- V Raumvolumen [m<sup>3</sup>]
- A Äquivalente Schallabsorptionsfläche [m<sup>2</sup>]

Formel 1: Sabine'sche Formel zur Berechnung der Nachhallzeit nach ÖNROM 8115 [3]

Wie in Formel 1 ersichtlich, ist die Nachhallzeit sowohl vom Volumen des untersuchten Raumes als auch von dessen äquivalenter Schallabsorptionsfläche abhängig. Das Volumen und die Raumbofläche der untersuchten Räume sind bekannt. Die Nachhallzeit wurde gemessen. Somit ist es möglich die äquivalente Schallabsorptionsfläche zu berechnen. Es wird angenommen, dass sich das Raumvolumen aufgrund der Installation der Begrünung nicht verändert. Auch die Oberflächengröße der Räume wird als konstant

angenommen unabhängig davon, ob der Raum begrünt ist oder nicht. Die Oberflächenbeschaffenheit wurde aufgrund der Begrünung verändert. Deshalb ist es möglich die äquivalenten Schallabsorptionsflächen vor und nach begrünen des Raumes miteinander zu vergleichen, wenn die Nachhallzeiten bekannt sind. Auch die Fläche der Begrünung ist bekannt. Formel 1 zeigt wie mit der gemessenen Nachhallzeit und den bekannten Volumen die äquivalente Schallabsorptionsfläche berechnet werden konnte.

Da es Messungen vor und nach Einbringen der Begrünung gab, können auch die beiden äquivalenten Schallabsorptionsflächen im Raum miteinander verglichen werden. Auch der Schallabsorptionsgrad der untersuchten Räume und der vertikalen Begrünungssystem wurde berechnet. Formel 2 zeigt eine Verbindung zwischen der bereits ermittelten äquivalenten Schallabsorptionsfläche und den Schallabsorptionsgrad.

$$A = \sum \alpha_i S_i$$

- A Äquivalente Schallabsorptionsfläche in m<sup>2</sup>
- $\alpha_i$  Schallabsorptionsgrad der jeweiligen Oberfläche
- $S_i$  Einzelflächen des Raumes in m<sup>2</sup>

*Formel 2: Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche*

Nach Ermittlung der äquivalenten Schallabsorptionsflächen wurde der durchschnittliche Schallabsorptionsgrad der Raumbofläche ermittelt. Die Berechnung erfolgte mittels Formel 3.

$$\alpha = \frac{A}{\sum S_i}$$

- A Äquivalente Schallabsorptionsfläche in m<sup>2</sup>
- $\alpha$  Durchschnittliche Schallabsorptionsgrad
- $\sum S_i$  Summe der Einzelflächen des Raumes in m<sup>2</sup>

*Formel 3: Berechnung der des durchschnittlichen Schallabsorptionsgrades*

In weiterer Folge wurde der äquivalente Schallabsorptionsgrad der begrüneten Fläche berechnet. Wenn das Raumvolumen gleichbleibt, dann kann mittels Formel 4 der Schallabsorptionsgrad des vertikalen Begrünungssystems ermittelt werden.

$$\alpha_{vBs} = \frac{\alpha * \sum S_i - (\alpha_{oBs}(\sum S_i - S_{vBs}))}{S_{vBs}}$$

- $\alpha_{vBs}$  Schallabsorptionsgrad des vertikalen Begrünungssystems
- $\alpha$  Schallabsorptionsgrad des Raumes mit Begrünung
- $\alpha_{oBs}$  Schallabsorptionsgrad des Raumes ohne Begrünung
- $\sum S_i$  Summe der Einzelflächen des Raumes in m<sup>2</sup>
- $S_{vBs}$  Begrünungsfläche des vertikalen Begrünungssystems in m<sup>2</sup>

*Formel 4: Berechnung des Schallabsorptionsgrad einer begrüneten Wand*

Aus dem Schallabsorptionsgrad lässt sich eine Lärminderung für bestimmte Situationen ableiten.

$$\Delta L_{(f)} = 10 \log \frac{A_{nachher(f)}}{A_{vorher(f)}}$$

*Formel 5: Ermittlung der Reduktion des Schallpegels in einem Schallfeld aufgrund der veränderten äquivalenten Schallabsorptionsflächen*

Bei gleichbleibenden Randbedingungen für Raumvolumen und Raumboflächen lässt sich Formel 5 auch in Formel 6 umwandeln.

$$\Delta L_{(f)} = 10 \log \frac{T_{\text{vorher}}(f)}{T_{\text{nachher}}(f)}$$

Formel 6: Ermittlung der Reduktion des Schallpegels in einem Schallfeld aufgrund der veränderten Nachhallzeit

Die Bezeichnungen für Formel 5 und Formel 6 sind:

$\Delta L_{(f)}$	Schallpegelminderung in dB
$A_{\text{nachher}}(f)$	Äquivalente Schallabsorptionsfläche nach Installation der Begrünung in m <sup>2</sup>
$A_{\text{vorher}}(f)$	Äquivalente Schallabsorptionsfläche vor Installation der Begrünung in m <sup>2</sup>
$T_{\text{vorher}}(f)$	Nachhallzeit vor Installation der Begrünung in s
$T_{\text{nachher}}(f)$	Nachhallzeit nach Installation der Begrünung in s

Die optimale Nachhallzeit wird in der ÖNORM 8115-3 [18] beschrieben. Sie ist abhängig von der Raumnutzung und dem Raumvolumen. In Schulen ist eine möglichst kurze Nachhallzeit von Vorteil. Gesprochene Wörter können bei niedrigerer Nachhallzeit besser verstanden werden. Das gilt insbesondere dann, wenn Fremdsprachen gelernt werden während sich viele Personen in einem Raum aufhalten, die Nebengeräusche erzeugen.

### 3.1.3 Methode zur Ermittlung hygrothermischer Parameter

Das hygrothermische Raumklima wird im Wesentlichen von den Parametern der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit beschrieben. In der begrünten Klasse, dem Biologieraum und der Referenzklasse wurden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit zeitgleich alle 5-10 Minuten während der gesamten Projektlaufzeit durchgehend gemessen. Dafür wurden im BRG 16 (gedämmter Neubau, ohne Lüftungsanlage) und BRG 15 (gedämmter Neubau, mit Lüftungsanlage) LineMetrics Wireless LM-W-F-TH-IP20-EU-3 Temperatur und Luftfeuchte Sensoren verwendet. Im GRG 7 Lin Picco A05 sowie RTR 53 A - Datenlogger (Abbildung 24).

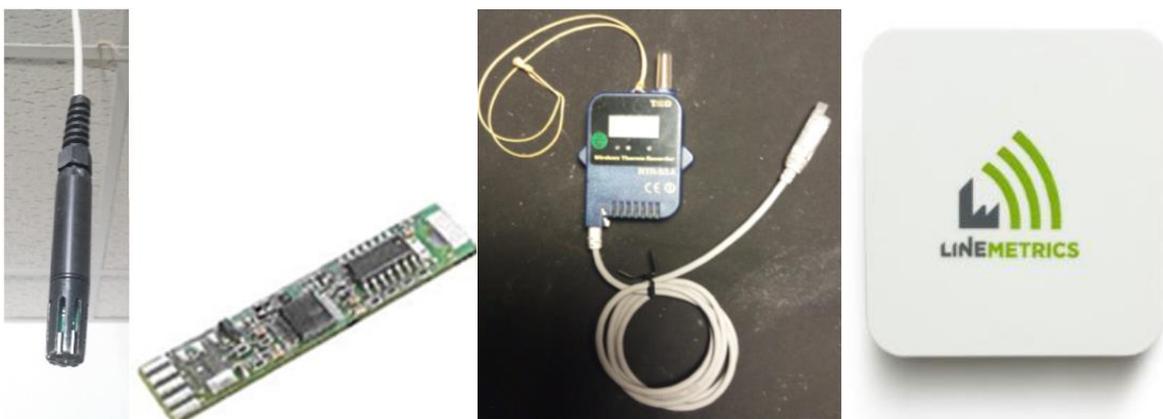


Abbildung 24: Die Messegeräte (links Lin Picco A05, Mitte: RTR 53 A, rechts: LineMetrics Wireless LM-W-F-TH-IP20-EU-3)

Bei den LineMetrics Wireless – Sensoren handelt es sich um Sensoren, die mit Batterie betrieben werden können und ohne Kabel, die gemessenen Daten an einen Logger senden können. Dieser Logger speichert die Messdaten regelmäßig in einer Cloud ab, die von der Partnerfirma LineMetrics GmbH betreut wurde. Aufgrund der guten Zusammenarbeit konnten die Daten immer aktuell vom Projektkonsortium ausgelesen und ausgewertet werden.

Die Literatur bietet zahlreiche Publikationen, in denen Untersuchungen bezüglich hygrothermischer Behaglichkeit bzw. Bewertung dieser angestellt wurden [19][20][21][22][23][24][25][26][27][28][29]. W. Frank erläutert in "Raumklima und Thermische Behaglichkeit" [29] ein Behaglichkeitsdiagramm, das für die Bewertungen verwendet wurde. Abbildung 25 zeigt die hygrothermischen Bereiche, die für die untersuchten Klassenräume als behaglich (innerhalb des roten Bereichs), noch behaglich (innerhalb des grünen Bereichs, aber außerhalb des roten Bereichs) und nicht behaglich (außerhalb des grünen Bereichs) eingestuft werden.

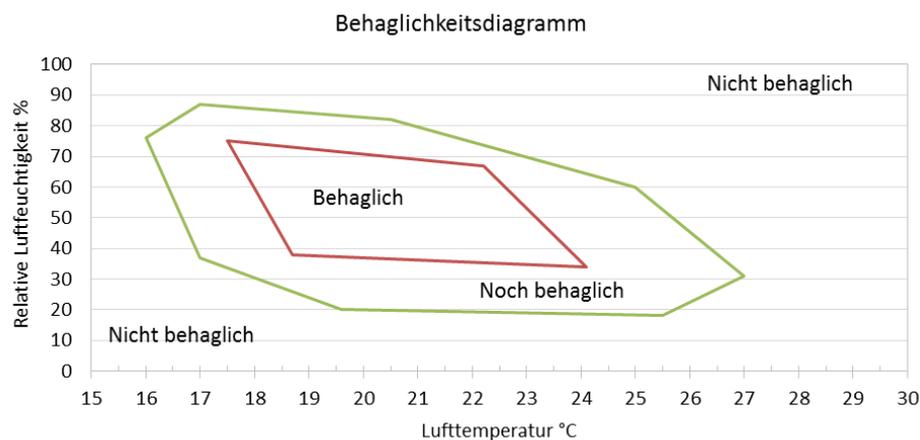


Abbildung 25: Diagramm nach W. Frank zur hygrothermischen Bewertung

### 3.1.4 Methode zur Ermittlung der Schimmelsporenbelastung aufgrund von Innenraumbegrünung

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden Schimmelsporenmessungen durchgeführt. Gemessen wurde in den begrünten Räumen und in nicht begrünten Räumen der Gebäude. Außerdem wurden Messungen in der Außenluft im Umfeld der Schulen durchgeführt. Die Firma IBO Innenraumanalytik OG wurde beauftragt, die Schimmelsporenmessungen durchzuführen. Die Schimmelsporenmessungen wurden von Frau DI C. Schmöger geleitet. Gemessen wurden kultivierbare, vitale Schimmelpilzsporen. Dafür wurden Proben aus Luft entnommen. Vor den Probenentnahmen wurden Fenster und Türen der untersuchten Räume für mindestens acht Stunden geschlossen. Die Probeentnahme erfolgte nach ÖNORM ISO 16000-18 [30] in der Raummitte des jeweiligen Messraumes.

Die Fotos in Abbildung 26 und Abbildung 27 zeigen die Ausschnitte aus den Messungen in den beiden untersuchten Schulen.



Abbildung 26: Schimmelsporenmessungen in den Räumen des BRG 16



Abbildung 27: Schimmelsporenmessungen in den Räumen des BRG 15

### 3.1.5 Methode zur Untersuchung der Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration

Die CO<sub>2</sub>-Konzentration wurde in den begrünten Räumen und den Referenzräumen während der gesamten Projektlaufzeit gemessen. Das Messintervall war 10 Minuten. Der gemessene Konzentrationsbereich liegt zwischen 450 und 2000 ppm. In allen Klassenräumen wurde zeitgleich gemessen. Die Referenzklassen und die begrünten Klassen unterschieden sich nur gering in ihrer Nutzung.

Während des Schulbetriebs hängt die CO<sub>2</sub>-Konzentration von vielen Faktoren ab. Diese sind z.B.:

- Anzahl der Raumnutzerinnen und Raumnutzer
- Körperliche Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler
- Geöffnete Fenster
- Geöffnete Türe zum Gang (die CO<sub>2</sub>-Konzentration am Gang war ebenfalls nicht konstant)
- Wetterverhältnisse
- Raumvolumen

Unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den Räumen sind deshalb nicht zwangsläufig auf die Begrünung zurückzuführen. Bei der Auswertung der Daten wurde darauf geachtet, dass nur die Zeiträume berücksichtigt wurden, in denen die Klassenräume genutzt wurden.

### 3.1.6 Methode zur Berechnung des Mikroklimas

Die mikroklimatische Performanz des Projektes wurde mit Hilfe der GREENPASS-Technologie evaluiert und bewertet. Besonderes Augenmerk fiel dabei auf die Nutzung der schulbezogenen Freiräume durch Schülerinnen und Schüler. Zusätzlich zu den Standardauswertungen der GREENPASS-Methode wurden daher Auswertungen des thermischen Komforts für Kinder zu den Pausenzeiten erstellt.

Die Wirkungen des Schulbaus wurden dabei auch mit dem derzeitigen Bestand verglichen und sogenannten Standard Referenzszenarien. Dadurch können die Veränderungen und Wirkungen im Kontext und in Bezug auf den Bestand gesetzt und verglichen werden.

### 3.1.7 Methode zur Formel für die Berechnung der Evapotranspiration

Zur Entwicklung der Formel für eine Berechnung der Evapotranspiration von Innenraumbegrünungen wurde zu Beginn die Verdunstung ausgewählter Pflanzenarten (*Chlorophytum aureum*, *Dracaena fragrans*, *Epipremnum aureum*, *Nephrolepis exaltata*, *Sansevieria trifasciata*) in der Klimakammer nach [31] gemessen.

Dazu wurden die Pflanzen samt Pflanztrog und dazugehörigem Substrat (Seramis) auf 40 x 40 cm Wägezellen positioniert und der Gewichtsverlust in Liter pro Zeiteinheit gemessen. Es wurden unterschiedliche Volumina der Pflanztöpfe (1 Liter, 3 Liter und 5 Liter) verwendet, um eine Adaptierung der Formel auf die Trogrgröße zu ermöglichen. Vor jedem Versuch wurden die Pflanzen gemäß [32][33] 24 Stunden mit Wasser überstaut und tropften danach vier Stunden ab, bevor sie auf die Wägezelle in der Klimakammer gestellt wurden. Dort wurde das Gewicht jeweils pro Wägezelle, in Intervallen von einer Minute mitgeloggt. Dadurch kann der Gewichtsverlust [Kilogramm], gleichzusetzen mit der Evapotranspiration [Liter], über einen gewissen Zeitraum (96 Stunden) für das jeweilige Klimaszenario und die jeweilige Pflanzenart in verschiedenen Größenabstufungen (klein, mittel, groß) bestimmt werden. Um eine Zuordnung der Pflanzen in klein/ mittel/ groß zu ermöglichen, wurde das jeweilige kubische Volumen, der Leaf Area Index, sowie die Sprossbasisfläche jeder Pflanze erfasst. Für die Versuche in der Klimakammer wurden fünf aus Sicht des relevanten Raumklimas bedeutende Szenarien entwickelt. Als Anlehnung dazu diente die vom Projektpartner der TU Wien gemessenen Raumbedingungen Luftfeuchtigkeit und Temperatur betreffend. Tabelle 5 gibt eine Übersicht zu den unterschiedlichen Klimaszenarien.

Tabelle 5: Übersicht zu den unterschiedlichen Klimaszenarien, die zu Erstellung der Verdunstungsformel verwendet wurden.

Klimaszenario	I	II	III	IV	V
<b>Relative Luftfeuchtigkeit</b>	30 %	45 %	60 %	45 %	45 %
<b>Lufttemperatur</b>	22 °C	22 °C	22 °C	14 °C	30 °C
<b>Beleuchtungsdauer</b>	08:00 – 20:00	08:00 – 20:00	08:00 – 20:00	08:00 – 20:00	08:00 – 20:00

Es erfolgten jeweils drei Wiederholungen pro Klimaszenario, wobei die Pflanzen auf immer andere Wägezellen positioniert wurden, um mögliche Wechselwirkungen weitestgehend auszuschließen. Danach erfolgte eine Auswertung der Messergebnisse mit Hilfe einer Tabellenkalkulationssoftware (Excel), die den Gewichtsverlust in Abhängigkeit von Temperatur, Leaf Area Index, Kubisches Volumen und Pflanzenart via Regression darstellen.

### 3.1.8 Methode der messbaren und visuellen vegetationstechnischen Parameter

Grundsätzlich dienen Vegetationsaufnahmen dazu einen Pflanzenbestand zu charakterisieren. Nach [34] handelt es sich bei einer vegetationsökologischen Untersuchung um ein Experiment, wobei eine Manipulation eines kontrollierten Systems erfolgt und die Reaktion des Systems gemessen wird.

Im Zuge dieses Forschungsprojekts kommt ein umfangreiches Vegetationsmonitoring, der in den Substraten kultivierten Zeigerpflanzen, in Form vierteljährlicher Bonituren zur Anwendung. Die Bonituren gehen dabei sowohl auf visuelle als auch auf messbare Parameter ein.

Die Pflanzenbewertung erfolgt in Anlehnung an den am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) entwickelten Bewertungsbogen zur Beurteilung krautiger Pflanzen.

#### DECKUNGSGRAD

„Das Dominanzmerkmal „Deckung“ einer Pflanzenart ist der prozentuale Anteil ihrer senkrechten Projektion auf dem Boden im Verhältnis zu einer gegebenen Aufnahmefläche“ [34].

Der Deckungsgrad aller Begrünungsflächen wurde mit Photoshop ermittelt. Hierzu wurden monatlich Fotos der Grünwände angefertigt und anschließend mit dem Programm die Lücken im Blattwerk markiert. Aus der Gesamtpixelzahl der Bilder und der Pixelzahl der Lücken ergibt sich nach Formel 7 die Pixelanzahl des Blattwerks.

$$\text{Blattwerk} = \text{Gesamtfläche} - \text{Lücken}$$

Formel 7: Bestimmung des Blattwerks

Der Deckungsgrad in Prozent wurde gemäß Formel 8 berechnet.

$$\text{Deckungsgrad [\%]} = 100 / \text{Gesamtfläche} * \text{Blattwerk}$$

Formel 8: Berechnung des Deckungsgrads in Prozent

Überhänge der Pflanzen über den Vegetationsträger wurden bei der Ermittlung des Deckungsgrades nicht berücksichtigt, da sie für die Berechnung nicht relevant sind. Die Fotos wurden im Vorhinein entsprechend zugeschnitten, damit nur die eigentliche Begrünungsfläche sichtbar blieb.

## GESAMTEINDRUCK - VITALITÄT

Die Vitalität gibt Auskunft darüber, ob sich eine Art im ökologischen Optimal- oder Randbereich ihrer Existenz befindet. Aussagen über die Konkurrenzkraft und das Reproduktionsvermögen können abgeleitet werden [35].

Die Vitalität der Pflanzen wurde nach [36] mittels einer Skala von 0 bis 9 bestimmt.

Die Vitalität ergibt sich aus mehreren Parametern, die zur Bewertung herangezogen wurden.

- Wüchsigkeit
- Blattzustand
- Schädlingsbefall
- Krankheiten
- Nährstoffversorgung

0...Pflanze gänzlich abgestorben - nicht mehr vorhanden

1...Pflanze hat noch grüne Blattanteile, stirbt aber ab

2...Pflanze kümmerlich, starke Rückbildung

3...Pflanze entwickelt sich nicht weiter - leichte Rückbildung

4...Pflanze stagniert - beginnende Rückbildung

5...Pflanze stagniert

6...Pflanze hat insgesamt leichten Zuwachs - jedoch mit Mangelercheinungen, Erholung schwierig

7...Pflanze weist Zuwachs auf - Mangelercheinungen, Schädlingsbefall, kann sich aber leicht erholen

8...Pflanze entwickelt sich gut, guter Zuwachs - keine Mängel oder Schädlinge

9...Pflanze entwickelt sich sehr gut, sehr guter Zuwachs - keine Mängel oder Schädlinge, selbstständige Vermehrung

Um einen Gesamteindruck der Pflanzen zu bekommen, wurde mittels dieses Bewertungssystems, unter Beachtung der oben genannten Parameter, eine der entsprechenden Zahlen vergeben. Haben sich Pflanzen zwischen zwei Stadien befunden wurden sie zum Beispiel entsprechend mit 6,5 bewertet.

Der Gesamteindruck der Grünwände pro Aufnahmezeitpunkt ergibt sich schließlich aus den Mittelwerten aller vorhandenen Pflanzen. Dieser besteht aus der Summe der monatlich gewonnenen Gesamteindrücke jeder einzelnen Art geteilt durch die Anzahl der vorhandenen Arten. Die mittlere Vitalität jeder Pflanzenart wurde ebenfalls gebildet und gibt ersten Aufschluss über die Eignung der entsprechenden Art. Dieser Wert wurde aus der Summe der Vitalität jeder Art über den gesamten Beobachtungszeitraum geteilt durch die Anzahl der Aufnahmen errechnet.

Bei der Aufnahme wurden die Systeme unterschiedlich betrachtet. Bei den Trogsystemen wurde jedes einzelne Individuum laut Pflanzplan bewertet und das Mittel zur Berechnung herangezogen. Die Gesamteindrücke der Vliesssysteme sowie des Korbsystems basieren auf einem Mittel der jeweiligen Art, ohne jede Pflanze einzeln zu bewerten. Hier wurde bereits bei der Aufnahme im Vorhinein ein mittlerer Wert für alle Individuen der Art festgelegt und dieser wurde für die Berechnung des Gesamteindrucks herangezogen.

Das heißt jede Pflanze wurde betrachtet aber nicht separat bewertet, sondern gleich ein entsprechend repräsentativer Faktor gewählt.

### ZUWACHS

Die Wuchshöhe gibt Auskunft über das Wachstumsverhalten der Pflanzen [37].

Die Größe der Pflanzen wurde mittels Maßbandes gemessen und ergibt sich aus dem waagerechten Abstand von der Wand zur Spitze der gemessenen Pflanze. Für jede Pflanzenart wurde an drei zufällig gewählten Individuen oder Pflanzengruppen jeweils eine Messung durchgeführt und ein Mittel aus den Werten gebildet.

Beim Trogsystem wurden durch die in Reihe gepflanzten Arten eine Messung oben, mittig und unten durchgeführt. Die Vliessysteme und das Korbsystem sind sehr durchmischt bepflanzt und somit wurden Individuen aus dem oberen, mittleren und unterm Bereich gewählt.

Um einen durchschnittlichen Eindruck zu bekommen, wurden die Pflanzen in den Vliessystemen zufällig ausgewählt, jedoch wurde darauf geachtet, Exemplare unterschiedlicher Größen zu vermessen. Bei jenen Trogsystemen, bei denen der Messpunkt in etwa immer an derselben Stelle war, wurde auch ein gemittelter Wert angenommen, wenn in dem Bereich die Größen der Pflanzen stark variierten.

Aus drei Messwerten wurde somit der mittlere Zuwachs jeder Art berechnet. Bei einigen Arten waren aufgrund von Ausfällen keine drei Pflanzen vorhanden, in dem Fall besteht der Mittelwert nur aus zwei Werten oder gar aus einem Einzelwert, wenn nur noch ein Exemplar vorhanden war.

### LICHTMESSUNG

Die Lichtmessungen wurden im Abstand von einem Meter mit einem Quantum Meter durchgeführt. Die fünf Messungen wurden am oberen und unteren Rand sowie mittig wiederholt. Dazu wurde das Messgerät im rechten Winkel vor den Pflanzen, in Richtung des LED-Scheinwerfers/-Leiste gehalten. Das Messgerät misst dabei das für die Pflanzen verwendbare Licht im Wellenlängenbereich der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR - photosynthetic active radiation). Die Einheit, um den PAR zu quantifizieren, ist die photosynthesische Photonenflussdichte (PPFD - photosynthetic photon flux density), sie gibt an wie viele Photonen pro Sekunde, pro Quadratmeter auf eine Fläche in  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  auftreffen [38].

### STROM- UND WASSERVERBRAUCH

Die Strom- und Wasserstände wurden von Zählern abgelesen und dokumentiert. Der Verbrauch wurde ausschließlich über den Beobachtungszeitraum von April 2019 bis August 2019 berücksichtigt. Die Verbrauchswerte ergeben sich somit aus der Differenz zwischen Anfangs- und Endwert.

Für die Kostenkalkulation des Strom- und Wasserverbrauchs wurden aktuelle Preise der Firma Wien Energie und der Stadt Wien herangezogen.

#### ***Strom von Wien Energie:***

Tarif: OPTIMA (Preise gültig ab 01.06.2019)

Verbrauchspreis (Cent/kWh) exkl. 20% Ust.: 7,7701

Verbrauchspreis (Cent/kWh) inkl. 20% Ust.: 9,8836

Für die Berechnung wurde der Verbrauchspreis inkl. 20% Ust. angenommen. [39]

#### ***Wasser von der Stadt Wien:***

Die Stadt Wien verrechnet pro  $\text{m}^3$  Wasser einen Preis 1,92 Euro

An einigen Aufnahmetagen war eine Ablesung der Zählerstände nicht möglich, da entweder der Raum nicht zugänglich oder die Schränke mit den Zählern verschlossen und kein Schlüssel zu organisieren war.

Im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) werden die Tanks im Innenraum händisch mittels Gießkanne befüllt, somit gibt es hier keine Zahlen zum Wasserverbrauch. Jedoch sind in beiden Schulen (Neubau mit und ohne Lüftungsanlage) im Innenraum identische Systeme vorhanden und der Verbrauch in etwa gleich sein dürfte.

### 3.2 Methode zur Untersuchung der Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf die Staubkonzentration

Die Bestimmung der Staubkonzentration in ausgewählten Schulräumen und an Referenzmessstellen wurden mit zwei tragbaren Spektrometern, „optical particle counter“ (OPC), durchgeführt. Bei den verwendeten Geräten handelt es sich um das Modell MINI-LAS 11-E der Firma „Grimm AEROSOL TECHNIK GmbH & Co KG“, welche mit Hilfe der Streuung von Licht, das auf einen durch automatische Probenahme generierten Partikelbeziehungswise Luftstrom trifft, den Partikelgehalt der durch einen, in den Messgeräten vorhandenen Einlass eingesogenen Luft, bestimmen. Durch Modulation der Intensität der Lichtquelle (Laser, 660 nm) lässt sich somit ein breiter Bereich von Partikelgrößen (0,25 µm – 32 µm) in der Umgebungsluft detektieren.

Die Messungen fanden innerhalb von mehreren Messperioden statt. Einerseits lag der Fokus vor allem auf einem Vergleich der begrünten Klassen mit der Referenzklasse, während keine Schüler anwesend waren. Zusätzlich wurde in diesem Zeitraum eine genaue Belüftungsstrategie angewendet, um den Einfluss dieser auf die Konzentrationen von Feinstaub und Ruß quantifizieren zu können. Die Messung der Partikelverteilung mit dem Niederdruckimpaktor wurde ebenfalls in diesen Perioden durchgeführt. Andererseits gab es Messperiode, in denen nur optische Partikelzähler zur Anwendung kamen, welche fix an den Messorten installiert wurden. Somit waren diese die gesamte Zeit, sowohl im Unterricht als auch am Nachmittag und in der Nacht, im Einsatz. Ein Gerät wurde dabei jeweils in einer Klasse und das andere speziell geschützt im Innenhof der Schule aufgestellt.

#### 3.2.1 Staubmessgeräte

Bei den verwendeten Spektrometern handelte es sich um das Modell MINI-LAS 11-E der Firma „Grimm AEROSOL TECHNIK GmbH & Co KG“, welches den Partikelgehalt in der Umgebungsluft, mit Hilfe der Streuung von Licht das in einer Messkammer auf einen durch automatische Probenahme generierten Partikel- bzw. Luftstrom trifft, bestimmt. Bei der Lichtquelle handelt es sich um einen Laser (660nm), der in seiner Intensität moduliert werden kann, wodurch Partikel mit einer Größe von (0,25 µm - 32 µm) in der Luft klassiert werden können. Für die Messung im Außenbereich wurden die Geräte in Aluminiumkisten mit entsprechenden Öffnungen für die gewünschte Luftzufuhr aufbewahrt.

Bei dem zur Verwendung gekommenen elektrischen Niederdruckimpaktor handelt es sich um das Modell ELPI® 2E10-10 von der Firma DEKATI Ltd, mit dem die Verteilung der Partikelgrößen in Luft in Echtzeit gemessen werden kann. Dazu wird die zu bestimmende Luft in einen sich im Gerät befindlichen und bei niedrigem Druck arbeitenden Kaskadenimpaktor eingeleitet und somit Partikel, die in der Luft vorhanden sind, klassiert. Bevor dies geschieht werden jedoch die Partikel mittels Koronaentladung elektrisch aufgeladen um somit anschließend mit Elektrometern in den einzelnen Trennstufen detektiert werden zu können. Der gemessene Strom ist dabei direkt proportional zu der Konzentration der jeweiligen Partikelfraktion.

Für die Bestimmung der Rußkonzentration kamen Aethalometer (AE33 & AE51) der Fa. „MAGEE SCIENTIFIC Corporation“ zur Verwendung. Bei der Messung wurden die Partikel kontinuierlich in das Gerät eingesaugt und der Luftstrom auf ein Filter geleitet. Für die Auswertung wird sowohl ein beladener als auch ein nicht beladener Teil des Filters mit Licht verschiedener Wellenlängen bestrahlt und die Abschwächung des Lichts verglichen und dadurch die Rußpartikelkonzentration bestimmt. Um die Rußkonzentration anzugeben wird

der bei 880nm ermittelte Wert herangezogen und mit Hilfe des Absorptions-Koeffizienten die Rußkonzentration berechnet.

### 3.2.2 Messungen

Die Staub- und Rußkonzentration in der Außenluft wurde an den in Abbildung 28 ersichtlichen Referenzmessstellen gemessen. Bei der Messstelle „E“ handelte es sich um eine Messstation der Magistratsabteilung 22, welche aufgrund der Ähnlichkeit, zum Vergleich mit Daten der Messstelle „D“ herangezogen wurde.



Abbildung 28 Übersicht der Messstellen: A (TU Wien, Getreidemarkt 6), B (Privatwohnung, Rudolfsplatz 2), C (MA22 Messstation, Taborstraße), D (Schule, Schuhmeierplatz 7), E (MA22 Messstation, Kendlerstraße 40).

Die Messungen in der Schule BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) wurden z.B. in drei aneinander liegenden Klassenräumen mit ungefähr gleicher Größe deren Fenster in den Schulhof gerichtet waren, sowie im Schulhof, in dem sich auch ein Sportplatz befand, durchgeführt.

Für die Messungen in der Außenluft wurden die Messgeräte im Schulhof in ca. 1,2 m Höhe und ca. 1,5 m entfernt von den Fenstern der Klassenräume installiert. In den Klassenräumen wurden die Messungen in einer Höhe von ca. 1 m und im Abstand von 1 m zu der jeweiligen begrünnten beziehungsweise unbegrünnten Wand durchgeführt. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der wichtigsten Informationen bezüglich der untersuchten Klassenräume.

Tabelle 6: Übersicht über die untersuchten Räume

	<b>Biologiesaal (B)</b>	<b>Begrünte Klasse (G)</b>	<b>Unbegrünte Klasse (R)</b>
<b>Area (m2)</b>	74	68	68
<b>Belüftung</b>	Natürlich	Natürlich	Natürlich
<b>Fenster</b>	3	2	2
<b>Sofa</b>	Nein	Nein	Ja
<b>Tafel</b>	Kreide	Marker	Marker
<b>Begrünung</b>	Ja	Ja	Nein
<b>Zusätzliche Pflanzen</b>	Ja	Nein	Nein

Zusätzlich zu den Messungen in geschlossenen Räumen wurde während der ersten Messperiode eine genaue Belüftungsstrategie angewendet, um den Einfluss der Belüftung auf die Konzentrationen von Feinstaub und Ruß analysieren zu können. Nachdem das jeweilige Messgerät eingeschaltet wurde, wurden den etwaigen Partikeln 15 Minuten Zeit gegeben, um sich abzusetzen. Anschließend wurden die jeweiligen Fenster für 15 Minuten geöffnet, danach 45 Minuten lang geschlossen gehalten und dann für ungefähr eine Stunde lang gekippt.

In Tabelle 7 wird gezeigt, wann Messungen durchgeführt wurden, während die Klassenräume nicht belegt waren. Tabelle 8 zeigt, wann Messungen durchgeführt wurden, während die Klassenräume belegt waren.

*Tabelle 7: Übersicht über die Messungen während Messperiode 1 ohne anwesende Schüler*

Nr	Messperiode	Datum	Ort		Dauer	Belüftung
			S1	S2		
1	1	16.-19.11.2018	B	R	3487	Nein
2	1	22.11.2018	B	R	120	Ja
3	1	23.-26.11.2018	B	R	3493	Nein
4	1	26.11.2018	B	R	92	Ja <sup>a</sup>
5	1	29.11.2018	SY	B	143	Ja
6	1	29.-30.11.2018	SY	RR	681	Nein
7	1	4.12.2018	R	B	231	Ja
8	1	4.-5.12.2018	B	R	625	Nein
9	1	5.12.2018	SY	B	128	Ja
10	1	5.12.2018	G	R	150	Ja <sup>a</sup>
11	1	5.-6.12.2018	G	R	621	Nein
12	1	11.12.2018	R	G	218	Ja
13	1	11.-12.12.2018	R	G	619	Nein
14	1	12.12.2018.	R	B	286	Ja
15	1	12.-13.12.2018	R	B	622	Nein
16	1	14.-17.12.2018	G	R	3509	Ja/Nein <sup>b</sup>
17	1	17.12.2018	SY	R	112	Ja
18	1	17.-18.12.2018	SY	B	736	Nein
19	1	18.12.2018	SY	R	119	Ja
20	2	5.-11.4.2019	SY	B	8363	Ja / Nein

<sup>a</sup> kein Stoßlüften

<sup>b</sup> während den Schulstunden wurde belüftet

*Tabelle 8: Übersicht über die Messungen mit anwesenden Schülern*

	Messperiode	Datum	Klasse	Schulstunden
<b>M1</b>	1	29.11.2018	B	4
<b>M2</b>	1	5.12.2018	R	4
<b>M3</b>	1	19.12.2018	G	2
<b>M4</b>	2	5.4.2019	B	4
<b>M5</b>	2	8.4.2019	B	6
<b>M6</b>	2	9.4.2019	B	6
<b>M7</b>	2	10.4.2019	B	6
<b>M8</b>	2	11.4.2019	B	3

### 3.2.3 Referenzmessstellen für die Qualitätskontrolle:

Die Messungen für die Qualitätskontrolle der Untersuchungen in der Schule wurden von 23.10.2018 bis 20.12.2018 durchgeführt.

Abgesehen von der Messstelle in der Taborstraße, bei der die Bestimmung des Partikelgehalts in ca. 4m Höhe stattgefunden hat, wurden die Messungen an den in Abbildung 28 angeführten Messstellen in ca. 1 m Höhe durchgeführt. Sowohl die Laborräumlichkeiten als auch die von zwei Personen bewohnte Privatwohnung wurden während den Messungen normal genutzt, um repräsentative Werte zu erhalten. Lediglich bei den Messungen im Wägezimmer (W) des Labors blieb dieser gänzlich ungenutzt. Die Messgeräte wurden im Labor im jeweiligen Raum in der Mitte des Raums auf einem Tisch und im Wohnzimmer der Wohnung im Abstand von ca. 0,5 m zur Wand platziert.



Abbildung 29 Foto der Referenzmessstelle Taborstraße mit entsprechendem Messgerät

Tabelle 9 zeigt eine Übersicht der Räume für die Kalibrations- und Angleichsmessungen.

Tabelle 9: Übersicht über die Räume die für die Kalibrations- und Angleichsmessungen gedient haben

	Labor	Labor (Wägezimmer)	Privatwohnung
<b>Belüftung</b>	Künstlich & Natürlich	Nicht vorhanden	Natürlich

## 3.3 Sozialwissenschaftliche Methoden

### LITERATURRECHERCHE

Um die standardisierte Online-Befragung gut zu strukturieren, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. In dieser wurden bereits durchgeführte Studien mit Begründungen analysiert. Besonderes Interesse galt Studien und Forschungen, die das Wohlbefinden von Nutzenden erhoben, sowie die Wirkungen von Pflanzen – vor allem in Innenräumen und in gebäudenahen Bereichen – im Fokus hatten.

### STANDARDISIERTE ONLINE-BEFragung

Als ein Spezialfall der schriftlichen Befragung gelten Online-Befragungen, die über Webformulare im Internet ausgefüllt werden [40]. Die Kritik, dass bei Online-Befragungen keine repräsentativen Gruppen abgedeckt werden, kann im vorliegenden Projekt ausgeschlossen werden, da die Befragung nur in den zwei Pilotschulen durchgeführt wurde und daher die gesamte Gruppe direkt angesprochen wurde (im Gegensatz zu einer wahllosen Verteilung der Online-Befragung in der Bevölkerung). Es handelt sich um einen standardisierten Fragebogen, bei dem die Formulierung der Fragen sowie die Reihenfolge fix vorgegeben sind [41]. Im vorliegenden Projekt wurden die Fragen auf die Studienergebnisse der Literaturrecherche aufgebaut. Allgemein wurden verschiedene Themenblöcke in der Befragung aufgegriffen, wie der gesundheitliche Zustand, das Wohlbefinden, individuelle Einstellungen zu Begründungen und Sichtweisen der Pflege und den zuständigen Personen. Die Online-Befragungen wurden mit dem Programm Lime-Survey programmiert und

mittels Links an die Schulen verteilt. Es wurden drei Befragungen für drei Zielgruppen vorbereitet – Schülerinnen und Schüler, Lehrpersonen und nicht lehrendes Personal. Insgesamt waren drei Durchgänge vorgesehen: der erste Durchgang am Anfang des Projektes, um den Status Quo zu erheben bevor die Begrünungen angebracht wurden, den zweiten Durchgang nachdem die Begrünungen angebracht wurden und der dritte Durchgang am Projektende, um die Veränderung der Einstellungen und des Wohlbefindens zu erheben. Zu Beginn des Fragebogens wurde ein „individueller Code“ von den Teilnehmenden zusammengestellt, welcher aus einer Kombination aus Buchstaben und Zahlen besteht. Dieser setzte sich zum Beispiel aus dem ersten Buchstaben des Vornamens, dem Geburtstag, den ersten Buchstaben der Mutter etc. zusammen. Dadurch war es möglich ausgefüllte Fragebögen ein und derselben Person miteinander zu vergleichen und gleichzeitig die Anonymität zu wahren, da aufgrund der „Codes“ keine Rückschlüsse auf die einzelnen Personen gezogen werden können. Von den Arten der Fragen wurden geschlossene Fragen und offene Fragen verwendet und darauf geachtet, dass offene Fragen nicht als Pflichtfragen gekennzeichnet sind, um die Freiwilligkeit von selbstverfassten Texten zu erhalten. Die Auswertung der Online-Befragungen wurde mittels der Programme Excel und SPSS durchgeführt.

### CO-CREATION

Die Co-Creation beruht auf einer gleichberechtigten Partnerschaft zwischen Forschungsteam und Schule, die gemeinsam auf Augenhöhe der Frage nach einer guten Einbindung der Begrünungen in die Schulkultur nachgehen. In Arbeitsgruppen von interessierten Lehrpersonen wurden gemeinsam die Anknüpfungspunkte behandelt sowie Pflege und Wartung der grünen Wände gelernt und ausprobiert. Die Forscherinnen und Forscher hielten keine Vorträge, sondern beschäftigten sich gemeinsam mit den Lehrerinnen und Lehrern mit Fragestellungen, wie der Aufteilung der Pflegeschritte unter den Lehrpersonen und Fächern, Möglichkeiten die Pflegen in den Unterricht zu integrieren, Anknüpfungspunkte der grünen Wände in verschiedenen Unterrichtsfächern, Pflege über die Sommermonate und fehlende Informationen. In projektinternen Begehungen wurden die Systeme gemeinsam genau inspiziert, die Technik erklärt und die Grünpflege und technische Wartung ausprobiert.

Die Arbeitsgruppen an den beiden Schulen beschäftigten sich eingehend mit Möglichkeiten die grünen Wände in den Unterricht zu integrieren und brainstormte mögliche Themen für Unterrichtsstunden. Diese wurden als Workshops ausgearbeitet und den Arbeitskreisen als buchbarer Workshop angeboten. Die Workshops zeigten auf, in welchen Unterrichtsfächern grüne Wände eingebracht werden können. Vom Projektteam durchgeführte Workshops wurden mit den Lehrpersonen besprochen, überarbeitet und adaptiert.

### EPISODISCHES INTERVIEW

Mit den Direktoren und verschiedenen Expertinnen und Experten wurden Interviews durchgeführt. Das Episodische Interview kennzeichnet sich durch eine offene Gestaltung des Gespräch, dem ein Leitfaden mit den anzusprechenden Themen zugrunde liegt [41]. Die Interviewpersonen werden durch die Fragestellungen aufgefordert zu erzählen und selbst Schwerpunkte zu setzen. Die Interviewerin beziehungsweise der Interviewer schafft eine offene Gesprächssituation, in der Erzählungen in den richtigen Momenten stimuliert werden und durch zielgerichtete Fragen den Themen des Leitfadens folgen. In den Gesprächen mit den Direktoren war es das Ziel übergeordnet die Verankerung der Begrünungen in die Schulkultur auf verschiedenen Weisen anzudenken sowie Meinungen und Erfahrungen der Schule zu erfahren. Mit den Expertinnen und Experten wurde der Bedeutung von Begrünungen in Schulen nachgegangen. Um möglichst unterschiedliche Sichtweisen, Denkansätze und Argumente einzusammeln, wurden Personen aus den verschiedensten Berufen, Bereichen und in verschiedenen beruflichen und hierarchischen Positionen interviewt. Die Auswertung fand mittels Clusterung der Aussagen zu Themenbereichen gemäß einem vorab definierten Leitfaden statt. Aufgrund der Gespräche konnte ein Dokument „Fragen & Antworten“ erarbeitet werden, welches interessierten Schulen eine Diskussionsgrundlage mit Daten und Fakten liefert.

## B.5 Ergebnisse des Projekts

### 4 Ergebnisse

#### 4.1 Bauphysikalische und mikroklimatische Ergebnisse

##### 4.1.1 Thermische Dämmung von Fassadenbegrünung im Winter

Das Projekt GrünPlusSchule [1] hat gezeigt, dass die Zunahme des  $R_{se}$  abhängig ist von der Größe des Begrünungssystems und den Hinterlüftungsöffnungen. Der zusätzliche  $R_{se}$ , aufgrund der fassadengebundenen Begrünung, wird in weiterer Folge als  $R_A$  bezeichnet. Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die U-Werte für unterschiedliche Szenarien mit fassadengebundener Begrünung und ohne fassadengebundene Begrünung. Dabei handelt es sich in jedem Fall um großflächige fassadengebundene Begrünung, bei der die Seiten verblendet sind. Der  $R_A$  ist deshalb  $0.39 \text{ m}^2\text{K/W}$ , wenn Wärmebrücken nicht berücksichtigt werden [1].

Die blauen einfarbig gefüllte Säulen in Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen den U-Wert der nicht begrünten Fassade. Dieser Wert wurde mittels Formel 9 berechnet.

$$U_{NG} = \frac{1}{R_T}$$

$U_{NG}$  U-Wert des nicht begrünten Teils der Fassade, ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken (blaue einfarbig gefüllte Säule in Abbildung 30 und Abbildung 31)

$R_T$  Gesamt-Wärmedurchgangswiderstand der nicht begrünten Fassade

*Formel 9: Berechnung des U-Wertes der nicht begrünten Fassaden (die blauen einfarbig gefüllten Säulen in Abbildung 12 und Abbildung 13)*

Die grünen diagonal nach unten gefärbten Säulen in Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen den U-Wert der begrünten Fassade, ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken. Dieser Wert wurde mittels Formel 10 berechnet.

$$U_G = \frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_T + R_A}$$

$U_G$  U-Wert des begrünten Teils der Fassade, ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken (grüne diagonal nach unten gefärbten Säulen in Abbildung 30 und Abbildung 31)

$R_G$  Wärmedurchgangswiderstand des begrünten Teils der Fassade ohne Berücksichtigung von Wärmebrücken (ohne Befestigungselementen)

$R_T$  Gesamt-Wärmedurchgangswiderstand der nicht begrünten Fassade

$R_A$  Zusätzlicher Wärmedurchgangswiderstand aufgrund der fassadengebundenen Begrünung. Auf Basis der angeführten Untersuchungen (siehe Kapitel 3.1.1) wurde  $R_A$  mit  $0.39$  angenommen.

*Formel 10: Berechnung des U-Wertes der begrünten Fassaden ohne Berücksichtigung möglicher Wärmebrücken (die grüne Säule in Abbildung 30 und Abbildung 31)*

Die grauen horizontal gestreiften und die orangen vertikal gestreiften Säulen in Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die U-Werte der begrünten Fassade, unter Berücksichtigung der Befestigungselemente an Fassaden bzw. Wärmebrücken. Die  $\Delta U$ -Werte, die sich aufgrund der entstanden Wärmebrücken ergeben, werden in Tabelle 13 dargestellt. Sie werden auf Basis der  $\chi$ -Werte mittels Formel 12 berechnet. Die  $\chi$ -Werte

werden in Tabelle 12 dargestellt. Sie wurden mittels Formel 11 aus den Werten berechnet, die AnTherm auf Basis der dynamischen Simulation ausgegeben hat. Dabei handelt es sich um die  $L^{3D}$  Werte. Die  $L^{3D}$  Werte für die begrünten Fassadenabschnitte werden in Tabelle 10 und Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 10:  $L^{3D}$  Werte des Kassettensystems für die unterschiedlichen Szenarien

	Unbegrünte Fassade in $W.K^{-1}$	Aluminium in $W.K^{-1}$	Edelstahl in $W.K^{-1}$
<b>Fassade: Gedämmt System: Kassettensystem</b>	0.4023	0.4247	0.4086
<b>Fassade: Vollziegel System: Kassettensystem</b>	1.7908	1.7923	1.7914
<b>Fassade: Hochlochziegel System: Kassettensystem</b>	1.7444	1.7464	1.7452

Tabelle 11:  $L^{3D}$  Werte des Trogsystems für die unterschiedlichen Szenarien

	Unbegrünte Fassade in $W.K^{-1}$	Aluminium in $W.K^{-1}$	Edelstahl in $W.K^{-1}$
<b>Fassade: Gedämmt System: Trogsystem</b>	0.1274	0.1990	0.1737
<b>Fassade: Vollziegel System: Trogsystem</b>	0.5671	0.5695	0.5666
<b>Fassade: Hochlochziegel System: Trogsystem</b>	0.5524	0.5561	0.5526

Basierend auf den  $L^{3D}$  Werten wurden die  $\chi$  Werte mittels Formel 11 berechnet.

$$\chi = L_{xx}^{3D} - L_{00}^{3D}$$

$L_{00}^{3D}$   $L^{3D}$  Wert des nicht begrünten Fassadeabschnittes

$L_{xx}^{3D}$   $L^{3D}$  Wert des begrünten Fassadeabschnittes mit Verankerungssystemen aus Aluminium oder Edelstahl

Formel 11: Berechnung der  $\chi$  Werte auf Basis der  $L^{3D}$  Werte

Die berechneten  $\chi$  Werte werden in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12:  $\chi$ -Werte, die auf Basis der  $L^{3D}$  Werte in Tabelle 10 und Tabelle 11 berechnet wurden

	Kassettensystem		Trogsystem	
	Aluminium in $W.K^{-1}$	Edelstahl in $W.K^{-1}$	Aluminium in $W.K^{-1}$	Edelstahl in $W.K^{-1}$
<b>Fassade: Gedämmt</b>	0.0224	0.0063	0.0717	0.0463
<b>Fassade: Vollziegel</b>	0.0015	0.0006	0.0024	0.0000
<b>Fassade: Hochlochziegel</b>	0.0021	0.0009	0.0037	0.0002

Die  $\chi$ -Werte wurden verwendet, um die  $\Delta U$ -Werte zu berechnen. Das ist mittels Formel 12 erfolgt.

$$\Delta U = c \cdot \chi$$

$c$  Anzahl der Befestigungselemente pro Quadratmeter

$\chi$  Berechneter  $\chi$ -Wert aus Tabelle 12

*Formel 12: Berechnung der  $\Delta U$ -Werte mithilfe der Anzahl der Befestigungselemente und  $\chi$ -Werte*

Tabelle 13 zeigt die berechneten  $\Delta U$ -Werte der unterschiedlichen Szenarien.

*Tabelle 13: Berechnete  $\Delta U$ -Werte für die unterschiedlichen Szenarien*

	Kassettensystem		Trogssystem	
	Aluminium in W.K-1	Edelstahl in W.K-1	Aluminium in W.K-1	Edelstahl in W.K-1
<b>Fassade: Gedämmt</b>	0.0377	0.0106	0.0781	0.0505
<b>Fassade: Vollziegel</b>	0.0025	0.0010	0.0026	0.0000
<b>Fassade: Hochlochziegel</b>	0.0035	0.0015	0.0040	0.0002

Die  $\Delta U$ -Werte beschreiben jene Werte, die den U-Werten aufgrund der Wärmebrücken dazu addiert werden müssen (siehe Formel 13). In Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen die grauen horizontal gestreiften und die orangen vertikal gestreiften Säulen die  $U_L$  Werte.

$$U_L = U_G + \Delta U$$

$U_L$  U-Wert des begrünten Fassadenabschnittes unter Berücksichtigung der Wärmebrücken (die grauen horizontal gestreiften und die orangen vertikal gestreiften Säulen in Abbildung 30 und Abbildung 31).

$U_G$  U-Wert des begrünten Fassadenabschnittes ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken (grüne Säulen in Abbildung 30 und Abbildung 31).

$\Delta U$  Berechnet aus Formel 12

*Formel 13: Berechnung des U-Wertes unter Berücksichtigung der fassadengebundenen Begrünung mit Befestigungselementen.*

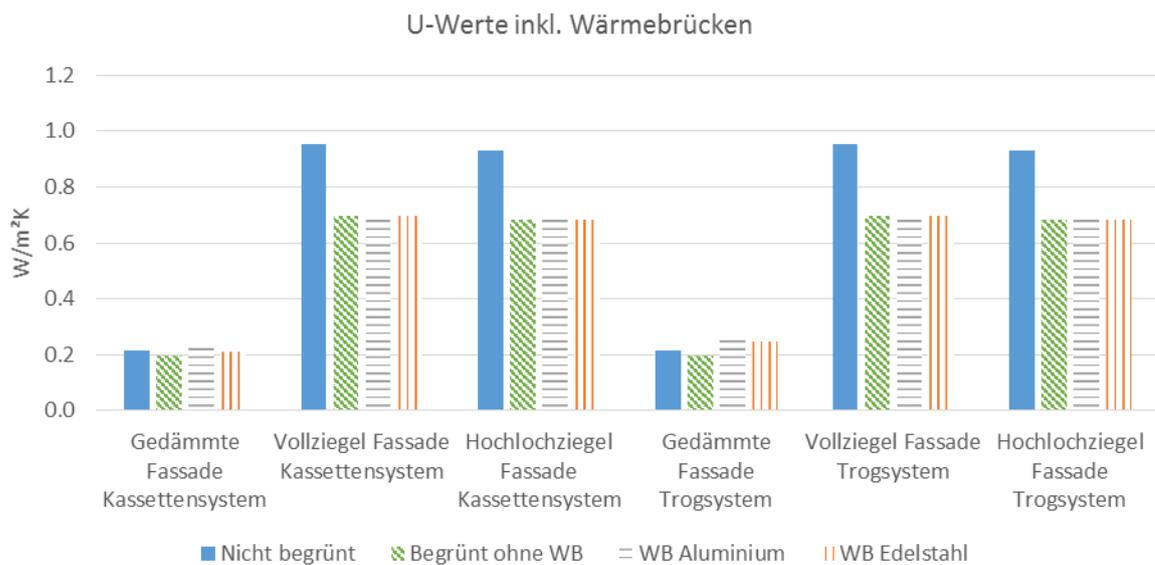


Abbildung 30: Das Diagramm zeigt die U-Werte für alle untersuchten Szenarien, des begrünt und nicht begrüntes Abschnittes der Fassade, mit und ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken an gedämmten und nicht gedämmten Fassaden.

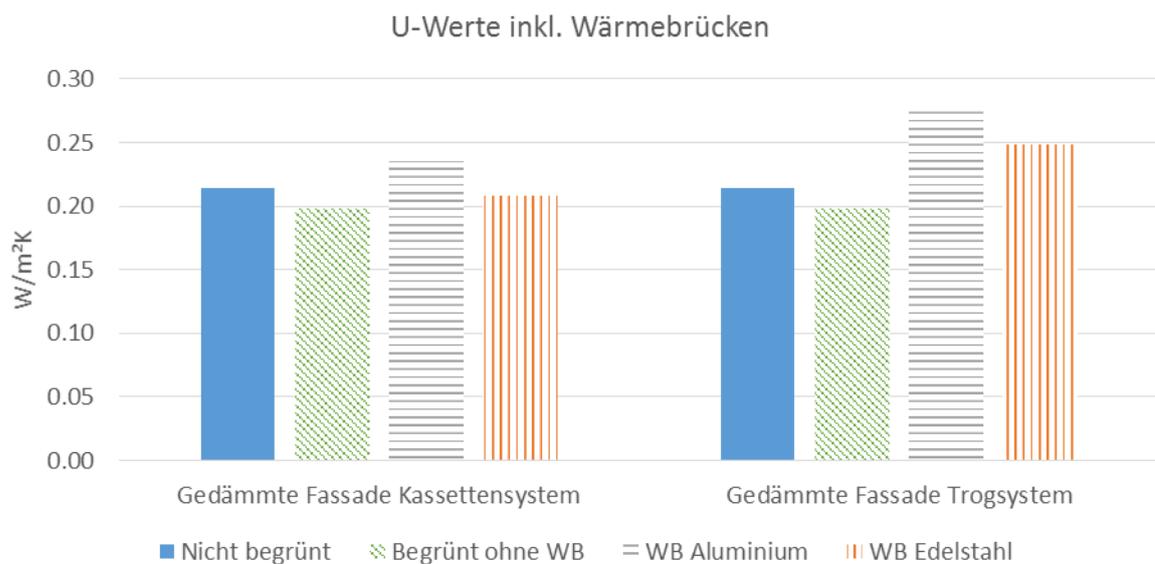


Abbildung 31: Das Diagramm zeigt die U-Werte für die untersuchten Schulgebäude mit gedämmten Fassaden. Es zeigt die U-Werte des begrünt und des nicht begrüntes Abschnittes der Fassade, mit und ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken.

An gedämmten Fassaden wirken sich Wärmebrücken stärker aus, als an nicht gedämmten. Die untersuchten Fassaden an den beiden Schulen sind gedämmte Fassaden. Die  $\Delta U$ -Werte sind hier größer als  $0,01 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ . Die Wärmebrücken des Kassettsystems fallen geringer aus, weil das System weniger Verankerungen benötigt, als das Trogsystem. Das liegt zum einen am geringeren Gewicht pro  $\text{m}^2$  und zum anderen daran, dass ein Teil der Last direkt an die Dachterrasse abgeleitet werden kann. An den beiden seitlichen Enden, sind Stützen angebracht, die das Begrünungssystem direkt mit der Dachterrasse verbinden und Last nach unten ableiten. Abbildung 31 zeigt, dass sich die U-Werte aufgrund der Verankerungen erhöhen. Auch das Verankerungsmaterial ist ein einflussreicher Parameter für die Erhöhung des U-Wertes. Edelstahl leitet Wärme weniger gut als Aluminium. Deshalb sind die Wärmebrücken geringer, wenn die Verankerungen aus Edelstahl bestehen.

Generell ist festzuhalten, dass Fassadenbegrünung den U-Wert reduziert. Wird Fassadenbegrünung jedoch an der Fassade befestigt, kann das zu Wärmebrücken führen. Die gesamte Konstruktion muss berücksichtigt werden, um Aussagen über die Auswirkungen der Fassadenbegrünung auf die thermische Dämmung anzustellen. An ungedämmten Fassaden sind die Wärmebrücken normalerweise vernachlässigbar ( $\Delta U$ -Werte  $< 0,01 \text{ m}^2\text{K/W}$ ). An gedämmten Fassaden kann die Fassadenbegrünung die thermische Dämmung auch verschlechtern. Bei allen untersuchten Szenarien wird von einem großflächigen Begrünungssystem mit Verblendung ausgegangen. Ein kleinflächiges Begrünungssystem ohne Verblendung würde sich schlechter auf die thermische Dämmung auswirken. Der Wärmedurchgangswiderstand wäre für die begrünnten Szenarien (sowohl mit als auch ohne Wärmebrücken) um  $0,27 \text{ m}^2\text{K/W}$  geringer. An den gedämmten Fassaden würde das für alle untersuchten Szenarien zu einer Verschlechterung führen.

Mittels Thermobildkamera wurden nicht begrünte Fassadenabschnitte vermessen. Alle gezeigten Bilder wurden vor Sonnenaufgang aufgenommen, damit die globale Strahlung so gering wie möglich ist, und die Messung nicht verfälscht. Abbildung 32 zeigt den nicht begrünten Fassadenabschnitt im BRG16 (gedämmter Neubau). Es sind unterschiedliche Temperaturen sichtbar. Grund dafür sind Wärmebrücken, aufgrund der Befestigungselemente für die Dämmplatten. Mögliche Wärmebrücken hinter den Begrünungssystemen können nicht von außen erfasst werden, da die Fassade von außen durch das Begrünungssystem verdeckt wird.

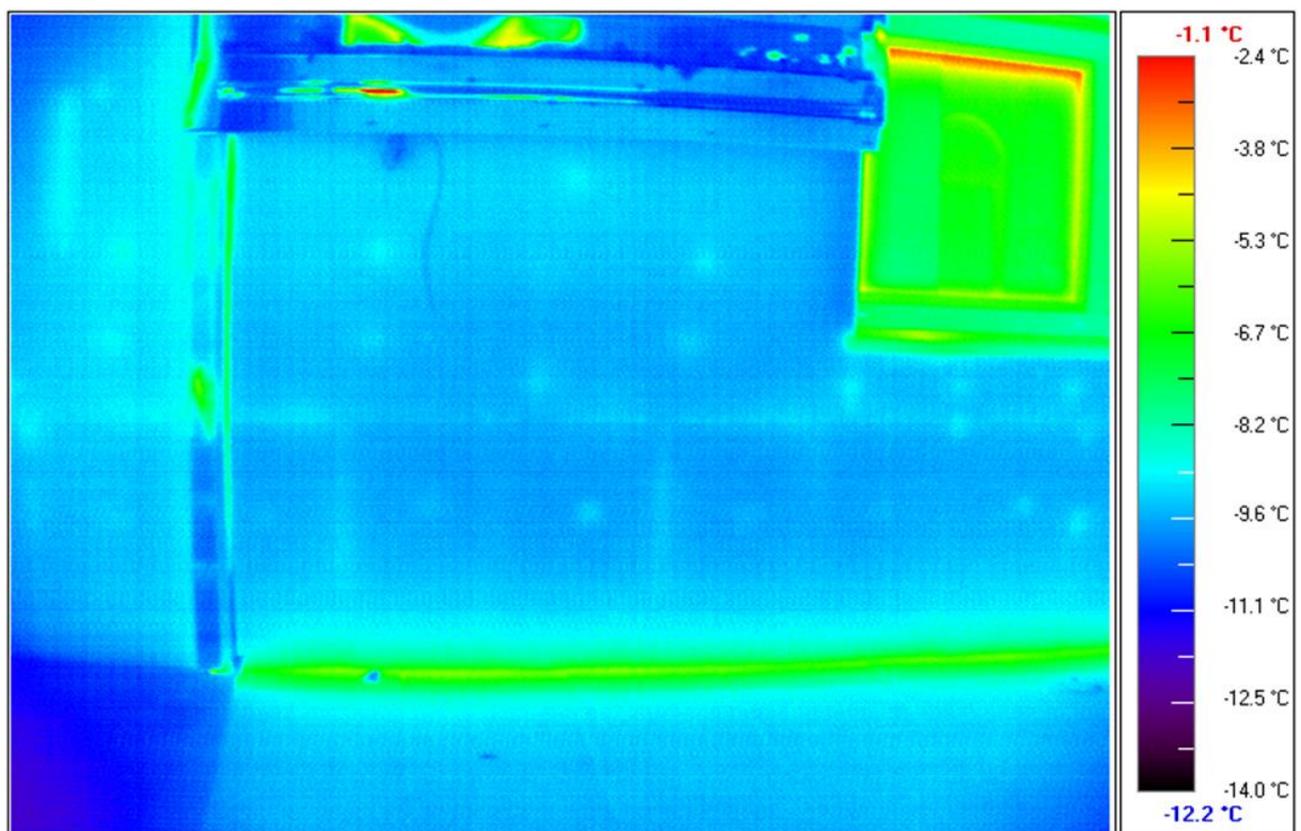


Abbildung 32: BRG16 (gedämmter Neubau), ein nicht begrünter Fassadenabschnitt – Außenseite

Abbildung 33 zeigt den begrünten Abschnitt der Fassade des gleichen Schulgebäudes. Unterschiedliche Farben an den Aluminiumtrögen, werden aufgrund der reflektierenden Strahlung vom Boden gemessen. Je nachdem, in welche Richtung der Aluminiumtrog ausgerichtet ist, reflektiert er unterschiedliche Strahlungstemperaturen.

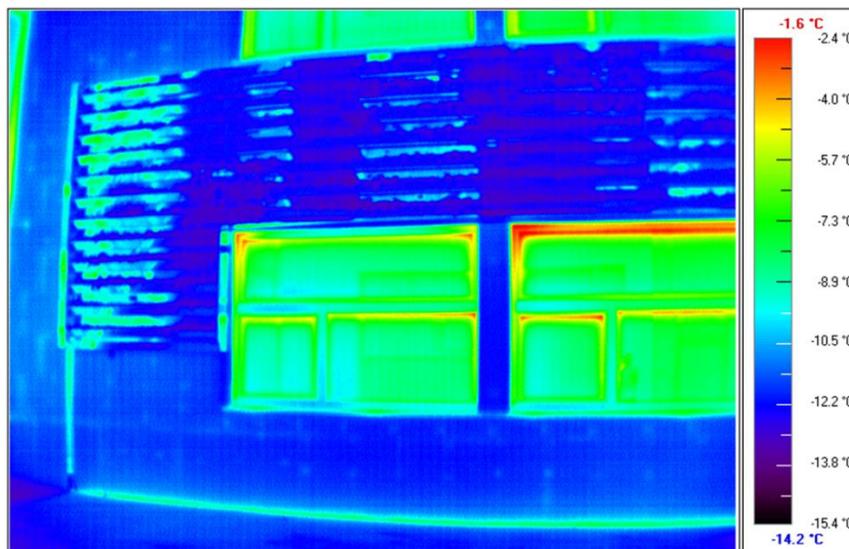


Abbildung 33: BRG16 (gedämmter Neubau), ein begrünter Fassadenabschnitt – Außenseite

Abbildung 34 zeigt den begrünten Fassadenabschnitt von der Innenseite. Hier wären Wärmebrücken sichtbar, wenn sie zu unterschiedlichen Oberflächentemperaturen führen würden. Gemessen wurde eine homogene Oberflächentemperatur. Daraus kann rückgeschlossen werden, dass es keine besonders starken Wärmebrücken gibt. Wärmebrücken mit einem großen  $\Delta U$ -Wert würden zu Temperaturunterschieden an der Innenraumoberfläche führen.

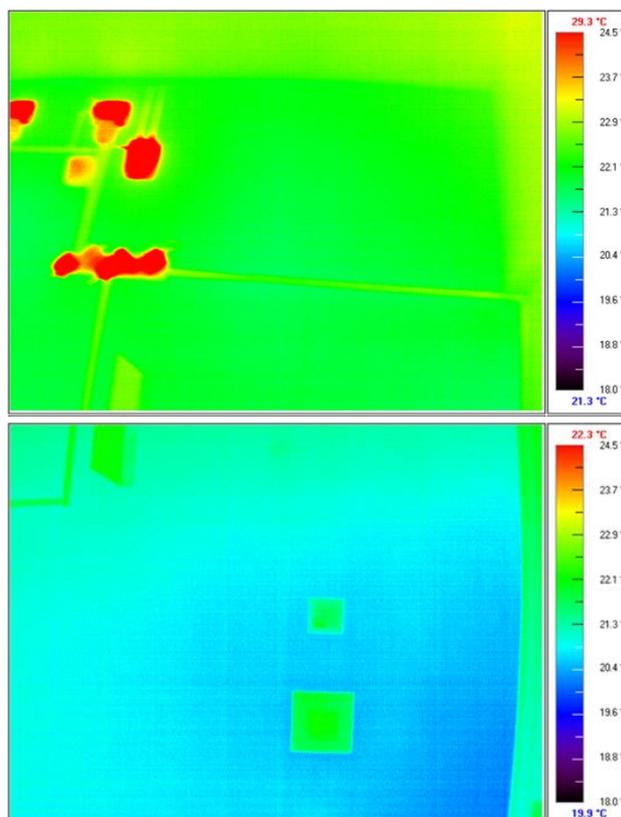


Abbildung 34: BRG16 (gedämmter Neubau), ein begrünter Fassadenabschnitt - Innenseite

Die in Abbildung 34 sichtbaren unterschiedlichen Temperaturen sind lediglich auf die installierten Messgeräte zurückzuführen, aber nicht auf Wärmebrücken. Dort wo sich Befestigungselemente befinden, gibt es keine kälteren Oberflächen im Innenraum. Dasselbe gilt für das BRG15 (gedämmter Neubau mit Lüftungsanlage) (siehe Abbildung 35, rechts). Abbildung 35 links zeigt die Aufnahme vom untersuchten Kassettensystem.

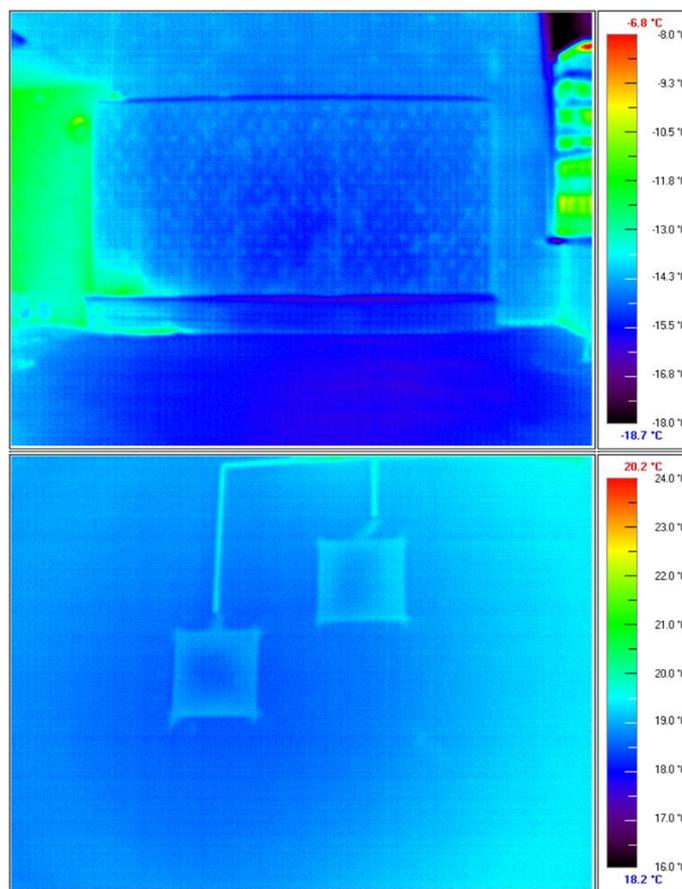


Abbildung 35: BRG15 (gedämmter Neubau), ein begrünter Fassadenabschnitt – Links: Außenseite; Rechts: Innenseite

Auch das Altbaugebäude GRG7 wurde mittels Wärmebildkamera untersucht. Rechnerisch wurde bereits nachgewiesen, dass die Befestigungselemente der Begrünungssysteme im Altbau Wärmebrücken verursachen, die vernachlässigbar sind. Diese theoretische Berechnung wurde messtechnisch bestätigt.

Abbildung 36 (links) zeigt einen Wandabschnitt der außen begrünter Fassade. Die Temperaturverteilung ist, abgesehen von im Innenraum installierten Messgeräten, homogen. Links unten ist auch ein Heizkörper ersichtlic. Es sind allerdings keine Wärmebrücken durch die Befestigung der Begrünung sichtbar, die sich auf die Oberflächentemperatur im Innenraum auswirken könnten.

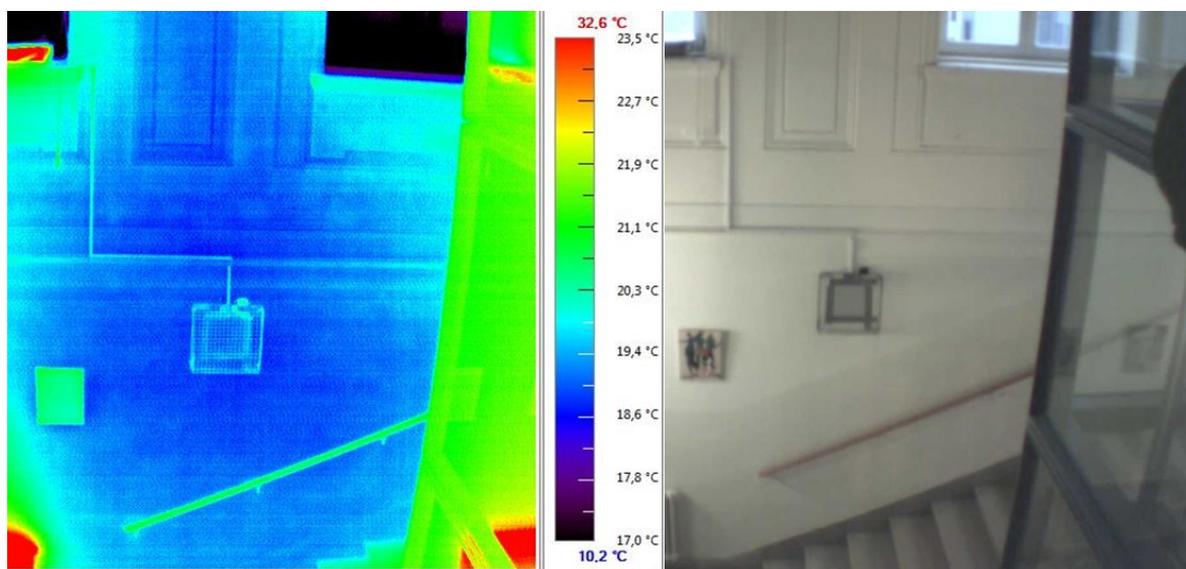


Abbildung 36: Aufnahmen von der Innenseite der Fassade auf die außen begrünter Fassade. Links: Thermographie, Rechts: Foto.

#### 4.1.2 Akustische Auswirkungen von Gebäudebegrünung

Abbildung 37 bis Abbildung 41 zeigen die Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen in den untersuchten Räumen und dem untersuchten Innenhof. Es handelt sich dabei um Räume in Gebäuden bzw. Gebäudeteilen in neuer Bauweise. Die Außenwände sind aus Stahlbeton und mit 14 cm Polystyrol XPS gedämmt.

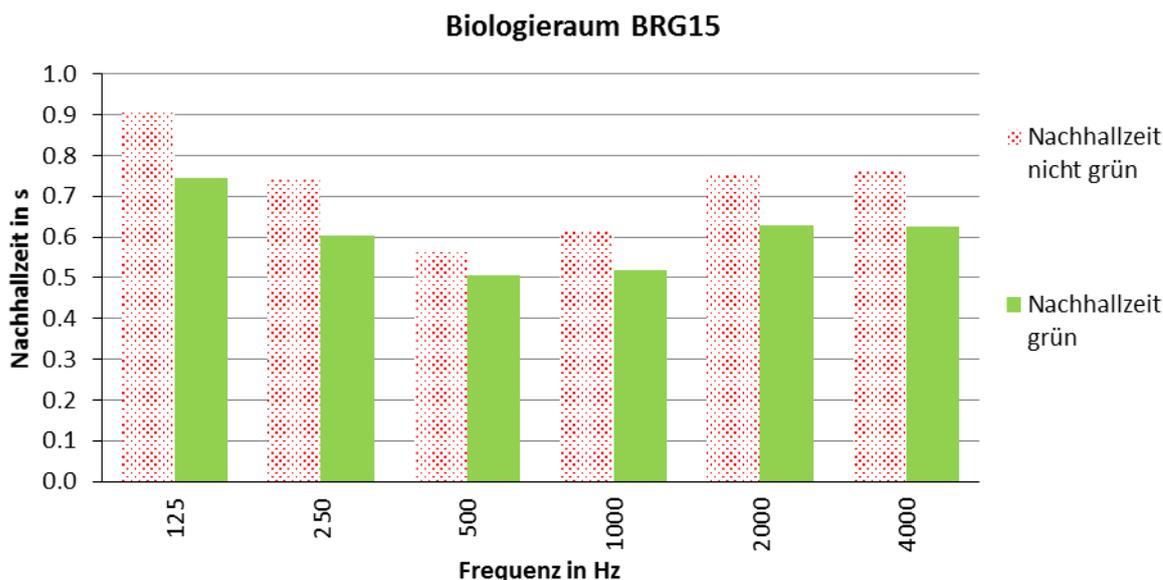


Abbildung 37: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) im Biologieraum am 14.6.2017 als der Raum noch nicht begrünt war und am 27.10.2017 nach Installation der Begrünung

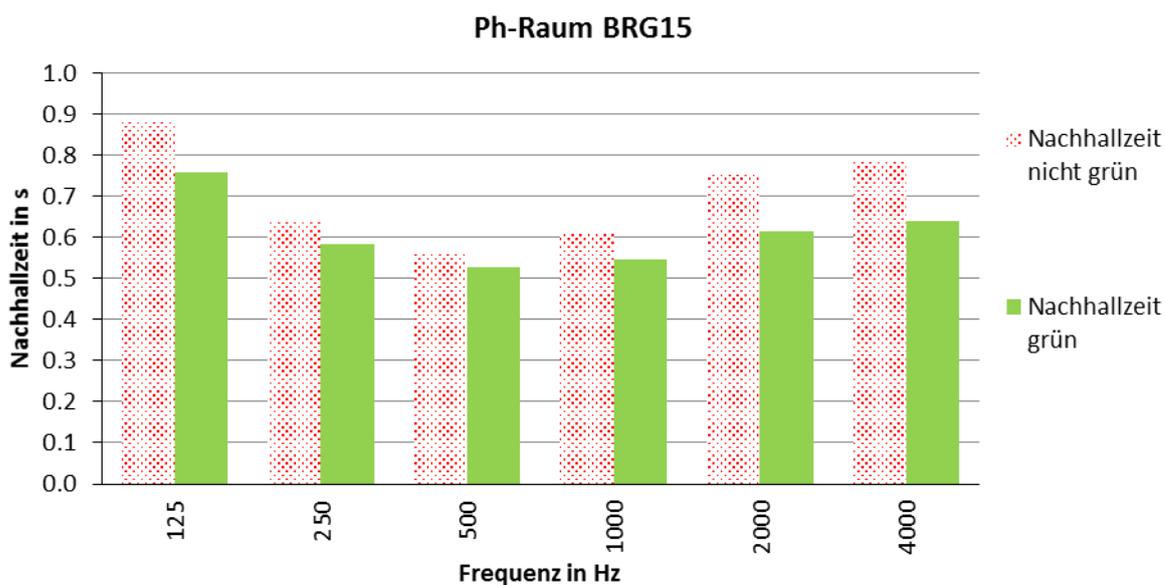


Abbildung 38: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) im Physikraum am 14.6.2017 als der Raum noch nicht begrünt war und am 27.10.2017 nach Installation der Begrünung

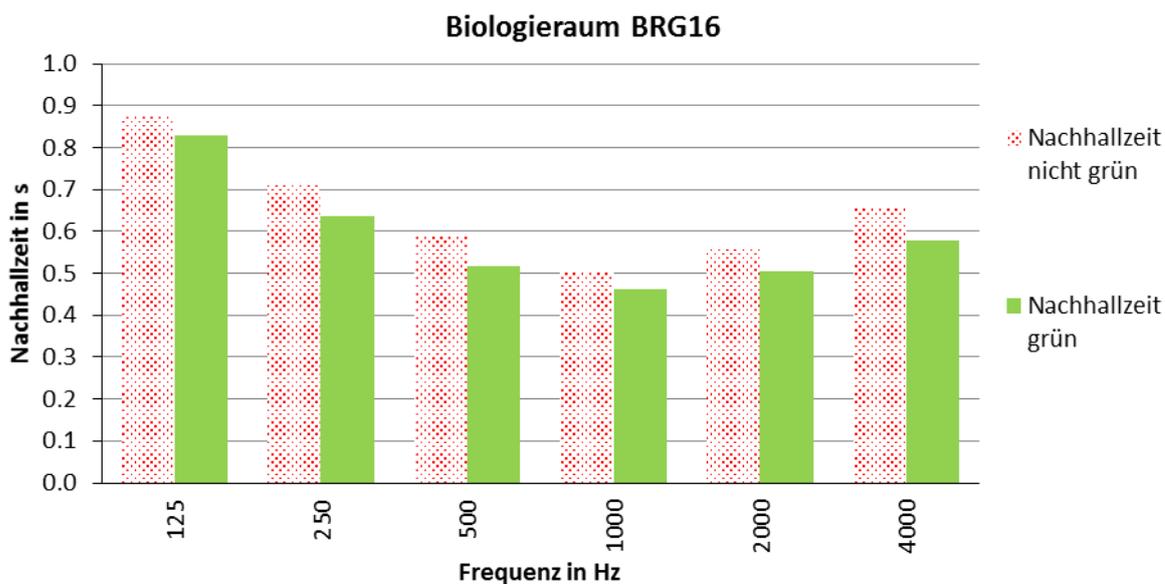


Abbildung 39: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) im Biologieraum am 14.6.2017 als der Raum noch nicht begrünt war und am 27.10.2017 nach Installation der Begrünung

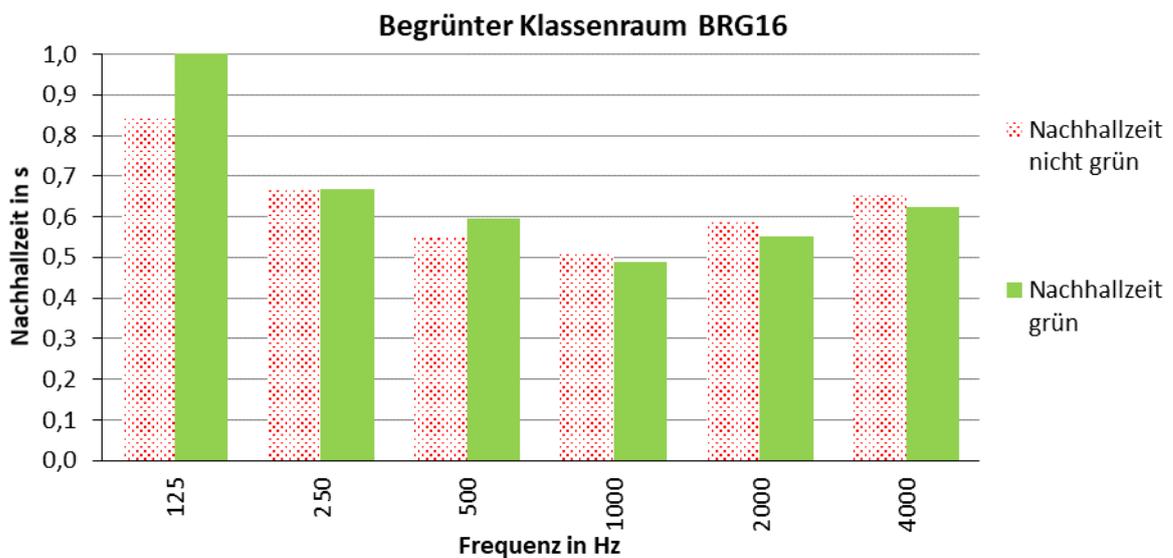


Abbildung 40: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) im Klassenraum am 14.6.2017 als der Raum noch nicht begrünt war und am 11.7.2018 ca. 1 Jahr nach Installation der Begrünung.

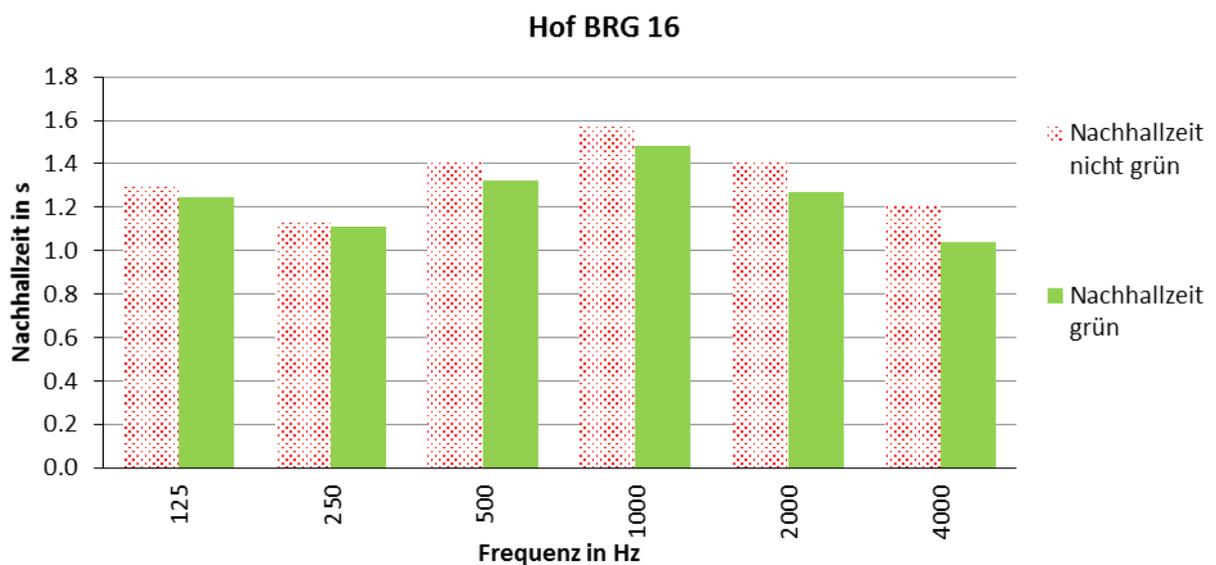


Abbildung 41: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 16 im Außenbereich am 14.6.2017 als der Innenhof noch nicht begrünt war und am 11.7.2018 ca. 1 Jahr nach Installation der Begrünung.

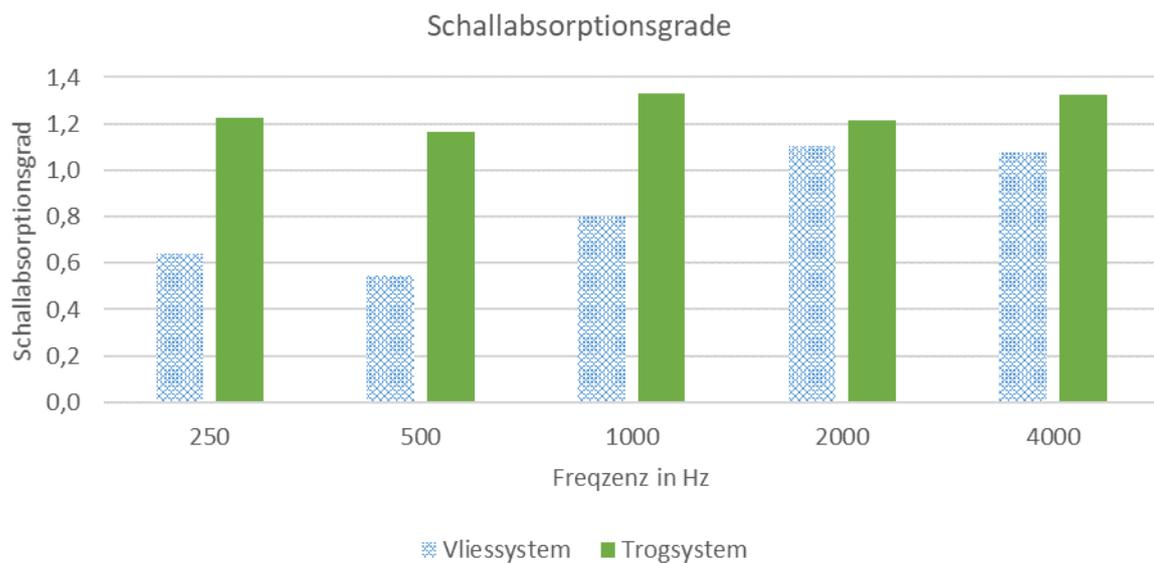


Abbildung 42: Schallabsorptionsgrade der untersuchten Begrünungssysteme im Innenraum

Abbildung 42 zeigt die berechneten Schallabsorptionsgrade der beiden untersuchten Innenraum-Begrünungssysteme. Der Schallabsorptionsgrad ist theoretisch immer zwischen 0 und 1. Theoretisch kann er nicht größer als 1 sein, denn dies würde bedeuten, dass mehr als 100 % der eintreffenden Schallenergie absorbiert werden. Abbildung 42 zeigt jedoch für manche Frequenzen einen Schallabsorptionsgrad von mehr als 1. Auch wenn es theoretisch unmöglich ist, kommt dies in der Praxis vor. Trifft Schall auf eine stark absorbierende Fläche, wird nur wenig Schallenergie reflektiert. Die Diskontinuität im Wellenfeld erzeugt deshalb an der Kante der Probe einen Beugungseffekt. Dieser verzieht das Schallfeld. Für den Schall kann dadurch die stark absorbierende Fläche um ein Viertel einer Wellenlänge größer werden [42]. Die Fläche absorbiert pro Wandfläche mehr Schallenergie, als an der Wand angekommen wäre. Die höchsten Schallabsorptionsgrade weist das Trogsystem auf. Insbesondere im gut hörbaren Bereich (um 1.000 Hz) ist der Schallabsorptionsgrad hoch. Das bestätigt auch die Forschungsergebnisse aus [1]. Tiefe Frequenzbänder werden nur von schweren Bauteilen absorbiert. Höhere Frequenzen auch von leichteren, wie etwas Pflanzen oder Blättern [43].

Aus den gemessenen Nachhallzeiten lässt sich auch eine Lärminderung ableiten. Im Außen- und im Innenbereich reduziert eine verkürzte Nachhallzeit die Lärminderung (siehe Kapitel 3.1.2). Für die untersuchten Räume ergibt sich eine Reduktion von ca. 1 dB bei niedrigen Frequenzen (bis 500 Hz) und ca. 2 dB bei mittleren und hohen Frequenzen (über 500 Hz). Der untersuchte Hof im Außenbereich weist eine Lärminderung von ca. 0,5 dB auf.

#### 4.1.3 Ergebnisse hygrothermische Parameter

Die Auswertung der Messungen hat gezeigt, dass die Luftfeuchtigkeit aufgrund der Innenraumbegrünung in den betrachteten Schulen steigt (siehe Abbildung 43 bis Abbildung 45 sowie Abbildung 49 bis Abbildung 51). Das bestätigt auch die Erkenntnisse aus [1]. Während der kalten Jahreszeit führt dieser Einfluss zu einer Erhöhung der hygrothermischen Behaglichkeit (siehe Abbildung 46 bis Abbildung 48).

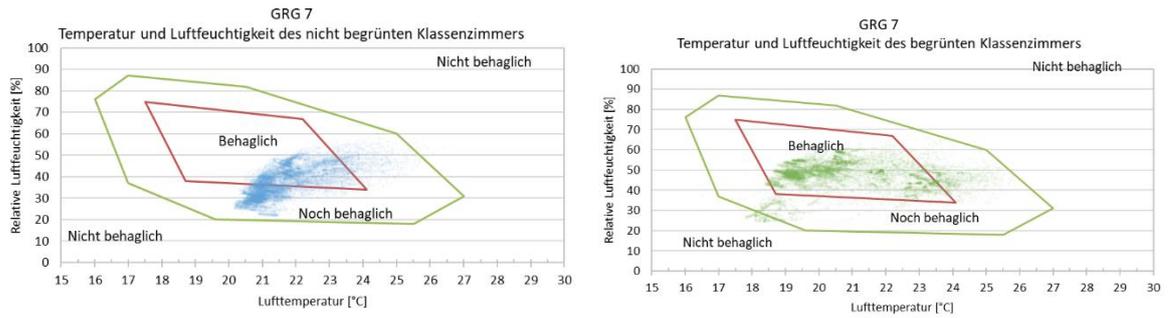


Abbildung 43 Auswertungen GRG 7 (Altbau) (Jän. –Mär., Okt.- Dez. 2018 und Jän. –Mär. 2019)

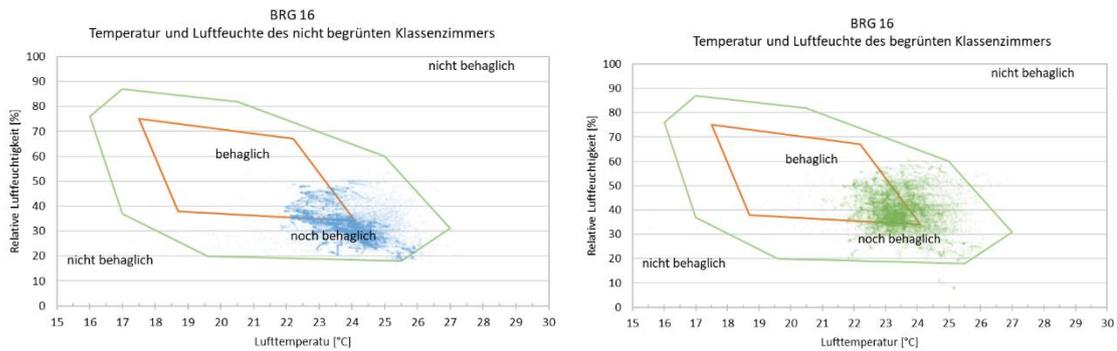


Abbildung 44: Auswertungen im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) (Jän. –Mär., Okt.- Dez. 2018 und Jän. –Mär. 2019)

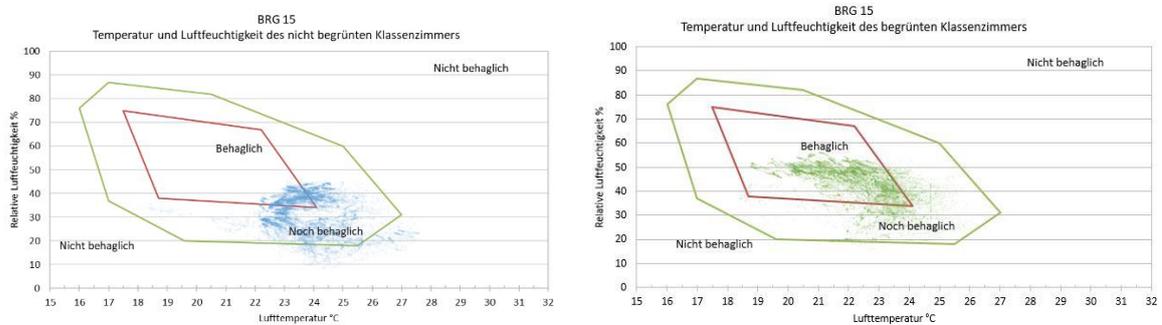


Abbildung 45: Auswertungen im BRG 15 (Neubau ohne Lüftungsanlage) (Jän. –Mär., Okt.- Dez. 2018 und Jän. –Mär. 2019)

Im GRG7, dem Altbaugebäude, wurde die Häufigkeit der Behaglichkeit von 45 % auf 76 % erhöht (siehe Abbildung 46).

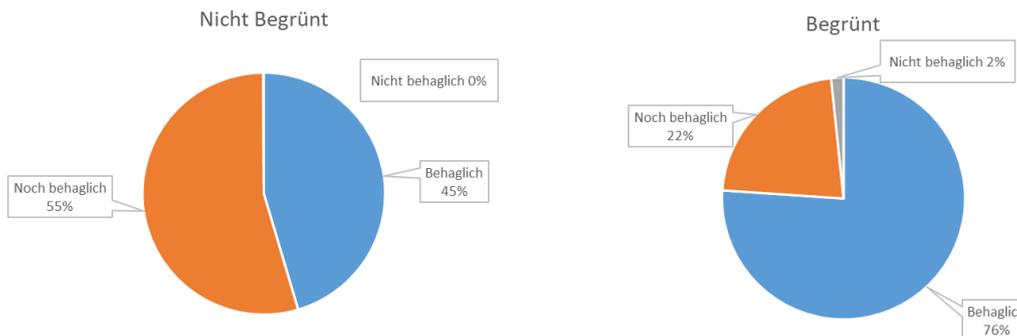


Abbildung 46: Messwerte in Prozent GRG 7 (Altbau)

Am Schuhmeierplatz BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) ist die relative Luftfeuchtigkeit während des Zeitraums noch trockener. Das liegt daran, weil die Temperatur im Neubau höher ist. Die Räume halten, auch wenn nicht geheizt wird, eine höhere Temperatur. Die Begrünung erhöht auch hier die Häufigkeit der Behaglichkeit. Im begrünten Klassenraum gab es während des Messzeitraums mehr als doppelt so viele Messungen, die als behaglich einzustufen sind (siehe Abbildung 47).

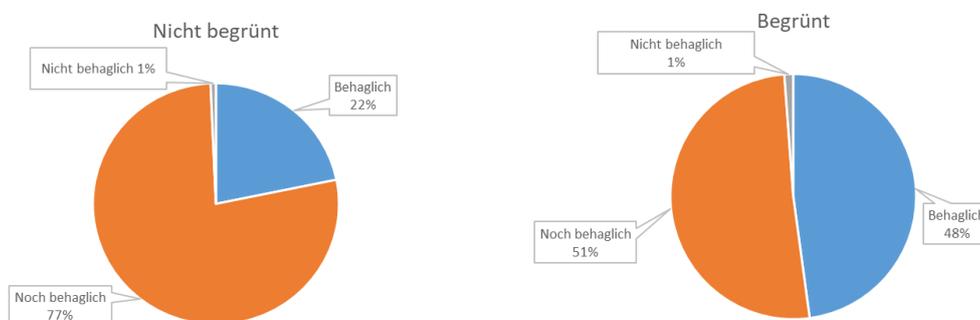


Abbildung 47 Messwerte in Prozent BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

Im BRG15 (Neubau mit Lüftungsanlage) wirkt sich die Begrünung noch stärker auf die Behaglichkeit aus (siehe Abbildung 48). Die nicht begrünte Klasse ist hier ähnlich wie im BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) immer warm. Die begrünte Klasse kühlt hat neben der höheren Luftfeuchtigkeit auch eine niedrigere Lufttemperatur als die nicht begrünte Klasse.

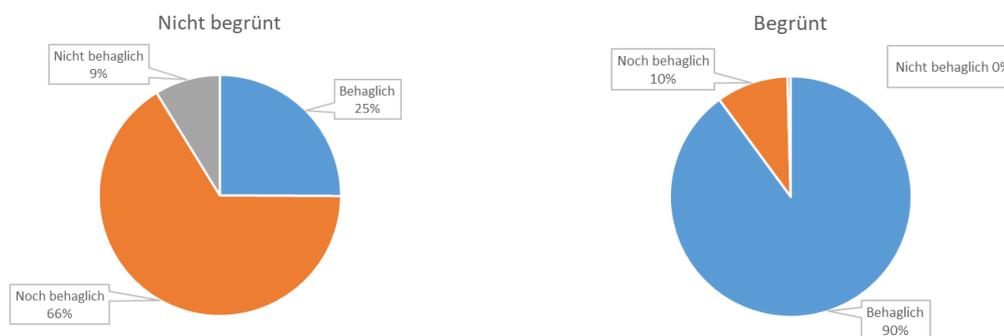


Abbildung 48: Messwerte in Prozent BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)

Während der warmen Jahreszeit führen meistens zu hohen Temperaturen in den Räumen zu nicht behaglichen hygrothermischem Raumklima. Es ist außerdem herauszustellen, dass das NutzerInnenverhalten von großer Bedeutung ist (siehe Abbildung 49 bis Abbildung 51). Die Luftfeuchtigkeit ist wetterabhängig und abhängig vom NutzerInnenverhalten. Um Überhitzung in den Räumen zu vermeiden, empfiehlt sich hoher Luftwechsel in der Nacht und den Morgenstunden und nur kurzes Stoßlüften unter Tags, wenn die Hitze am größten ist. So können die Innenräume am besten kühl gehalten werden. Die Lüftungsanlage im BRG15 ist auch während des Tages häufig in Betrieb. Das liegt daran, dass zu dieser Zeit die Räume genutzt werden. Die Räume im BRG15 können deshalb nicht gut auskühlen (siehe Abbildung 51).

Im GRG7 (Altbau) ist es während des Messzeitraums am kühlest. Hier sind in der begrünten Klasse 40 % und in der Referenzklasse 45 % der Messwerte bei über 26°C Lufttemperatur aufgenommen worden. Im BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) ist es ähnlich. 46 % der Werte sind in der begrünten Klasse über 26°C und 51 % in der Referenzklasse. Die Begrünung wirkt sich nicht kühlend auf die gefühlte Temperatur aus, da die Luftfeuchtigkeit erhöht wird und die gefühlte Temperatur deshalb steigt. Es kann nicht eindeutig festgestellt

werden, ob sich Innenraumbegrünung positiv oder negativ auf die sommerliche Überwärmung in diesen beiden Schulen auswirkt. Im BRG15 (Neubau mit Lüftungsanlage) sorgt die Lüftungsanlage jedoch für stärkeren Luftwechsel. Die Feuchtigkeit wird besser nach außen transportiert, was auch die Verdunstung der Pflanzen verstärkt. Da die Wärmeenergie in Feuchtigkeit umgewandelt wird und diese den Raum über die Lüftungsanlage verlässt, kühlt Innenraumbegrünung in diesem Fall auch. In der Referenzklasse wurden 51 % der Werte über 26°C gemessen, in der begrünten waren es lediglich 40 %.

In nicht mechanisch belüfteten Gebäuden soll tagsüber am besten nur stoßgelüftet werden, um den Innenraum nicht zu sehr aufzuheizen. In mechanisch belüfteten Gebäuden, wenn die Lüftung tagsüber ohnehin eingeschaltet ist, dann kühlt die Begrünung, ähnlich wie im Außenraum. Wärme wird in Feuchtigkeit umgewandelt und die Feuchtigkeit wird nach außen geführt, verlässt also den Raum.

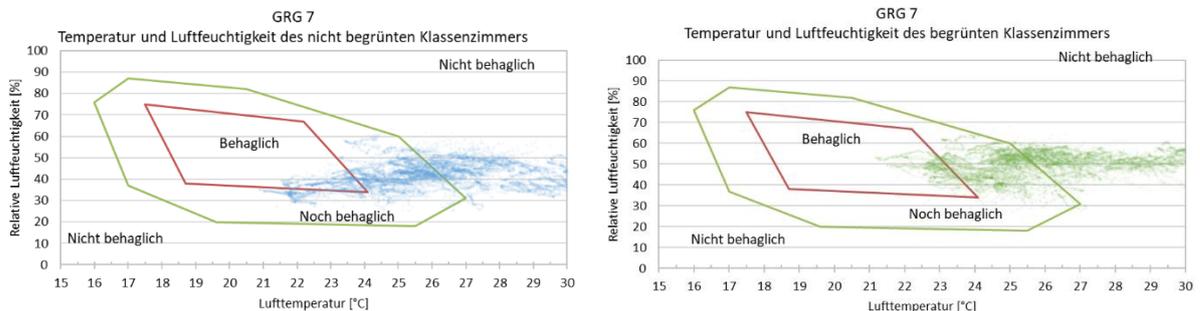


Abbildung 49 Auswertung im GRG (Altbau) (01.04-30.09.2018)

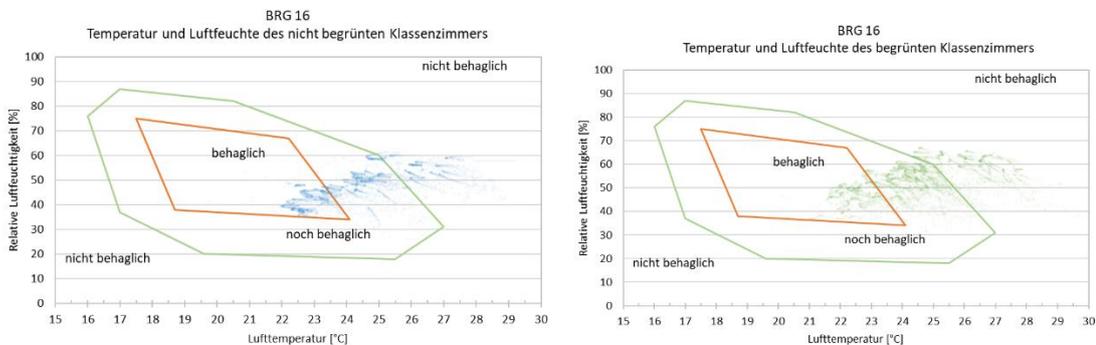


Abbildung 50: Auswertung im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) (01.04-30.09.2018)

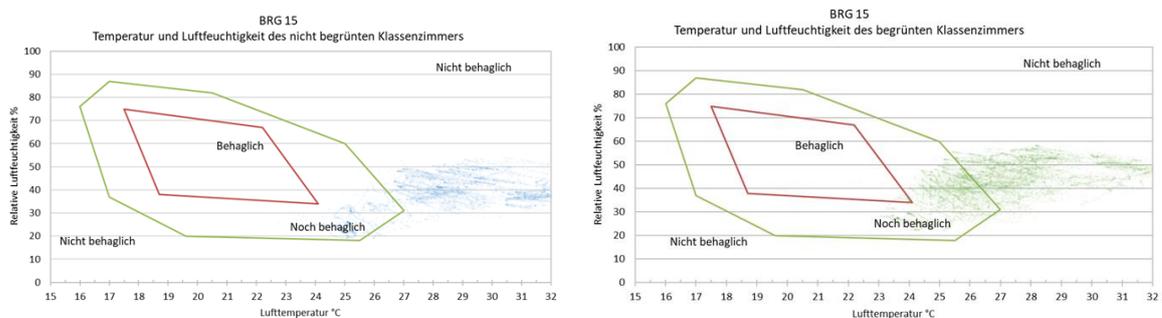


Abbildung 51: Auswertung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) (01.04-30.09.2018)

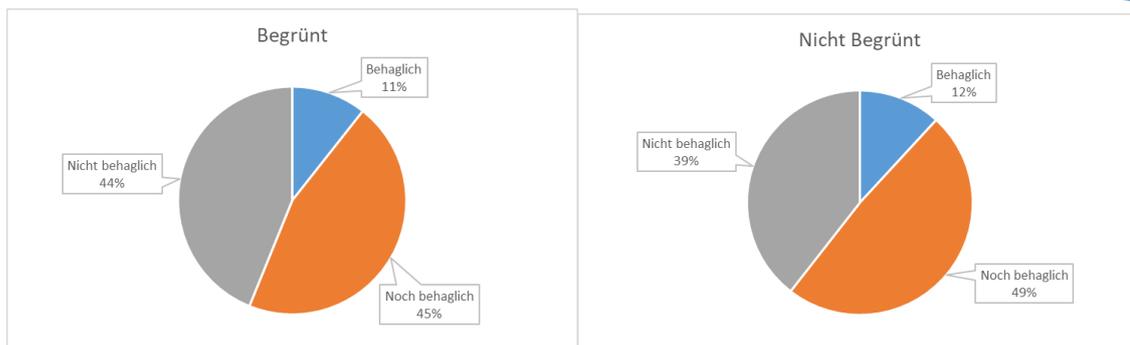


Abbildung 52: Messwerte in Prozent GRG 7 (Altbau)

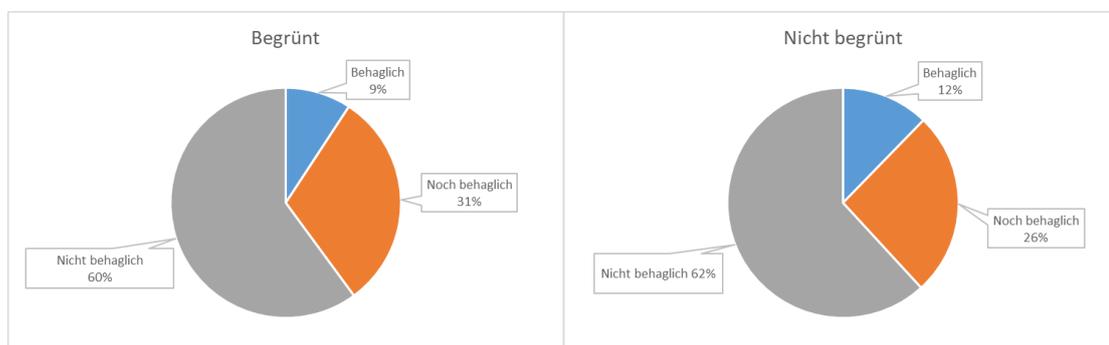


Abbildung 53: Messwerte in Prozent BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

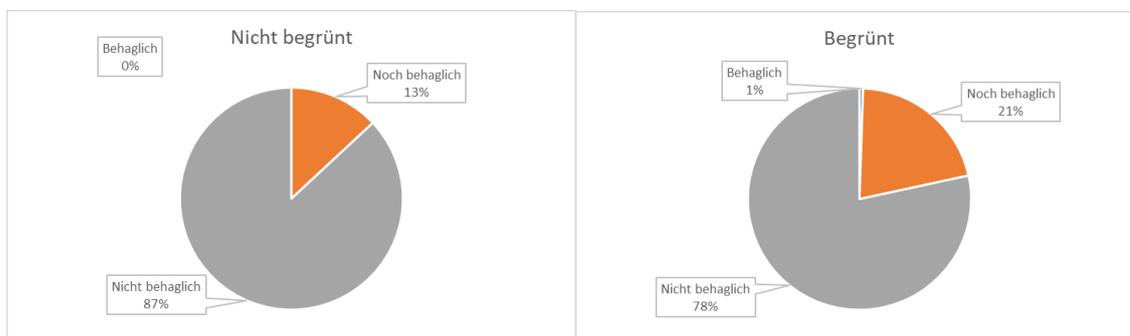


Abbildung 54: Messwerte in Prozent BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)

#### 4.1.4 Schimmelsporenbelastung aufgrund von Innenraumbegrünung im Schulneubau

Tabelle 14 bis Tabelle 17 zeigen die Ergebnisse repräsentativer Schimmelsporenmessungen. Die Konzentrationen mesophiler bzw. thermophiler Pilze werden in der Einheit KBE/m<sup>3</sup> (koloniebildende Einheiten pro Kubikmeter) angegeben. Die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit wurden zum Messzeitpunkt auch erfasst und sind in den Tabellen angegeben.

Tabelle 14: Raumklimadaten und Sporenkonzentration im BRG 15 am 6. April 2018 zwischen 7:14 und 8:05

	Luft-Temperatur [°C]	Relative Luftfeuchte [%]	Konzentration mesophiler Pilze [KBE/m <sup>3</sup> ]	Konzentration thermophiler Pilze [KBE/m <sup>3</sup> ]	Identifizierung des Pilzartenspektrums (mesophile Pilze)
Physik Raum 251 (begrünt)	21,9	31	n.b.	n.b.	
Biologie Raum 255 (begrünt)	22,6	33	n.b.	n.b.	
Referenzraum2 53 (nicht begrünt)	22,8	31	n.b.	n.b.	
Außenluft bei Ansaugung RTA (Dach)	8,1	58	270	20*	Heterogen

n.b. Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze

\* Angabe semiquantitativ

Tabelle 15: Raumklimadaten und Sporenkonzentration im BRG 15 am 5. Februar 2019 zwischen 10:20 und 11:05

	Luft-Temperatur [°C]	Relative Luftfeuchte [%]	Konzentration mesophiler Pilze [KBE/m <sup>3</sup> ]	Konzentration thermophiler Pilze [KBE/m <sup>3</sup> ]	Identifizierung des Pilzartenspektrums (mesophile Pilze)
Physik Raum 251 (begrünt)	19,8	58	n.b.	n.b.	
Biologie Raum 255 (begrünt)	18,3	61	n.b.	n.b.	
Referenzraum2 53 (nicht begrünt)	18,7	47	n.b.	n.b.	
Außenluft Dachterrasse	1,5	68	50*	n.b.	Heterogen

n.b. Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze

\* Angabe semiquantitativ

Tabelle 16: Raumklimadaten und Sporenkonzentration im BRG 15 am 23. März 2018 zwischen 7:15 und 8:05

	Luft-Temperatur [°C]	Relative Luftfeuchte [%]	Konzentration mesophiler Pilze [KBE/m <sup>3</sup> ]	Konzentration thermophiler Pilze [KBE/m <sup>3</sup> ]	Identifizierung des Pilzartenspektrums (mesophile Pilze)
<b>Biologie Raum 004 (begrünt)</b>	22,3	40	n.b.	n.b.	
<b>Raum 005 (nicht begrünt)</b>	24,3	23	n.b.	n.b.	
<b>Referenzraum 016 (begrünt)</b>	23,9	33	50*	n.b.	Penicillium spp. ca. 65% Cladosporium spp. ca. 25% Wallemia sebi ca. 10%
<b>Außenluft Schulhof</b>	3,3	72	80*	n.b.	Penicillium spp. ca. 90% Cladosporium spp. ca. 10%

n.b. Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze

\* Angabe semiquantitativ

Tabelle 17: Raumklimadaten und Sporenkonzentration im BRG 15 am 5. Februar 2019 zwischen 9:05 und 9:50

	Luft-Temperatur [°C]	Relative Luftfeuchte [%]	Konzentration mesophiler Pilze [KBE/m <sup>3</sup> ]	Konzentration thermophiler Pilze [KBE/m <sup>3</sup> ]	Identifizierung des Pilzartenspektrums (mesophile Pilze)
<b>Biologie Raum 004 (begrünt)</b>	21,5	36	80*	n.b.	Penicillium spp. ca. 80% Aspergillus spp. ca. 10% Sonstige b ca. 10%
<b>Raum 005 (nicht begrünt)</b>	22,7	26	n.b.	30*	
<b>Referenzraum 016 (begrünt)</b>	21,1	34	n.b.	20*	
<b>Außenluft Schulhof</b>	1,8	63	n.b.	n.b.	

n.b. Konzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze

\* Angabe semiquantitativ

Die Messungen werden nach [44] bewertet. Tabelle 18 zeigt wie die jeweiligen Grenzwerte für eine Innenraumquelle definiert sind. Die Konzentration der Schimmelsporen im Innenraum hängt mit der Konzentration in der Außenluft zusammen. Eine höhere Konzentration in der Außenluft erhöht auch die Konzentration in den Räumen. Eine Innenraumquelle für Schimmelsporen muss deshalb nicht gegeben sind. Sie wird wahrscheinlich, wenn die Schimmelsporenkonzentration im Innenraum deutlich höher ist als in der Außenluft (siehe Tabelle 18 rechte Spalte).

Tabelle 18: Bewertungshilfe für kultivierbare Schimmelpilze, nach [44]

Innenluft-Parameter	Innenraumquelle unwahrscheinlich	Innenraumquelle nicht auszuschließen	Innenraumquelle wahrscheinlich
Cladosporium sowie andere Pilzgattungen, die in der Außenluft erhöhte Konzentrationen erreichen können	Wenn die KBE/m <sup>3</sup> einer Gattung in der Innenluft unter dem 0,7 (bis 1,0)-fachen der Außenluft liegen	Wenn die KBE/m <sup>3</sup> einer Gattung in der Innenluft unter dem 1,5 ± 0,5-fachen der Außenluft liegen	Wenn die KBE/m <sup>3</sup> einer Gattung in der Innenluft über dem 2-fachen der Außenluft liegen
Summe der KBE der untypischen Außenluftarten	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten nicht über 150 KBE/m <sup>3</sup> liegt	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten nicht über 500 KBE/m <sup>3</sup> liegt.	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der untypischen Außenluftarten über 500 KBE/m <sup>3</sup> liegt.
eine Gattung (Summe der KBE aller zugehörigen Arten) der untypischen Außenluftarten	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der Gattung nicht über 100 KBE/m <sup>3</sup> liegt	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der Gattung nicht über 300 KBE/m <sup>3</sup> liegt	Wenn die Differenz zwischen der KBE-Summe Innenraumluft minus Außenluft der Gattung über 300 KBE/m <sup>3</sup> liegt
eine Art der untypischen Außenluftarten mit gut flugfähigen Sporen	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 50 KBE/m <sup>3</sup> liegt	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 100 KBE/m <sup>3</sup> liegt	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft über 100 KBE/m <sup>3</sup> liegt
eine Art der untypischen Außenluftarten mit geringer Sporenfreisetzungsrate	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 30 KBE/m <sup>3</sup> liegt	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft nicht über 50 KBE/m <sup>3</sup> liegt	Wenn die Differenz zwischen Innenraumluft und Außenluft über 50 KBE/m <sup>3</sup> liegt

Basierend auf den Messergebnissen in Tabelle 14 bis Tabelle 17 ist eine Innenraumquelle für Schimmelsporen unwahrscheinlich. Meistens war während den Messungen die Schimmelsporenkonzentration in der Außenluft sogar höher als in den begrünten Klassenräumen. Nur am 5. Februar 2019 ist es umgekehrt. Hier wurden aber auch im nicht begrünten Klassenraum Schimmelsporen gefunden. Alle Konzentrationen in den begrünten Räumen sind bei oder unter 80 KBE/m<sup>3</sup>. Aufgrund dieser Messungen wird festgestellt, dass die untersuchte Innenraumbegrünung zu keiner Erhöhung der Schimmelsporenkonzentration führt.

#### 4.1.5 Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf die CO<sub>2</sub>-Konzentration

Die Messungen haben gezeigt, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration während der alltäglichen Raumnutzung hohe Werte erreicht. Der Grund dafür ist, dass sich zwischen 20 und 30 Personen in verhältnismäßig kleinen Räumen aufhalten und nicht immer ausreichend gelüftet wird. In der Literatur werden unterschiedliche Grenzwerte definiert [45]. Die DIN EN 1946-2 [46] gibt einen Maximalwert von 1.500 ppm an. Oberhalb dieses Wertes ist die Konzentrationsfähigkeit beeinträchtigt und die Luft wird als unbehaglich empfunden. In allen untersuchten Klassenräumen wurde dieser Wert überschritten. Wie häufig dieser Wert überschritten wurde, hängt hauptsächlich damit zusammen, wie groß die Luftwechselrate war. Ob der Klassenraum begrünt ist oder nicht, ist nachrangig (siehe Abbildung 55 und Abbildung 56). Es ist unumstritten, dass Pflanzen durch Photosynthese die CO<sub>2</sub>-Konzentration reduzieren. In einem Schulbetrieb jedoch werden die Räume von vielen Personen gleichzeitig genutzt und die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigt schnell an. Der starke Anstieg kann von den Pflanzen nicht kompensiert werden. Die Begrünung von Innenräumen kann das Lüften

in Schulklassen nicht ersetzen. Es ist unabhängig davon, ob der Klassenraum begrünt ist oder nicht, notwendig die Klassenräume mindestens zwei Mal pro Stunde zu lüften.

Ist eine Lüftungsanlage in der Schulklasse installiert (wie beispielsweise im BRG15), ist das Öffnen der Fenster nicht immer notwendig (siehe Abbildung 55). Abhängig davon, wie die Räume genutzt werden und wie die Lüftungsanlage dimensioniert ist, kann das Öffnen der Fenster ersetzt werden.

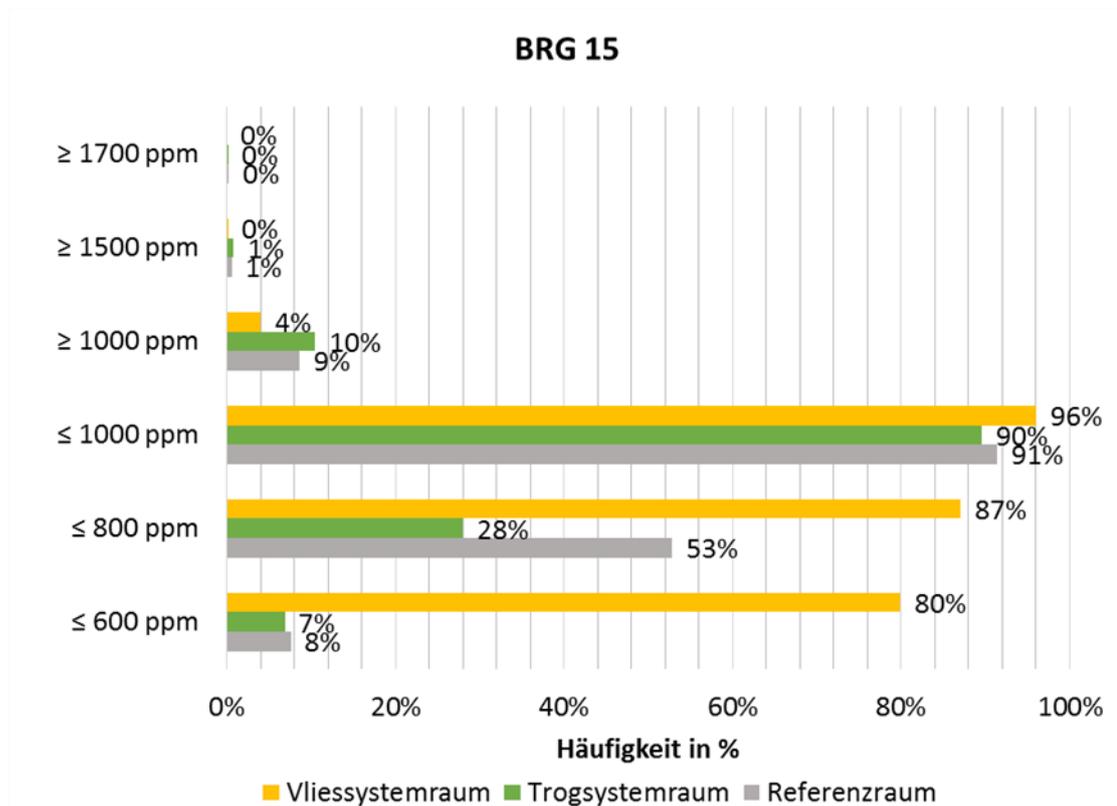


Abbildung 55: Die Häufigkeit der CO<sub>2</sub>-Konzentration in den untersuchten Räumen, im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)

### BRG 16

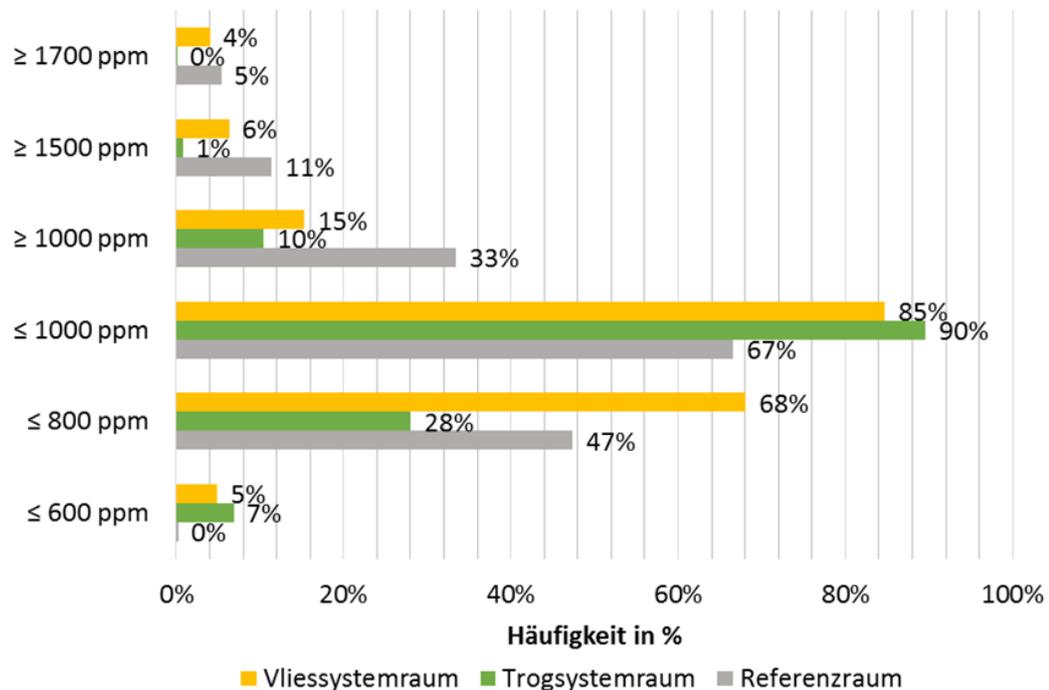


Abbildung 56: Die Häufigkeit der CO<sub>2</sub>-Konzentration in den untersuchten Räumen, im BRG 16 (Neubau mit Lüftungsanlage)

### GRG 7

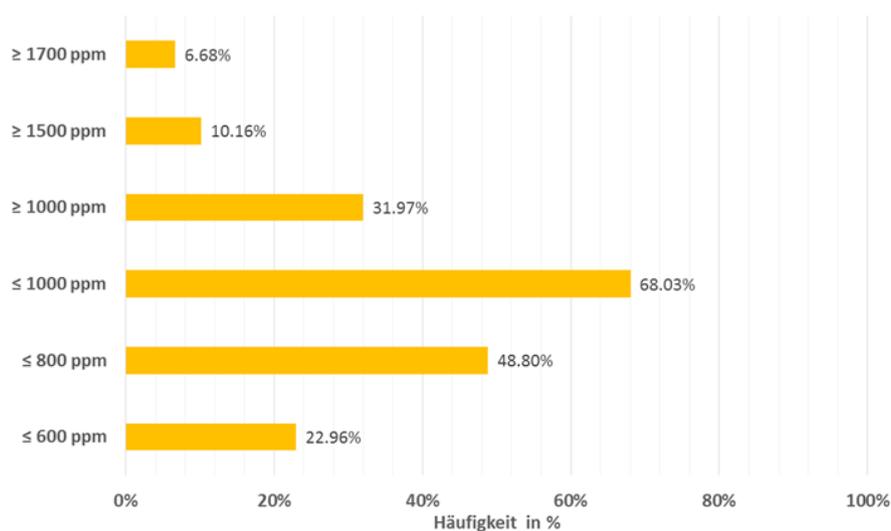


Abbildung 57: Die Häufigkeit der CO<sub>2</sub>-Konzentration im begrünten Klassenraum, im GRG 7 (Altbau) in der mittels Vliessystem begrünten Klasse.

Ob es sich bei den Schulklassen um Räume in neuen gedämmten Gebäuden oder um Räume in ungedämmten Altbaugebäuden handelt, ist nicht relevant. Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass das Altbaugebäude mehr Leckagen zur Außenluft aufweist, beeinflusst dieser Luftwechsel die CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Räumen nur nachrangig. Beim Vergleich von Abbildung 56 und Abbildung 57 ist sichtbar, dass der begrünte Klassenraum im GRG7 – dem Altbaugebäude während des Schulbetriebst eine höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration aufweist, als die untersuchten Räume im BRG16 – dem Neubaugebäude ohne Lüftungsanlage.

#### 4.1.6 Kühlleistung von Fassadenbegrünung (Mikroklima)

Das Projekt KLG Gänserndorf (Planungsschule) wurde im Rahmen des Forschungsprojektes GRÜNEzukunftSCHULEN mit einer erweiterten GREENPASS Pre-Certification hinsichtlich Klimaresilienz analysiert, bewertet und mit Referenzszenarien verglichen sowie daraus folglich Maßnahmen zur Optimierung abgeleitet.

Konkret wurden dabei folgende Varianten untersucht:

WW01 - Szenario PLANUNG (siehe Abbildung 58)

WW02 - Szenario WORST CASE (WC) (siehe Abbildung 59)

WW03 - Szenario MAXIMUM (MAX) (siehe Abbildung 60)

WW04 - Szenario STATUS QUO (SQ) (siehe Abbildung 61)

Dafür wurden die Plangrundlagen der Architektur und Freiraumplanung in die GREENPASS Editor Software importiert und ein digitales Simulationsmodell, inklusive Umgebung, generiert. Darauf basierend wurden in weiterer Folge eine Worst Case Variante (100 % versiegelt) und ein Maximum Szenario (maximal begrünt) abgeleitet. Die drei Szenarien sowie die SQ Variante (Bestand) wurden anschließend mit der weltweit bekannten Software für Mikroklima, ENVI-met, simuliert.

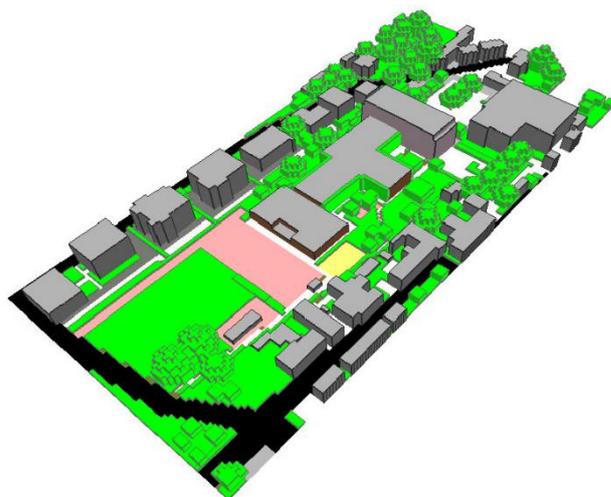


Abbildung 58: Simulationsmodell - GZS KLG Planung

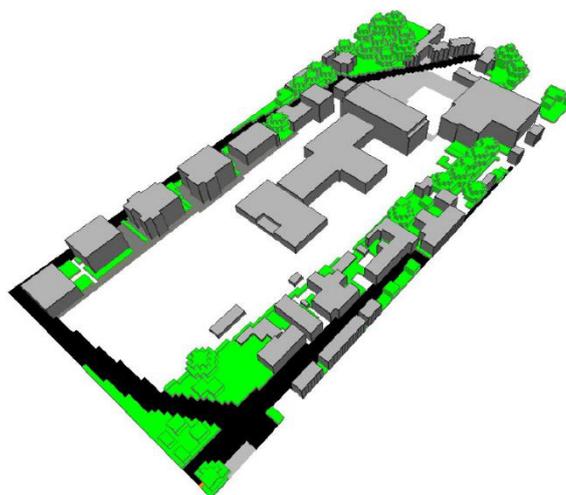


Abbildung 59: Simulationsmodell - GZS KLG Planung WC

Als Eingangsparameter wurden klimatische Messdaten von der ZAMG von den Jahren 1971-2000, für den Standort Fuchsenbigl, verwendet. Basierend auf der Simulation, wurden die GREENPASS Schlüsselindikatoren für Klimaresilienz (climate.resilient Key Performance Indicators) ausgewertet und miteinander verglichen.

Dabei wurde auf die Rahmensituation einer Schule, und somit auf die NutzerInnengruppe Kinder/Jugendliche bzw. SchülerInnen, Rücksicht genommen. Dafür wurde die PET (gefühlte Temperatur) speziell für diese Zielgruppe angepasst und zu relevanten und aussagekräftigen Zeitpunkten ausgewertet.

Basierend auf der Analyse wurden in weiterer Folge auch konkrete Maßnahmenempfehlungen zur Optimierung abgeleitet und definiert.

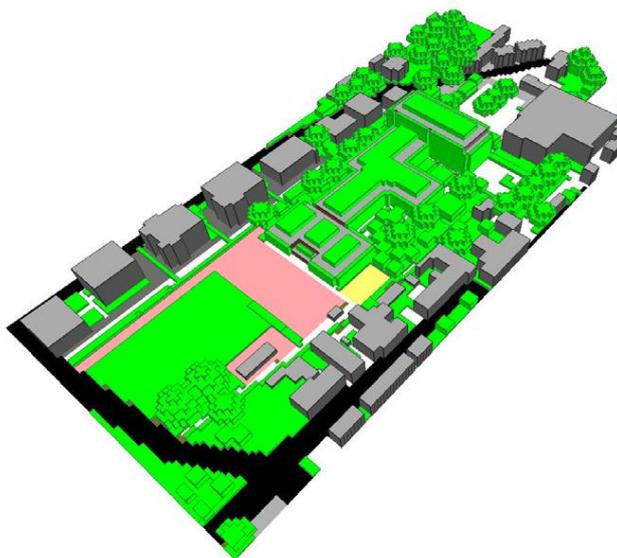


Abbildung 60: Simulationsmodell - GZS KLG Planung MAX

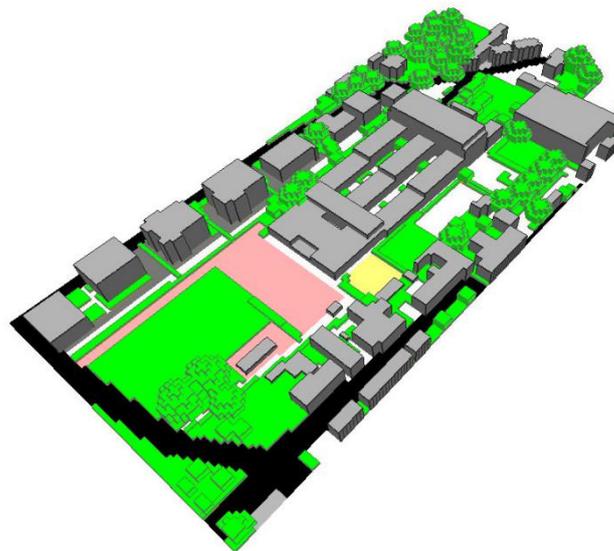


Abbildung 61: Simulationsmodell - GZS KLG SQ

Zusammenfassend performt die Planungsvariante aus klimatischer Sicht gut. Folgend werden die fünf Performance-Werte kurz näher erläutert und untereinander bewertet. Abbildung 62 bis Abbildung 66 stellen die Parameter im Vergleich dar.

#### 01 | THERMISCHER ABLUFTSTROM (TLO):

Die Planungsvariante hat einen Abluftstrom von  $+ 0.289 \text{ }^\circ\text{C}$  und gibt an das angrenzende Quartier somit im Vergleich zur WC Variante, eine um bis zu durchschnittlich ca.  $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$  geringere Belastung weiter (siehe Abbildung 62). Vergleicht man die Planungsvariante mit der MAX Variante so wird deutlich, dass die Planung beinahe die Performance der MAX begrünten Variante vorweist, im Vergleich zur SQ jedoch nicht ganz herankommt.

#### 02 | THERMISCHER KOMFORT (TCS):

Die Planungsvariante weist mit einem TCS von 51.79 Punkten einen höheren Komfort vor als die SQ Variante (51.01 TCS) sowie WORST CASE Variante mit 41.19 TCS. Mit der Planungsvariante können ca. 60 % des maximal möglichen thermischen Komforts erreicht werden, wie die 58.98 TCS für das MAX Szenario zeigen (siehe Abbildung 63).

#### 03 | THERMISCHE SPEICHERFÄHIGKEIT (TSS):

Das Modell der Planungsvariante speichert in den Materialien 32.69 Wattsekunden Energie und hat damit eine leicht schlechtere Performance als die SQ und MAX Variante (siehe Abbildung 64). Die Differenz zur WC Variante beträgt mehr als 7 Wattsekunden Energie.

#### 04 | ABFLUSSBEIWERT (ROS):

Der Abflussbeiwert der Planung beträgt 0.41. Die WC Variante hat mit 0.9 einen sehr hohen Abflussbeiwert. Der Abflussbeiwert von 0.27 für die MAX Variante zeigt, dass die Planung im Vergleich zur MAX Variante noch Potential aufweist, jedoch im Vergleich zur SQ Variante (0.50) besser performt (siehe Abbildung 65).

#### 05 | CO<sub>2</sub> SPEICHERUNG (CSS):

Die CO<sub>2</sub>-Speicherung der Planungsvariante liegt mit ca. 2.866 kg/Jahr über der Bestandsvariante (SQ) und bei ca. 50 % der maximal möglichen Speicherung der MAX Variante mit 5.325 kg/Jahr. In der WC Variante liegt diese aufgrund der totalen Versiegelung bei 0.00 kg/Tag (siehe Abbildung 66).

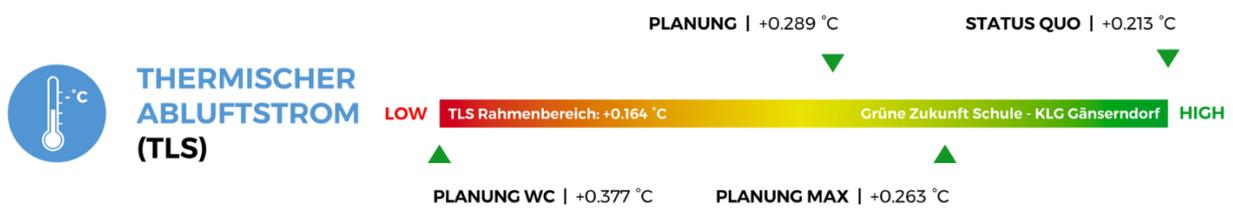


Abbildung 62: Vergleich Thermischer Abluftstrom

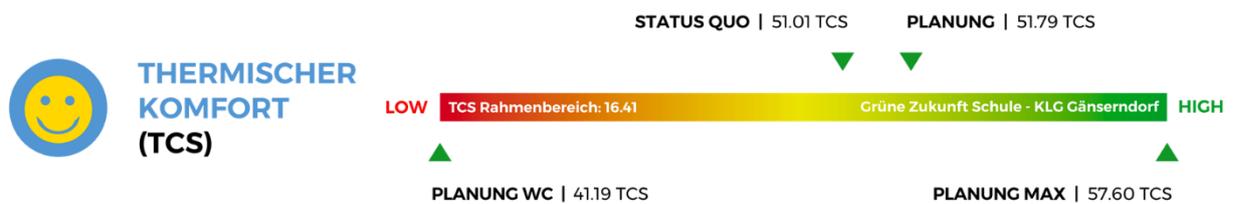


Abbildung 63: Vergleich Thermischer Komfort Wert

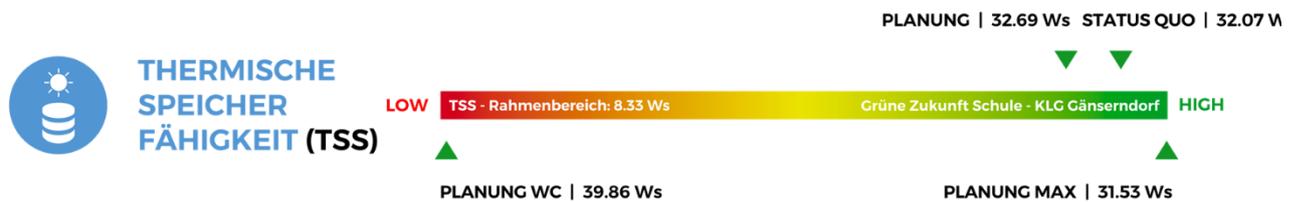


Abbildung 64: Vergleich Thermische Speicherfähigkeit



Abbildung 65: Vergleich Abflussbeiwert



Abbildung 66: Vergleich CO<sub>2</sub> Speicherung

#### 4.1.7 Formel zur Berechnung der Evapotranspiration

Tabelle 19 gibt eine Übersicht zu der berechneten Pflanzenbasisfläche und die sich daraus ergebende offene/ unbedeckte Substratfläche, welche eine geänderte Evaporation aufweist, als durch Pflanzenteile bedeckte Oberflächen.

Tabelle 19: Übersicht zu der berechneten Pflanzenbasisfläche und die sich daraus ergebende offen/ unbedeckte Substratoberfläche.

Pflanzen				Pflanzenbasis- Fläche [m <sup>2</sup> ]	Behältnis- Fläche [m <sup>2</sup> ]	Substrat- Fläche [m <sup>2</sup> ]
Kürzel	Botanischer Name		Deutscher Name			
Cc_S_gr	Chlorophytum ,Variegata'	comosum	Grünlilie	0,1075	0,1767	0,0692
Cc_S_gr	Chlorophytum ,Variegata'	comosum	Grünlilie	0,0709	0,1767	0,1058
Cc_S_kl	Chlorophytum ,Variegata'	comosum	Grünlilie	0,0238	0,1767	0,1530
Cc_E_gr	Chlorophytum ,Variegata'	comosum	Grünlilie	0,0817	0,1767	0,0950
Df_S_gr	Dracaena fragans ,Compacta'		Drachenbaum	0,0212	0,1767	0,1555
Df_S_mi	Dracaena fragans ,Compacta'		Drachenbaum	0,0196	0,1767	0,1571
Df_S_kl	Dracaena fragans ,Compacta'		Drachenbaum	0,0181	0,1767	0,1586
Sa_S_gr	Scindapsus aureus		Efeutute	0,0020	0,1767	0,1747
Sa_S_mi	Scindapsus aureus		Efeutute	0,0030	0,1767	0,1737
Sa_S_kl	Scindapsus aureus		Efeutute	0,0018	0,1767	0,1749
St_S_gr	Sansevieria trifasciata		Bogenhanf	0,0754	0,1767	0,1013
St_S_mi	Sansevieria trifasciata		Bogenhanf	0,0238	0,1767	0,1530
St_S_kl	Sansevieria trifasciata		Bogenhanf	0,0480	0,1767	0,1287
Ne_S_gr	Nephrolepis exaltata		Schwertfarn	0,0419	0,1767	0,1349
Ne_S_mi	Nephrolepis exaltata		Schwertfarn	0,0091	0,1767	0,1676
Ne_S_kl	Nephrolepis exaltata		Schwertfarn	0,0332	0,1767	0,1435

Abbildung 67 zeigt den variierenden Gewichtsverlust [kg] von *Chlorophytum comosum* nach 92 Stunden in Seramis bei einer Lufttemperatur von 22 °C, je nach vorherrschender relativer Luftfeuchtigkeit. Deutlich zu sehen ist dabei das Luftfeuchteoptimum bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 45 %.

### Gewichtsverlust von *Chlorophytum comosum* 'Ocean' nach 92h im Seramis® Substrat bei einer Temperatur von 22°Celsius

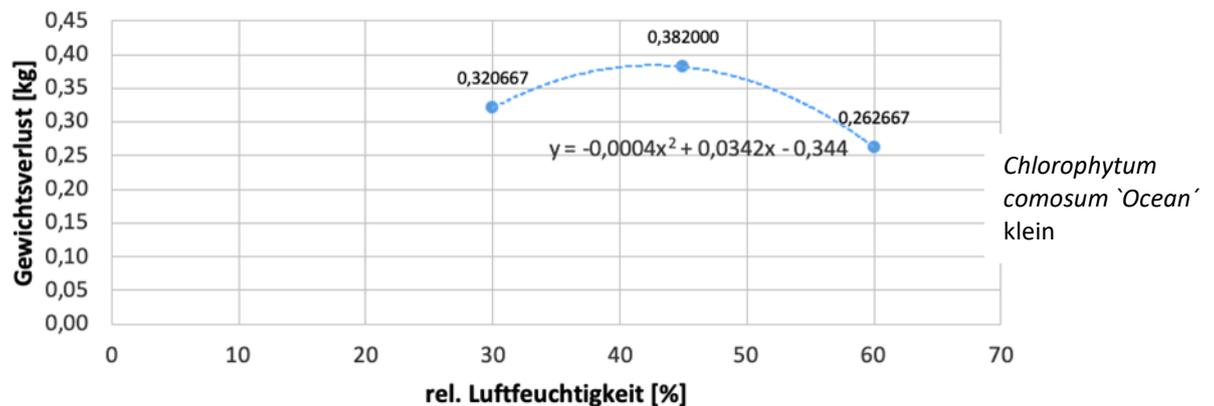


Abbildung 67: Gewichtsverlust von *Chlorophytum comosum* nach 92 Stunden in Seramis bei einer Lufttemperatur von 22°C und variabler relativen Lufttemperatur.

Um die Messergebnisse schließlich in eine Berechnung der voraussichtlichen Evapotranspiration von Innenraumpflanzen in der Praxis zu überführen wurde der folgende Ansatz verfolgt:

Die NutzerInnen der Berechnung müssen zunächst folgende Parameter bestimmen:

Plant	...	Pflanzenart (Gattung, Art)
d <sub>Topf</sub>	...	Durchmesser des Pflanztopfes
h <sub>Topf</sub>	...	Höhe des Pflanztopf
h <sub>Plant</sub>	...	Höhe der Pflanze
w <sub>Plant</sub>	...	Breite der Pflanze
t <sub>Plant</sub>	...	Tiefe der Pflanze
AT	...	Lufttemperatur
rH	...	relative Luftfeuchte

Die erhobenen Parameter werden zur Berechnung der zu erwartenden Evapotranspiration in Formel 14 eingegeben:

$$ET = (E_{substrate} + T_{plant}) * AT_{corr} * rH_{corr}$$

E <sub>substrate</sub>	...	Evaporation aus dem Substrat ermittelt durch eine Regression basieren auf der Substratoberfläche und Topftiefe
T <sub>plant</sub>	...	Transpiration der Pflanze berechnet aus pflanzenspezifischer Regression in Abhängigkeit von kubischem Pflanzenvolumen und Basisfläche
AT <sub>corr</sub>	...	Korrektur von E und T auf Basis der Temperaturregression
rH <sub>corr</sub>	...	Korrektur von E und T auf Basis der Luftfeuchteregression

Formel 14: Berechnung der zu erwartenden Evapotranspiration

Die detaillierte Berechnung basierend auf mehreren Regressionen sowie die dazugehörige Berechnungshilfe mittels Tabellenkalkulation werden in einem wissenschaftlichen „open access“ Fachartikel veröffentlicht und kostenfrei zugänglich gemacht.

## 4.2 Auswirkungen von Innenraumbegrünung auf die Staubkonzentration

### 4.2.1 Feinstaub (Durchschnittskonzentrationen)

Die gemessenen Konzentrationen an Feinstaub hängen von einer Vielzahl von Faktoren wie der Belüftung, der Nutzung und der Konzentrationen in der Außenluft ab.

Abbildung 68 zeigt die Auswirkungen der angewendeten Belüftungsstrategie auf die Partikelkonzentration in einem Klassenraum. Nachdem 15 Minuten lang mit geschlossenem Fenster gemessen wurde, wurde die Belüftung gestartet, was in der Grafik als Erhöhung der Konzentration wahrzunehmen ist. Gründe für diesen Einfluss sind einerseits Verwirbelung der Luft durch das spontane Öffnen der Fenster so wie die von außen eindringende Luft selbst. Nachdem die Fenster um 18:22 Uhr wieder geschlossen wurden ist eine deutliche Verminderung der Partikelkonzentration zu beobachten. Ab 19:07 Uhr wurde das Fenster anschließend gekippt, wodurch ein leichter Anstieg der gemessenen Konzentrationen zu verzeichnen war. Grundsätzlich ist der Einfluss des Stoßlüftens größer als der eines gekippten Fensters.

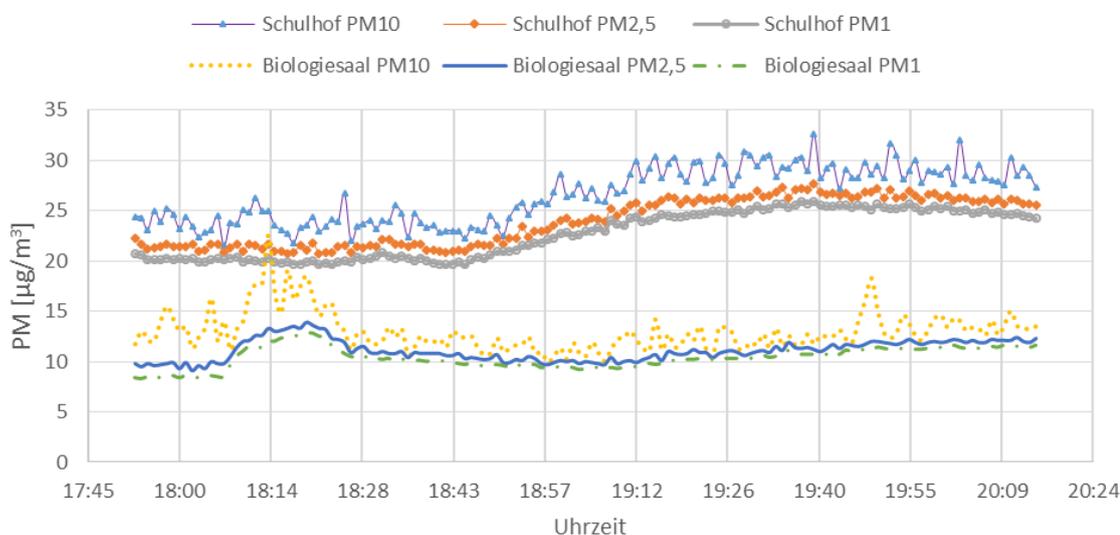


Abbildung 68 Die Auswirkungen der angewendeten Belüftungsstrategie auf die Partikelkonzentration in einem Klassenraum

Ein weiterer starker Einfluss ist die Anwesenheit von SchülerInnen während der Messungen. Aus diesem Grund ist der Durchschnitt der Feinstaubkonzentrationen bei ausschließlicher Betrachtung der entsprechenden Ergebnisse größer als bei Betrachtung aller durchgeführten Messungen (siehe Tabelle 6). Tabelle 20 zeigt die Durchschnittswerte der Messungen.

Tabelle 20 Übersicht über die Durchschnittswerte aller Messungen

Mess- periode		Innen	Innen (während Schulstunden)	Außen (Schulhof)	Referenzmessstelle Kendlerstraße
		µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
1	PM10	12,1	55,3	27,3	29,5
	PM2,5	10,3	16,8	23,7	25,7
	PM1	9,7	12,3	21,7	-
2	PM10	25,2	87,4	33,3	27,5
	PM2,5	13,9	28,2	28,1	12,0
	PM1	12,1	20,9	26,0	-

Für die Berechnung der durchschnittlichen Konzentrationswerte der während der Messperiode 1 aufgezeichneten Konzentrationen, wurden die mit dem Gerät S2 aufgezeichneten Daten herangezogen, da sich dieses Gerät über den gesamten Zeitraum im Innenraum befunden hat. Für Messperiode 2 wurden, aufgrund der festen Installation der Geräte, alle Daten genutzt.

Während Messperiode 1 hat die Konzentration im Innenraum ungefähr die Hälfte der Konzentration in der Außenluft betragen, was auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass hauptsächlich an Wochenenden und in der Nacht und zu 95 % ohne anwesende SchülerInnen gemessen wurde. Da während Messperiode 2 nur zu 85 % ohne anwesende SchülerInnen gemessen wurde und Partikel der Klasse PM10 stärker von Resuspension der Luft betroffen sind, ist die Konzentration dieser mit  $25,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durchschnittlich entsprechend höher ausgefallen. Diese Tatsache lässt sich auch anhand eines Vergleichs der Daten aller Messungen im Innenraum mit denen, die nur während Schulstunden durchgeführt wurden, nachvollziehen. So ist die Konzentration der Klasse PM10 mit  $87,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  beziehungsweise  $55,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  während den Schulstunden deutlich höher als die Werte der Daten, die ohne Anwesenheit der SchülerInnen erhoben wurden, inkludieren. Dies trifft in geringerem Ausmaß auch auf die Klassen PM2,5 und PM1 zu.

Abbildung 69 zeigt durchgeführte Messungen mit entsprechendem Effekt. Die höchsten Konzentrationen treten zwischen 08:00 und 13:55 Uhr auf, also während regulärem Schulbetrieb, wenn sich ca. 20 SchülerInnen und Lehrpersonal im Raum (Biologiesaal) aufhalten. Anschließend sinkt die Konzentration rapide, da die SchülerInnen den Raum verlassen haben und der Raum nur noch sporadisch von kleinen SchülerInnengruppen genutzt wurde. In der Nacht sank die Feinstaubkonzentration weiter, da weder durch Verwirbelung der Luft noch durch Türen oder Fenster Feinstaub in die Luft befördert werden konnte.

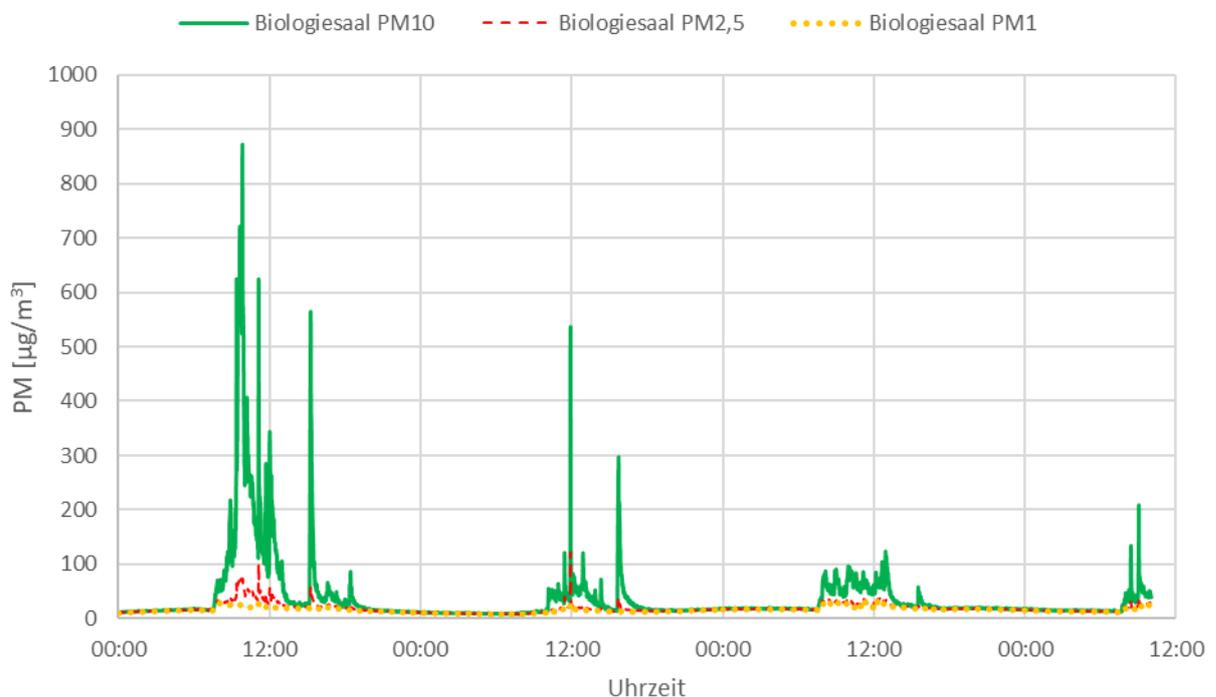


Abbildung 69: Messung im Innenraum während Messperiode 2, 8.4. – 11.4.2019

## 4.2.2 Feinstaub (Verhältnis der Konzentrationen)

Zusätzlich zu den durchschnittlichen Feinstaubkonzentrationen in Abhängigkeit der Nutzung wurden aus den erhobenen Daten Verhältnisse zwischen den Konzentrationen in der Innen- bzw. Außenluft, so wie der Konzentrationen in begrüntem bzw. nicht begrüntem Klassenraum berechnet.

Während Messperiode 1 (mit und ohne SchülerInnen) haben die durchschnittlichen I/O-Verhältnisse (I/O-Verhältnisse steht für Innen/Außen-Verhältnisse) für alle Fraktionen ungefähr 0,3 betragen. Dies zeigt, dass die Konzentrationen im Innenraum grundsätzlich deutlich niedriger als in der Außenluft sind und aufgrund der Tatsache, dass überwiegend ohne Anwesenheit der SchülerInnen und daraus folgender Resuspension der Luft, gemessen wurde. Effekte wie der Eintrag von Partikeln durch Belüftung der Räume, lassen sich aus Tabelle 21 ablesen. So wurden die jeweiligen Räume während der Messungen M5, 9, 17 und 19 belüftet, beziehungsweise im Fall von M17 (Abbildung 70) und M19 zusätzlich kurz vor den Messungen genutzt, was anhand der relativ höheren I/O-Verhältnissen zu erkennen ist.

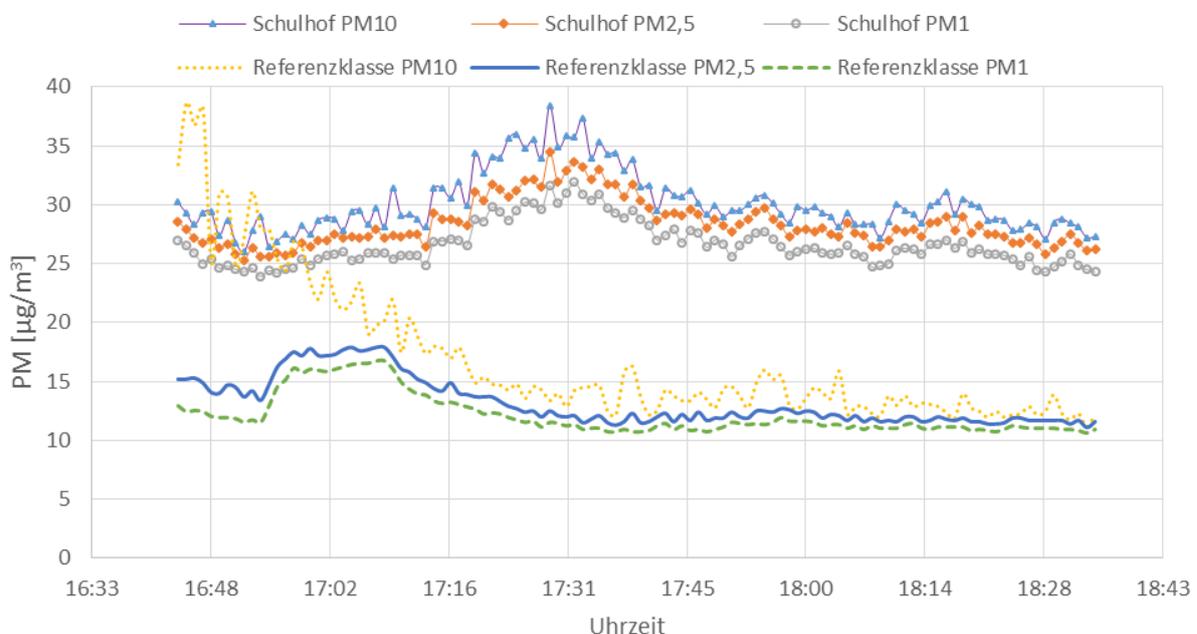


Abbildung 70: M17 Darstellung der erhöhten PM-Konzentration direkt nach Nutzung

Für Messperiode 2 haben die Verhältnisse für alle aufgezeichneten Daten  $0,75 \pm 1,34$  für PM10,  $0,53 \pm 0,32$  für PM2,5 und  $0,50 \pm 0,23$  für PM1 betragen. Die Tatsache, dass die Verhältnisse ebenfalls mindestens 10% weniger als 1 betragen, bestätigt, dass Konzentrationen im Innenraum selbst bei häufigerer Raumnutzung durch Schulklassen, geringer als in der Außenluft sind. Darüber hinaus lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den für die Feinstaub-Fractionen PM10 und PM2,5 berechneten Verhältnissen feststellen. Die für die Fractionen PM2,5 und PM1 bestimmten Verhältnisse sind vergleichbar mit den Ergebnissen aus den Arbeiten von Buonanno et al. [47] (Verhältnisse  $< 1$  für  $0,004\text{-}3\mu\text{m}$ ) und [48] (Verhältnis von  $0,94$  für PM2,5). Betrachtet man nur die Messungen, die in der Schulzeit durchgeführt wurden, betragen die Verhältnisse  $2,39 \pm 1,34$  für PM10,  $0,85 \pm 0,28$  für PM2,5 und  $0,72 \pm 0,19$  für PM1 während Messperiode 1 (siehe Tabelle 21, M1 bis 3) und  $2,3 \pm 2,6$  für PM10,  $0,92 \pm 0,47$  für PM2,5 und  $0,74 \pm 0,25$  für PM1 während Messperiode 2. Dies verdeutlicht den Einfluss der Resuspension von Partikeln in der Luft durch Raumnutzung. Betrachtet man einen Auszug von 24 Stunden aus Messperiode 2 (siehe Abbildung 71, Abbildung 72 und Abbildung 73) ist ebenfalls zu erkennen, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den vorzufindenden Konzentrationen während eines Schultages und der darauffolgenden Nacht festzustellen ist. Die geringen I/O-Verhältnisse für die Fraction PM1 von ca. 8:00 bis 18:00 Uhr weisen dabei auf einen geringen Einfluss von Raumnutzung und Resuspension auf Partikel dieser Größe hin.

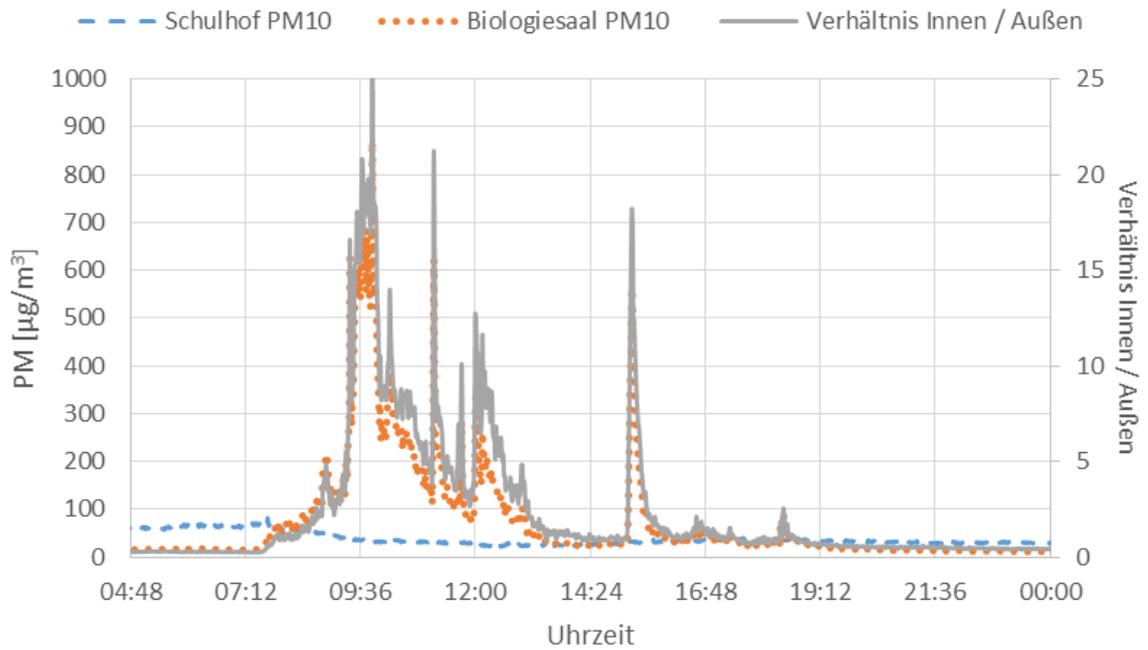


Abbildung 71: PM10; 24h Messung während Messperiode 2, 8.4. – 9.4.2019

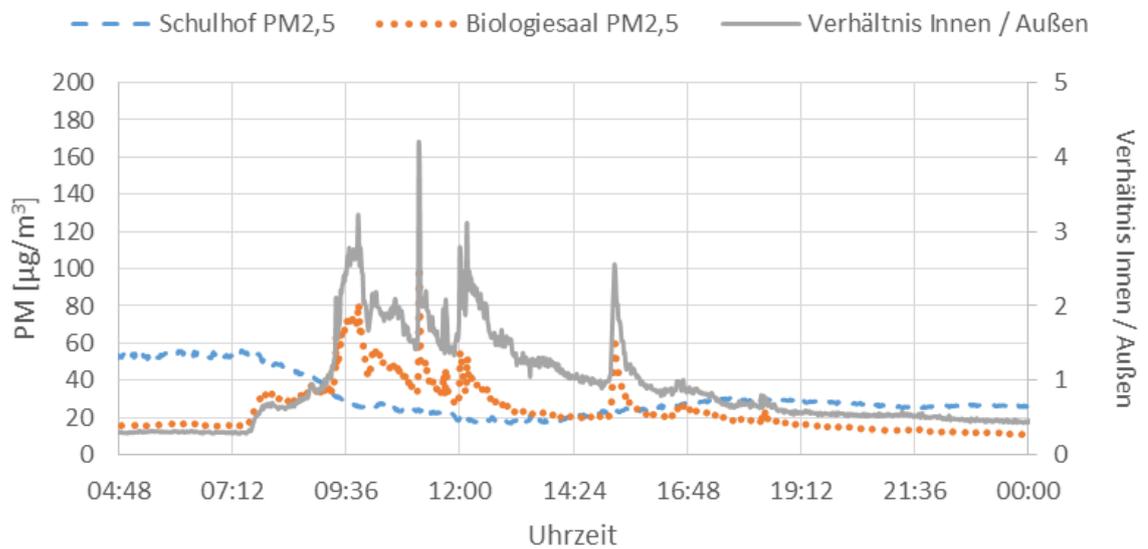


Abbildung 72: PM2,5; 24h Messung während Messperiode 2, 8.4. – 9.4.2019

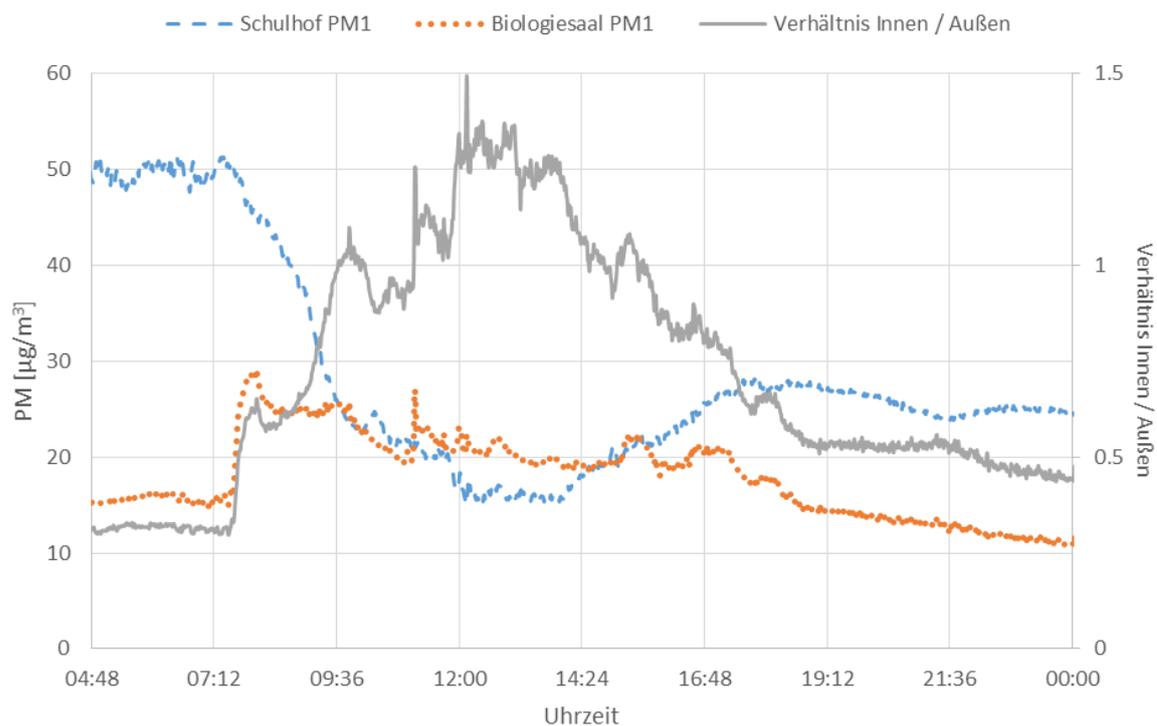


Abbildung 73: PM1; 24h Messung während Messperiode 2, 8.4. – 9.4.2019

Tabelle 21: Verhältnisse zwischen Innen/Außen-Luft (I/O), Biologieraum/Referenzklasse (B/R) und begrünter Raum/Referenzklasse (G/R) während der Messungen

Nr	I/O			B/R			G/R		
	PM10	PM2,5	PM1	PM10	PM2,5	PM1	PM10	PM2,5	PM1
1				1,20±0,10	1,18±0,10	1,17±0,10			
2				0,99±0,05	0,98±0,04	0,97±0,04			
3				1,59±0,30	1,58±0,29	1,55±0,28			
4				1,30±0,30	1,06±0,05	1,00±0,02			
5	0,49±0,10	0,47±0,06	0,46±0,06						
6	0,23±0,02	0,24±0,01	0,24±0,01						
7				0,87±0,19	0,98±0,09	1,04±0,07			
8				0,86±0,14	0,89±0,11	0,99±0,06			
9	0,37±0,11	0,44±0,09	0,46±0,10						
10							0,94±0,15	1,04±0,08	1,10±0,1
11							1,30±0,10	1,26±0,09	1,22±0,1
12							0,98±0,16	0,97±0,08	0,98±0,0
13							0,94±0,10	0,94±0,09	0,85±0,0
14				0,87±0,51	1,00±0,12	1,05±0,05			
15				1,51±0,24	1,50±0,24	1,50±0,24			
16							0,85±0,03	0,85±0,03	0,85±0,0
17	0,57±0,23	0,47±0,09							
18	0,31±0,09	0,32±0,09							
19	0,59±0,17	0,44±0,08							

### 4.2.3 Verhältnis begrünter Raum zur Referenzklasse

Die Verhältnisse zwischen den Messungen im begrünten Raum, dem Biologiesaal (B) und der Referenzklasse (R) wurden für die Messreihen M1 bis 4, 7, 8, 14 und 15 berechnet.

Bei M2 lässt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Räumlichkeiten feststellen. M1, 3 und 15 wurden ohne Belüftung und M1 und 3 außerdem über ein Wochenende durchgeführt. Die Messreihen ergeben Verhältnisse die deutlich über 1 liegen und zeigen einen deutlichen Einfluss der Konzentrationen in der Außenluft auf den Innenraum. Abbildung 74, Abbildung 75 und Abbildung 76 zeigen die Messungen im Vergleich zu den an der Referenzmessstelle Kenderstraße gemessenen Konzentrationen, wobei diese auf den Biologiesaal einen deutlich größeren Einfluss als auf den Referenzraum zu haben scheint. Dies ist vermutlich auf dichtere Fenster oder andere Unterschiede in der Bausubstanz zurückzuführen.

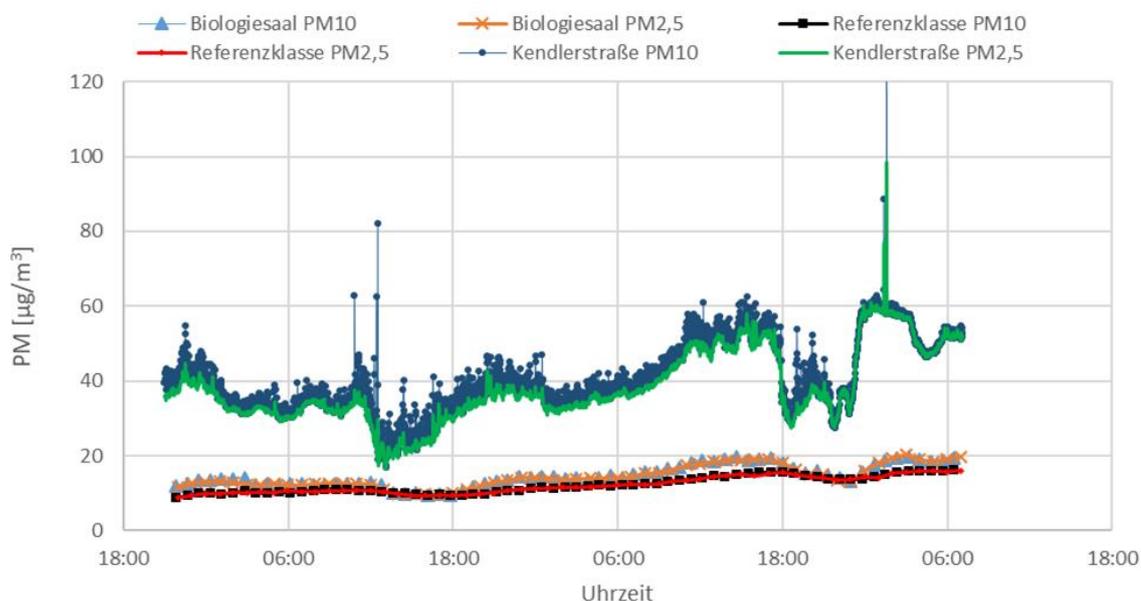


Abbildung 74: M1, Einfluss von Konzentration in Außenluft auf Innenluft

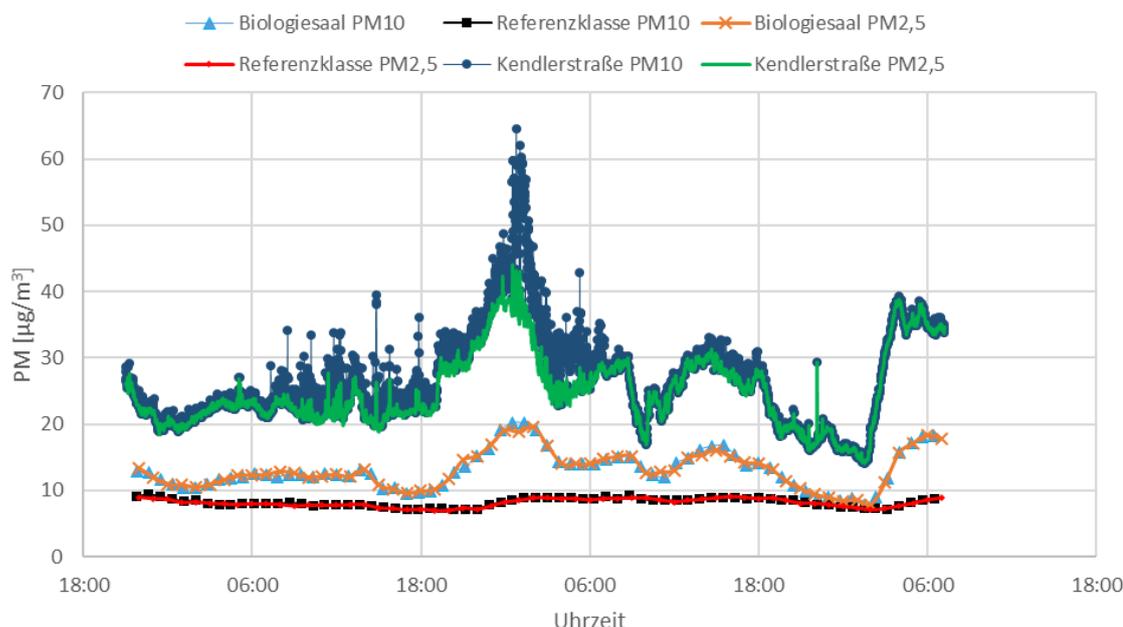


Abbildung 75: M3, Einfluss von Konzentration in Außenluft auf Innenluft

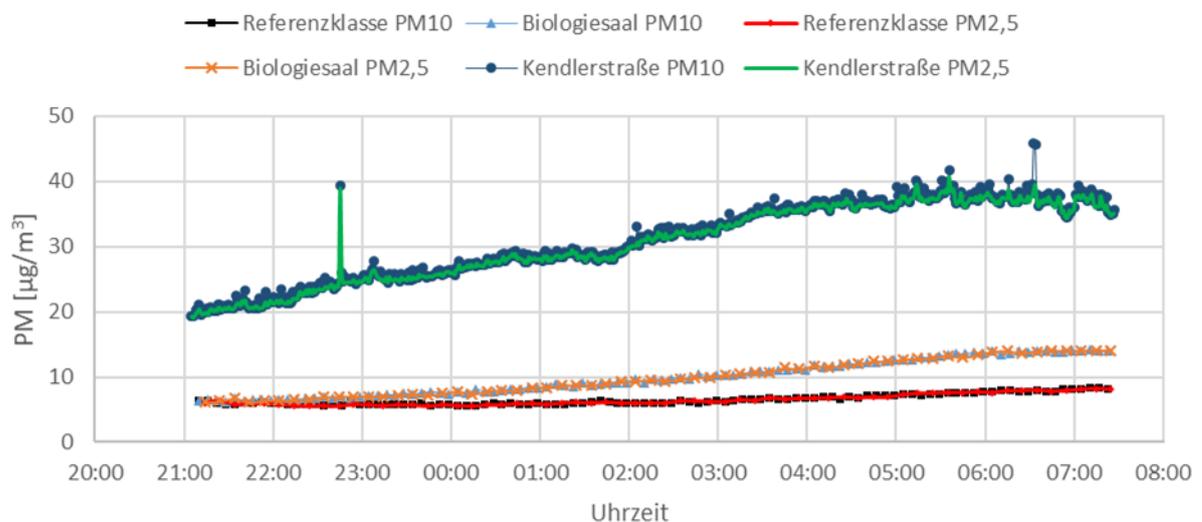


Abbildung 76: M15, Einfluss von Konzentration in Außenluft auf Innenluft

#### 4.2.4 Verhältnis Begrünte Klasse zur Referenz

Um den Einfluss der Begrünung auf die Partikelkonzentration möglichst gut abzubilden, wurden in den entsprechenden Räumen während Messperiode 1 parallel Messungen durchgeführt und die Ergebnisse in Relation zueinander gesetzt. Da währenddessen kein Messgerät im Schulhof (SH) vorhanden war, wurden die Werte für die Konzentration in der Außenluft anhand der Messwerte der Luftmessstation Kendlerstraße (K) bestimmt.

Die Verhältnisse wurden für die Messreihen M10 bis 13 und M16 bestimmt, wobei aufgrund der Abweichung der Messgeräte zueinander, abgesehen für die PM1-Konzentration bei M13, keine signifikanten Konzentrationsunterschiede für die Reihen M10, M12 und M13 festgestellt werden konnten.

M11 (ohne Belüftung) zeigt relativ hohe Verhältnisse für alle Fraktionen was daran liegt, dass die Konzentrationen im begrünten Klassenraum bereits bei Beginn der Messungen auf einem hohen Niveau lagen. Über den Zeitraum der Messung sanken diese dann im Vergleich zu den Konzentrationen in der nicht begrünten Referenzklasse sogar stärker, erreichen aber ebenfalls höhere Konzentrationen, bei denen sie am Ende der Messung stagnieren (siehe Abbildung 77).

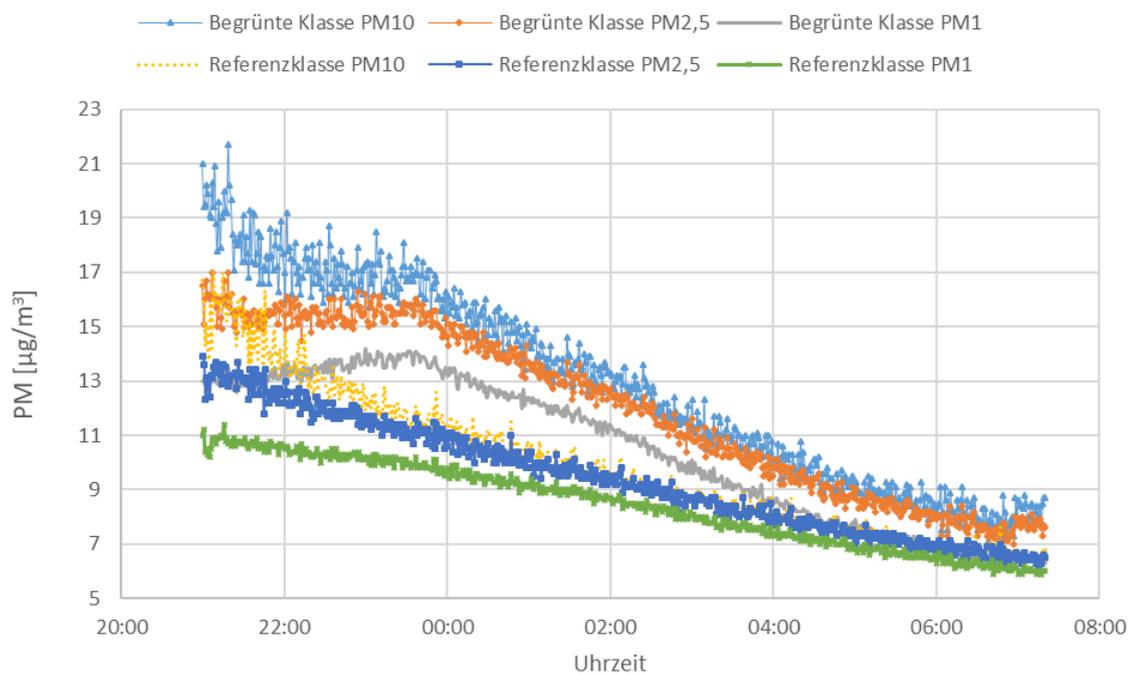


Abbildung 77: M11, Messung mit geschlossenem Fenster; 5. – 6.12.2018

Während Messreihe M16 (ohne Belüftung) wurden hingegen durchgehend geringere Konzentrationen im begrünten Klassenraum als im nicht begrünten Referenzraum gemessen. Da die Räume während der gesamten Messdauer ungenutzt waren und die Fenster nicht geöffnet wurden, kann die Veränderung der Staubkonzentration in diesem Zeitraum gut auf ein Eindringen von Außenluft in das Bauwerk durch beispielsweise undichte Fenster zurückgeführt werden. Abbildung 78 zeigt M16 im Vergleich zu der Feinstaubkonzentration an der Referenzmessstelle Kandlerstraße im selben Zeitraum.

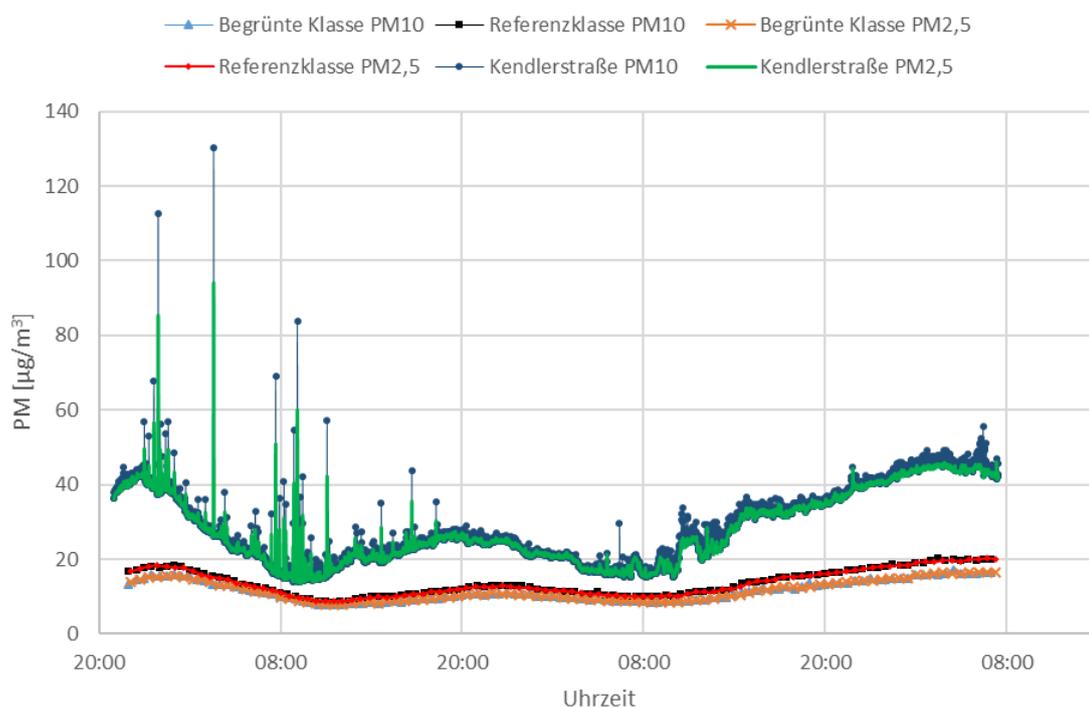


Abbildung 78: M16, Messung mit geschlossenem Fenster, 14. – 17.12.2018

Da kein signifikanter Unterschied zwischen begrünter Klasse und Referenzklasse festgestellt werden konnte, beziehungsweise die signifikanten Messergebnisse (M11 und M16) gegensätzlich waren, kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob die Begrünungsmaßnahme einen positiven Einfluss auf die Feinstaubkonzentration im Klassenraum haben kann.

#### 4.2.5 Partikelgrößenverteilung

Die Größenverteilung der Partikel wurde im Schulhof (SH), der Referenzklasse und der begrünten Klasse durchgeführt. Jede Messung dauerte ca. eine Stunde, wobei in der begrünten Klasse mehrere Messungen durchgeführt wurden. 15 Minuten nach Beginn der Messung in den jeweiligen Klassenräumen wurden die Fenster für 5 Minuten (Stoßlüften) geöffnet und anschließend bis zum Ende der Messung geschlossen gehalten.

Die Messungen im Schulhof zeigen eine typische Verteilung der Partikelgrößen. Abbildung 79 und Abbildung 80 zeigen die Ergebnisse einzelner Messungen im Vergleich. Für die Darstellung wurden für die Anzahl der gemessenen Partikel Durchschnittswerte im Intervall von fünf Minuten für die Zeit vor, während und sofort nach dem Belüften berechnet. Aufgrund der Ähnlichkeit der Messungen im begrüntem Klassenraum zueinander, wird nur eine der Messungen für diesen Raum dargestellt.

Abgesehen von einer geringeren Anzahl an Partikeln mit einer Größe von 0,006 bis 0,016  $\mu\text{m}$  in der Referenzklasse, konnten zwischen den Räumen keine signifikanten Unterschiede in der Größenverteilung der Partikel nachgewiesen werden.

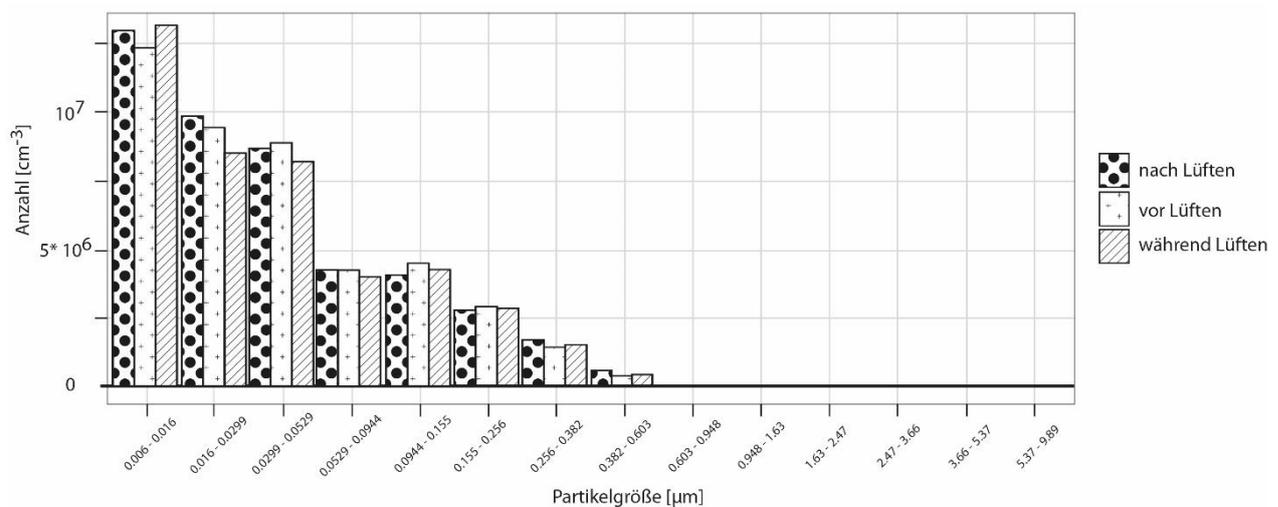


Abbildung 79: Größenverteilung der Partikel in Begrünter Klasse während Messperiode 1 in einem Zeitraum von einer Stunde.

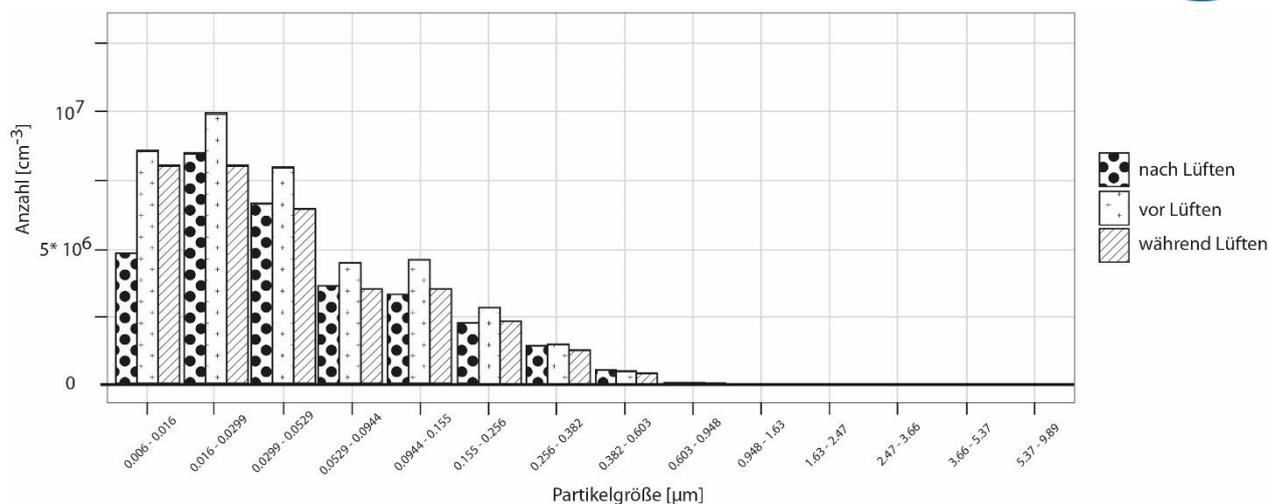


Abbildung 80: Größenverteilung der Partikel in der Referenzklasse während Messperiode 1 in einem Zeitraum von einer Stunde.

Alle Messungen der Rußkonzentration wurden während Messperiode 1 durchgeführt. Tabelle 22 zeigt eine Übersicht aller Messungen, die mit den Geräten AE33 und AE51 getätigt wurden.

Tabelle 22: Messungen der Rußkonzentrationen (B – Biologiesaal begrünt; G – begrünter Klassenraum; R – nicht begrünter Referenzraum; SH – Schulhof)

	Datum	Messort		Dauer [min]	Belüftung
		AE33 (Gerät 1)	AE51 (Gerät 2)		
<b>M1</b>	16. -17.11.2018	B	R	914	Nein
<b>M2</b>	22.11.2018	B	R	164	Ja
<b>M3</b>	24.11.2018	B	R	349	Nein
<b>M4</b>	29.11.2018	B	SH	121	Ja
<b>M5</b>	29. – 30.11.2018	R	SH	685	Nein
<b>M6</b>	4.12.2018	R	B	237	Ja
<b>M7</b>	4. – 5.12.2018	R	B	623	Nein
<b>M8</b>	5.12.2018	B	SH	123	Ja
<b>M9</b>	5.12.2018	R	G	150	Ja
<b>M10</b>	5. – 6.12.2018	R	G	267	Nein
<b>M11</b>	11.12.2018	G	R	225	Ja
<b>M12</b>	11. – 12.12.2018	G	R	628	Nein
<b>M13</b>	12.12.2018	B	R	291	Ja
<b>M14</b>	12. – 13.12.2018	B	R	624	Nein
<b>M15</b>	14. – 15.12.2018	R	G	790	Nein
<b>M16</b>	17.12.2018	R	SH	418	Ja
<b>M17</b>	17. – 18.12.2018	B	SH	694	Nein
<b>M18</b>	18.12.2018	R	SH	121	Ja

Die durchschnittliche Rußpartikel-Konzentration im Innenraum wurde anhand aller in Tabelle 22 aufgeführten Messungen, die den Innenraum betreffen, bestimmt und hat  $1,90 \pm 1,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  betragen. Für die Berechnung wurden nur Werte, die mit Messgerät AE33 aufgezeichnet wurden, verwendet. Dieser Wert ist mit in anderen Studien gemessenen Daten vergleichbar. So haben Buonanno et al. [47] und Rivas et al. [49] bei ihren Untersuchungen in Italien Konzentrationen von  $2,0 \pm 0,8$  und Konzentrationen von  $1,3 \pm 0,4$  in Spanien gemessen. Zu beachten ist, dass die Messungen in gänzlich ungenutzten Räumen, sowohl mit und

ohne Belüftung stattgefunden haben und von höheren Konzentrationen während der Nutzung der Räume auszugehen ist, da Rußpartikel als Teil der Fraktion PM<sub>2,5</sub> durch Raumnutzung signifikant resuspendiert werden können.

Bei genauerer Betrachtung einer Messung, die bei geschlossenen Fenstern und ohne anwesende SchülerInnen durchgeführt wurde, ist zu erkennen, dass der Verlauf der Rußpartikel-Konzentration mit dem der Feinstaub-Konzentration (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>; PM<sub>1</sub>) korreliert und ebenfalls stark von der Außenluft beeinflusst wird (siehe Abbildung 81)

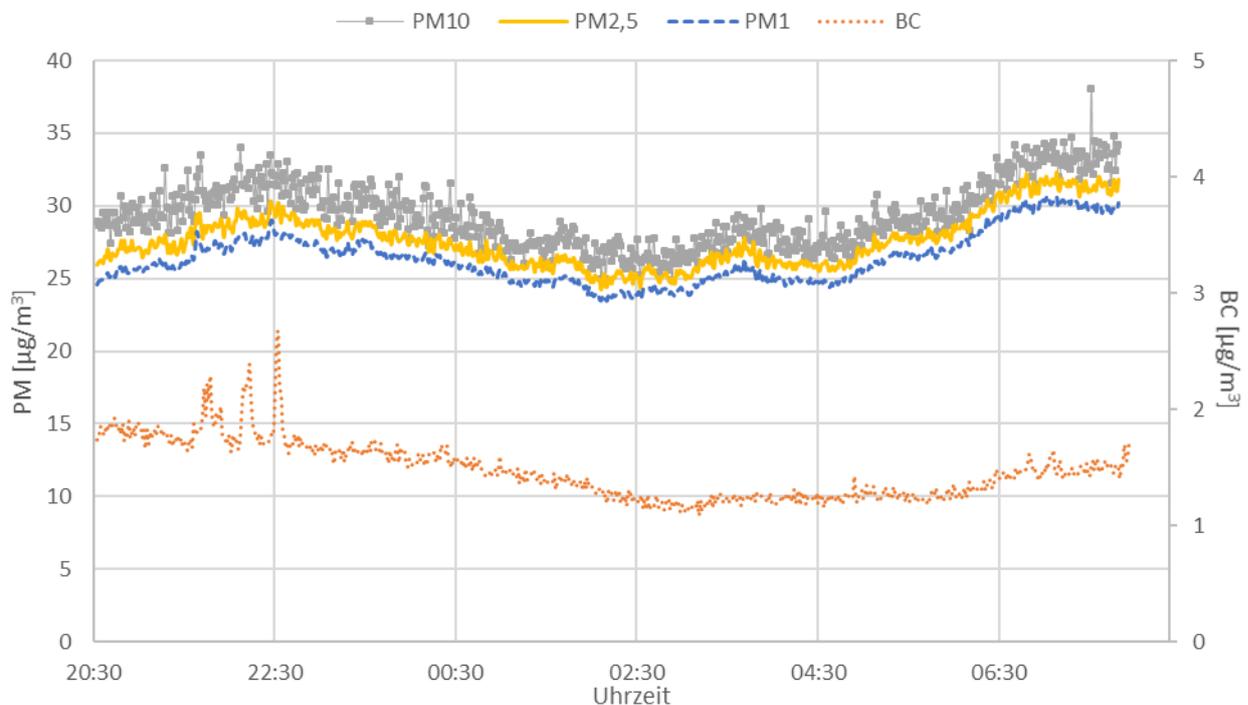


Abbildung 81: M4 Verlauf der Feinstaub- und Rußpartikel-Konzentration bei simultaner

Zusätzlich wurde für jeden Raum die spezifische durchschnittliche Konzentration von Rußpartikeln aus den Daten, die mit dem Gerät AE33 erhoben wurden, berechnet. Für B hat diese  $1,99 \pm 0,93$ , für G  $0,52 \pm 0,19$  und für R  $2,16 \pm 1,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  betragen. Das Ergebnis für den begrünten Klassenraum ist aufgrund der geringen Anzahl an Messungen und der starken Fluktuation der Rußpartikel-Konzentration dabei als nicht aussagekräftig zu betrachten. Aufgrund der Ähnlichkeit der Ergebnisse für den begrünten Biologieraum und den nicht begrünten Referenzraum zueinander kann außerdem keine Aussage darüber getroffen werden, ob die Begrünung einen Einfluss auf die Konzentration gehabt haben könnte.

Die durchschnittliche Rußpartikel-Konzentration in der Außenluft wurde aus den Ergebnissen der Messungen M4, 5, 8 und 17 (siehe Tabelle 23) berechnet und hat  $1,74 \pm 0,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  betragen. Dieser Wert ist mit Konzentrationen die von Rivas et al. [49] bestimmt wurden, vergleichbar.

#### 4.2.6 Rußpartikel Verhältnis der Konzentrationen Innen und Außen

Die Innen/Außen-Verhältnisse wurden für die Ergebnisse der Messungen M4, 5, 8 und 18 (siehe Tabelle 23) berechnet. Messreihe 5 (keine Belüftung) zeigt dabei ein deutlich niedrigeres Verhältnis, was darauf zurückzuführen ist, dass im Innenraum neben der Resuspension keine nennenswerten Rußpartikel-Quellen vorhanden sind und somit Partikel durch die Außenluft eingetragen werden können.

Tabelle 23: Übersicht über die berechneten Rußpartikel-Konzentrationsverhältnisse für Messperiode 1

	Belüftung	I/O - Verhältnis	B/R - Verhältnis	G/R - Verhältnis
M1	Nein		1,46±0,15	
M2	Ja		0,85±0,05	
M3	Nein		1,38±0,20	
M4	Ja	0,74±0,08		
M5	Nein	0,56±0,06		
M8	Ja	0,91±0,26		
M9	Ja (kein Stoßlüften)			0,48±0,11
M10	Nein			0,41±0,09
M13	Ja		0,93±0,17	
M14	Nein		1,28±0,28	
M15	Nein			0,75±0,08
M18	Ja	0,72±0,12		

Das mittlere Innen/Außen Verhältnis aller mit Belüftung durchgeführten Messreihen beträgt  $0,79 \pm 0,19$  und ist mit dem Verhältnis von 0,9, das in einer Untersuchung von Stranger et al. [50] bestimmt wurde, vergleichbar.

Den Verlauf einer typischen Rußpartikel-Bestimmung, bei der das Gerät AE51 im Schulhof und das Gerät AE33 in der Referenzklasse installiert wurde, zeigt Abbildung 82. Zwischen 16:46 Uhr und 17:01 Uhr ist der Einfluss der Belüftung auf die Partikelkonzentration mit offenem Fenster und ab 17:46 Uhr mit gekipptem Fenster ersichtlich.

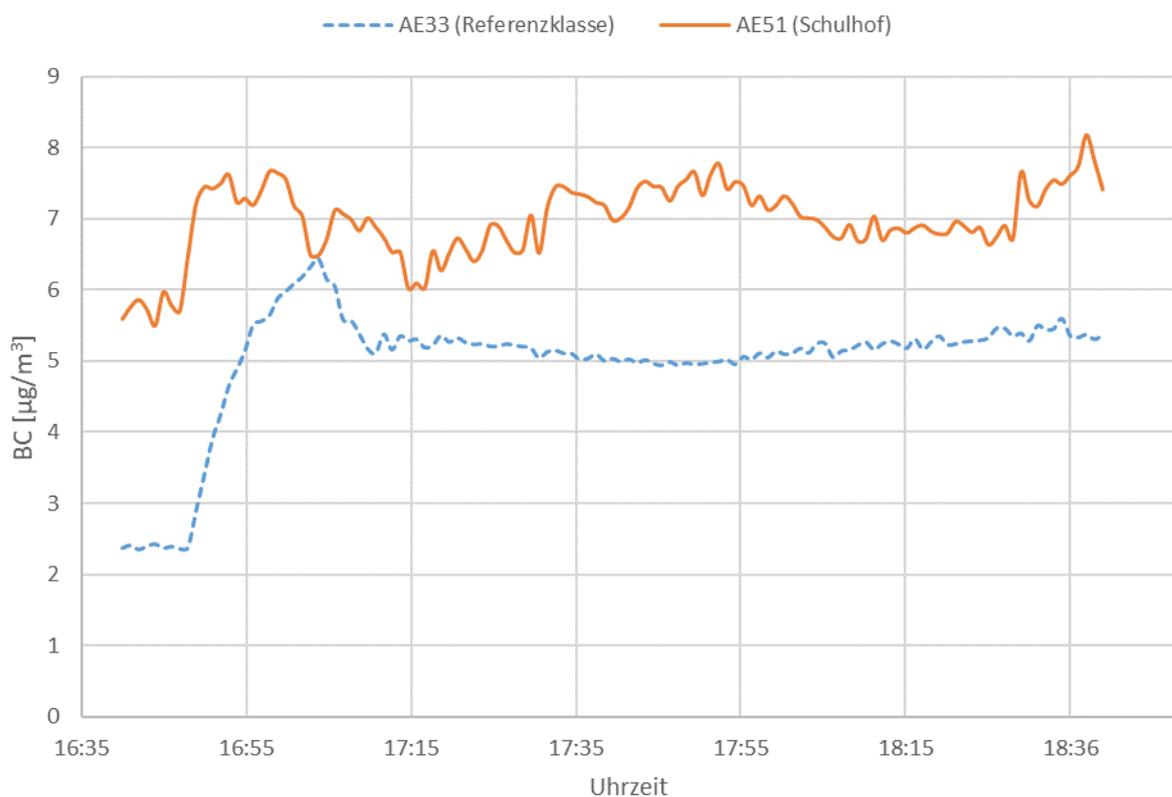


Abbildung 82: M18 Einfluss der Belüftung auf die Konzentration der Rußpartikel. AE33 entspricht der Referenzklasse und AE51 dem Schulhof.

## 4.3 Vegetationstechnische Ergebnisse

### 4.3.1 Auswertung der messbaren und visuellen vegetationstechnischen Parameter – BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)

Im Rahmen der vegetationstechnischen Aufnahmen wurden die Parameter Deckungsgrad, Gesamteindruck – Vitalität, Zuwachs, sowie Strom- und Wasserverbrauch in der Projektschule im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) im Innen- und Außenraum erhoben.

In Abbildung 83 ist ein Überblick des Trogsystems samt Bepflanzung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) zu sehen.

## TROGSYSTEM



Abbildung 83: Trogsystem inklusive Bepflanzung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) 01-2019.

## DECKUNGSGRAD

Tabelle 24 zeigt, dass die Begrünungsfläche des Trogsystems zu Beginn des Aufnahmezeitraums im April 2019 ein Deckungsgrad von 87,1% zu verzeichnen ist und im Juni 2019 einen minimalen Anstieg von 1,2% aufweist. Zum Ende der Aufnahmen im August 2019 ist wieder ein leichter Rückgang des Deckungsgrades auf 87,3% zu erkennen. Vergleicht man Ausgangs- und Endwert ist eine leichte Zunahme der Deckung zu erkennen. Der Rückgang des Deckungsgrades im letzten Monat ist auf den nahezu vollständigen Ausfall der Art *Chlorophytum comosum* zurückzuführen, wie in nachfolgender Abbildung deutlich zu sehen.

Tabelle 24: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads im Trogsystem.

Deckungsgradentwicklung Trogsystem - Diefenbachgasse					
Aufnahme	04/2019	05/2019	06/2019	07/2019	08/2019
Deckungsgrad [%]	87,1	87,1	88,3	88,3	87,3

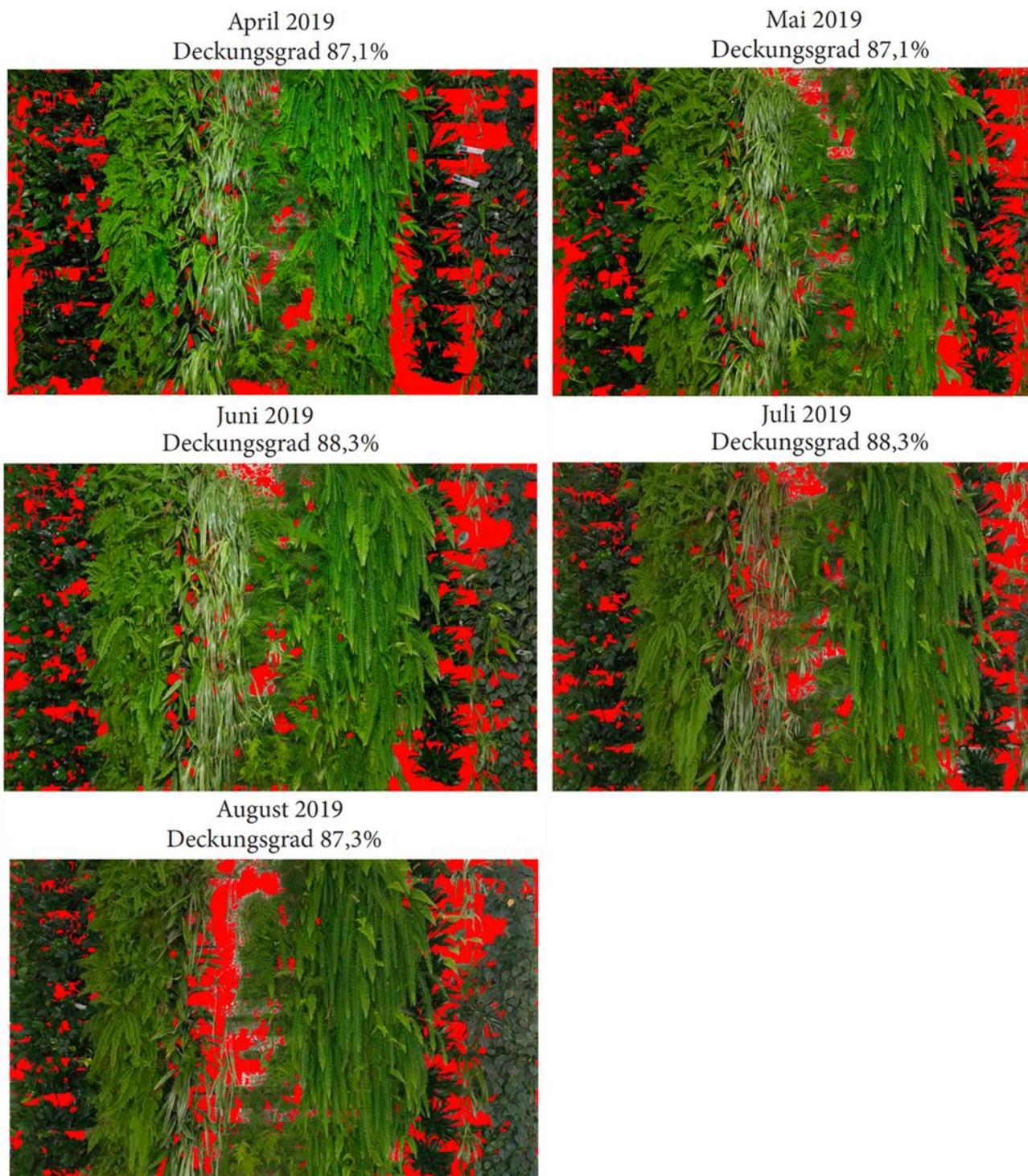


Abbildung 84: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Trogsystems im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).

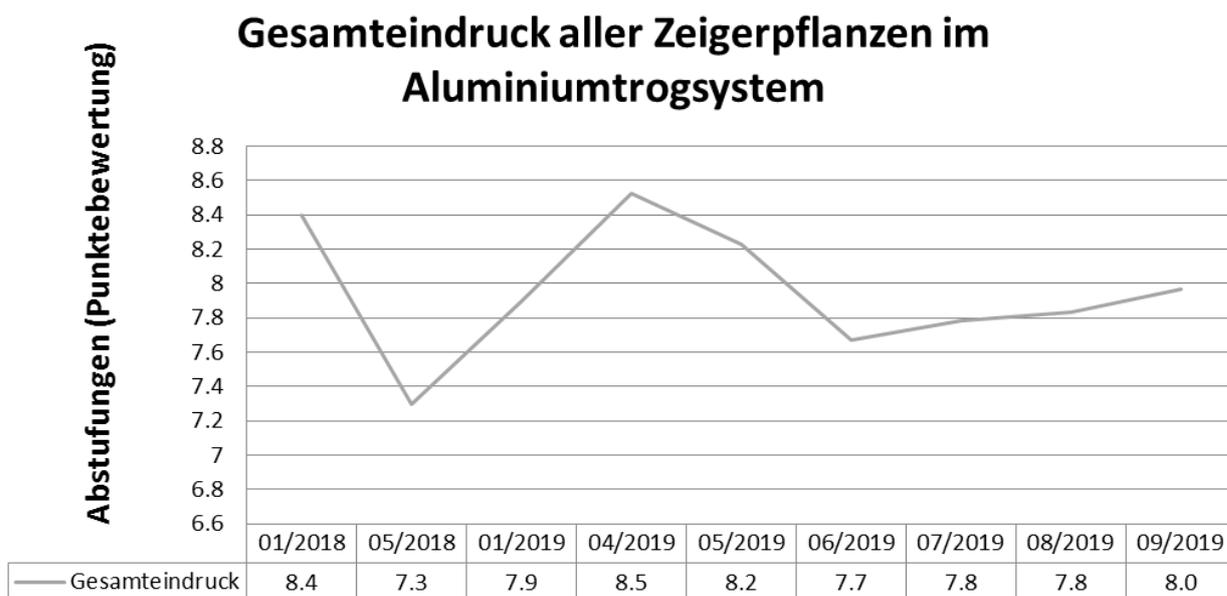


Abbildung 85: Verlauf der Vitalität des Trogsystems im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage), 2018-2019.

Abbildung 85 zeigt den Verlauf des durchschnittlichen Gesamteindrucks der Zeigerpflanzen im Trogsystem über den Beobachtungszeitraum. Der Gesamteindruck zu Beginn beträgt 8,4 Punkte im Jänner 2018. Bei der nächsten Bonitur im Mai 2018 konnte ein Rückgang auf 7,3 Punkte verzeichnet werden, was insbesondere auf das schlechte Erscheinungsbild von *Chlorophytum comosum* zurückzuführen ist. Im April 2019 konnte sich der Gesamteindruck wieder bei 8,5 Punkten stabilisieren. Im Juni ist ein Rückgang erkennbar, dies ist vorwiegend auf den beginnenden Ausfall von *Chlorophytum comosum* sowie *Ananas champaca* zurückzuführen. Wobei sich die Zierananas zum Ende des Aufnahmezeitraums wieder erholt hat. Die Bewertung der Grünlilie wird gegen Ende ebenfalls wieder besser, jedoch muss man beachten, dass nur noch wenige Exemplare mit guten Bewertungen übriggeblieben sind.

Der Rückgang der Grünlilie ist auf den sehr starken Schädlingsbefall zurückzuführen. Andere Arten wie die Drachenbaumarten waren ebenfalls von Schädlingen befallen, waren allerdings dadurch nicht so stark beeinträchtigt.

#### ZUWACHS

Tabelle 25 zeigt die Zuwächse der einzelnen Arten des Trogsystems. Den größten Zuwachs von 27 % weist hier *Asparagus plumosus* auf. *Chlorophytum comosum* 'Ocean' weist mit -28 % den größten Rückgang auf. Dies deckt sich auch mit der Auswertung des Deckungsgrades, wo die Art für den Rückgang im August 2019 verantwortlich ist. Die anderen Arten zeigen abwechselnd leichte Zuwächse und Verluste der Größe über den Beobachtungszeitraum.

Tabelle 25: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten im Trogsystem.

botanische Bezeichnung	deutsche Bezeichnung	Größe [cm] 04/2019	Größe [cm] 08/2019	Zuwachs
<i>Ananas champaca</i>	Zierananas	26,3	26,0	-1 %
<i>Asparagus plumosus</i>	Federspargel	58,8	74,3	27 %
<i>Chlorophytum comosum</i>	Grünlilie	35,5	37,7	6 %
<i>Chlorophytum comosum</i> 'Ocean'	Grünlilie	50,8	36,3	-28 %

<i>Dracaena fragrans</i> `Green Jewel'	Drachenbaum	34,8	34,7	0 %
<i>Dracaena fragrans</i> `Lemon Lime'	Drachenbaum	43,5	40,3	-7 %
<i>Epipremnum aureum</i>	Efeutute	38,0	39,0	3 %
<i>Nephrolepis exaltata</i> `Boston'	Schwertfarn	48,0	45,3	-6 %
<i>Nephrolepis exaltata</i> `Vitale'	Schwertfarn	47,0	47,3	1 %
<i>Peperomia clusifolia</i>	Zwergpfeffer	18,3	17,3	-5 %
<i>Philodendron scandens</i>	Baumfreund	31,5	32,0	2 %
<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	Glücksfeder	54,0	56,7	5 %

## LICHTMESSUNG

Die Begrünungsfläche wird mit einem LED-Scheinwerfer beleuchtet. Wie in Abbildung 86 ersichtlich, ist die PPFd (photosynthetic photon flux density), die angibt wie viele Photonen pro Sekunde, pro Quadratmeter auf eine Fläche in  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  auftreffen (GRÄF, 2018, S12), in der Mitte des Begrünungssystems mit  $12 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  am höchsten und nimmt seitlich und im unteren Bereich relativ stark ab. Hier wurden nur noch Werte um  $5-8 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  gemessen. Es lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem für die Pflanzen verfügbaren Licht, der Vitalität und der Entwicklung der Pflanze feststellen. Auch in Bereichen mit niedriger Intensität der PPFd weisen die Pflanzen eine ähnliche Entwicklung wie in den Bereichen mit höherer Strahlung auf.

Die Beleuchtungskörper sind während des Unterrichts oft störend, vor allem wenn die Leinwand in Verwendung ist. Hierzu wurden Schalter montiert, die ein manuelles Ein- und Ausschalten der Lampen ermöglichen. Nach manuellem Ausschalten der Beleuchtung, wurde diese zum Teil nicht mehr wieder bzw. erst nach einiger Zeit wieder eingeschaltet. Kann unter Umständen die Begrünungsfläche über längere Zeit (z.B. Wochenenden oder Ferien) nicht beleuchtet werden. Um dies zu verhindern, wären zusätzliche Zeitschaltuhren, die die Beleuchtung automatisch wieder einschalten, von Vorteil.

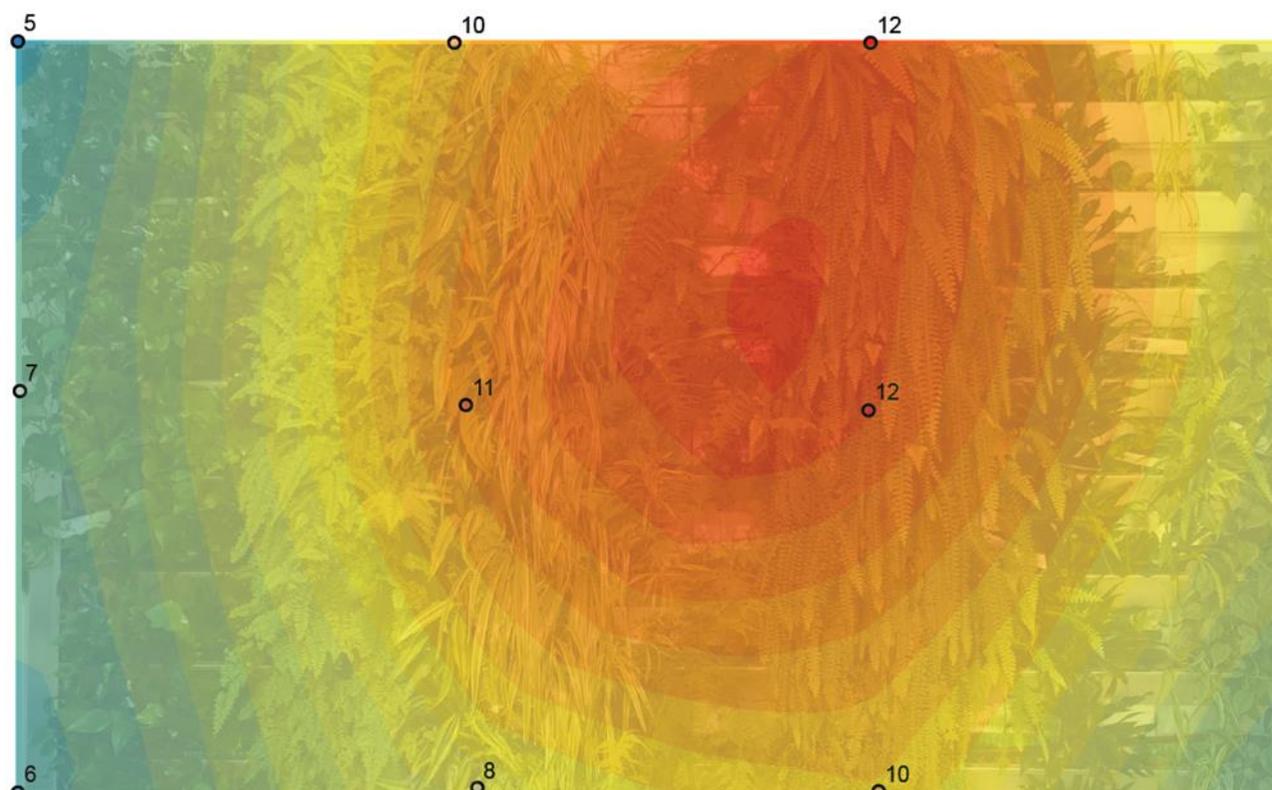


Abbildung 86. Lichtverteilung LED-Scheinwerfer am Trogsystem im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage). 11-2019.

## EMPFEHLUNGEN HINSICHTLICH PFLANZENAUSWAHL

Im Folgenden werden jene Arten erwähnt die sich nach einer erfolgreichen Anwuchsphase als sehr gut bis gut erwiesen haben. Dazu wird hauptsächlich der Deckungsgrad herangezogen und mit dem Gesamteindruck der einzelnen Pflanzen verglichen.

***Nephrolepis exalata*** Arten: Sie weisen einen sehr hohen Deckungsgrad auf und verdecken die Konstruktion fast zur Gänze. Die Vitalität der Pflanzen ist im Mittel bei 8,6 von 9,0 Punkten und somit als sehr gut geeignet anzusehen.

***Philodendron scandens***: Der Deckungsgrad ist über den gesamten Beobachtungszeitraum sehr gut einzustufen, dies spiegelt sich auch in der Bewertung von 8,8 Punkten im Mittel wider.

***Epipremnum aureum***: Bei dieser Pflanze lässt der Deckungsgrad im Laufe der Zeit etwas nach, jedoch ist die Bewertung mit 9,0 im Mittel sehr gut. Die unvollständige Deckung dieser Art ist sicher auf den sparrigen Wuchs zurückzuführen. Mit entsprechend vielen Individuen können aber sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

***Zamioculcas zamiifolia***: Diese Art verhält sich ähnlich wie die vorhin genannte Efeutute. durch ihren sparrigen Wuchs erreicht sie keine vollständige Abdeckung der Wand. Bei der Bewertung wurde über den gesamten Beobachtungszeitraum die volle Punktezahl in Bezug auf den Gesamteindruck vergeben.

***Asparagus plumosus***: Diese Art konnte in diesem System den größten Zuwachs aufweisen. Die Pflanze ist auf Grund ihrer feinen Blätter sehr durchlässig, daraus ergibt sich in der Betrachtung der Eindruck nicht ausreichend abzudecken. Bei geringer Deckung besitzt diese Pflanze einen guten Gesamteindruck und ist somit ebenfalls gut geeignet.

## VLISSYSTEM



Abbildung 87: Vliessystem inklusive Bepflanzung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).05-2019.

### DECKUNGSGRAD

Tabelle 26 zeigt, dass die Begrünungsfläche des Vliessystems in der Diefenbachgasse im April 2019 einen Deckungsgrad von 64,5 % aufweist. Im weiteren Verlauf nimmt der Deckungsgrad ab und erreicht im Mai den Tiefststand von 60,5 %. Am Ende der Aufnahmeperiode geht der Deckungsgrad wieder leicht nach oben und ergibt somit ein Plus von 1,1 % gegenüber dem Anfangswert. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gibt einen optischen Eindruck der Variabilität des Deckungsgrads wieder.

Tabelle 26: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads im Vliessystem.

Deckungsgradentwicklung Vliessystem - Diefenbachgasse					
Aufnahme	04/2019	05/2019	06/2019	07/2019	08/2019
Deckungsgrad [%]	64,5	60,6	61,8	61,7	65,6

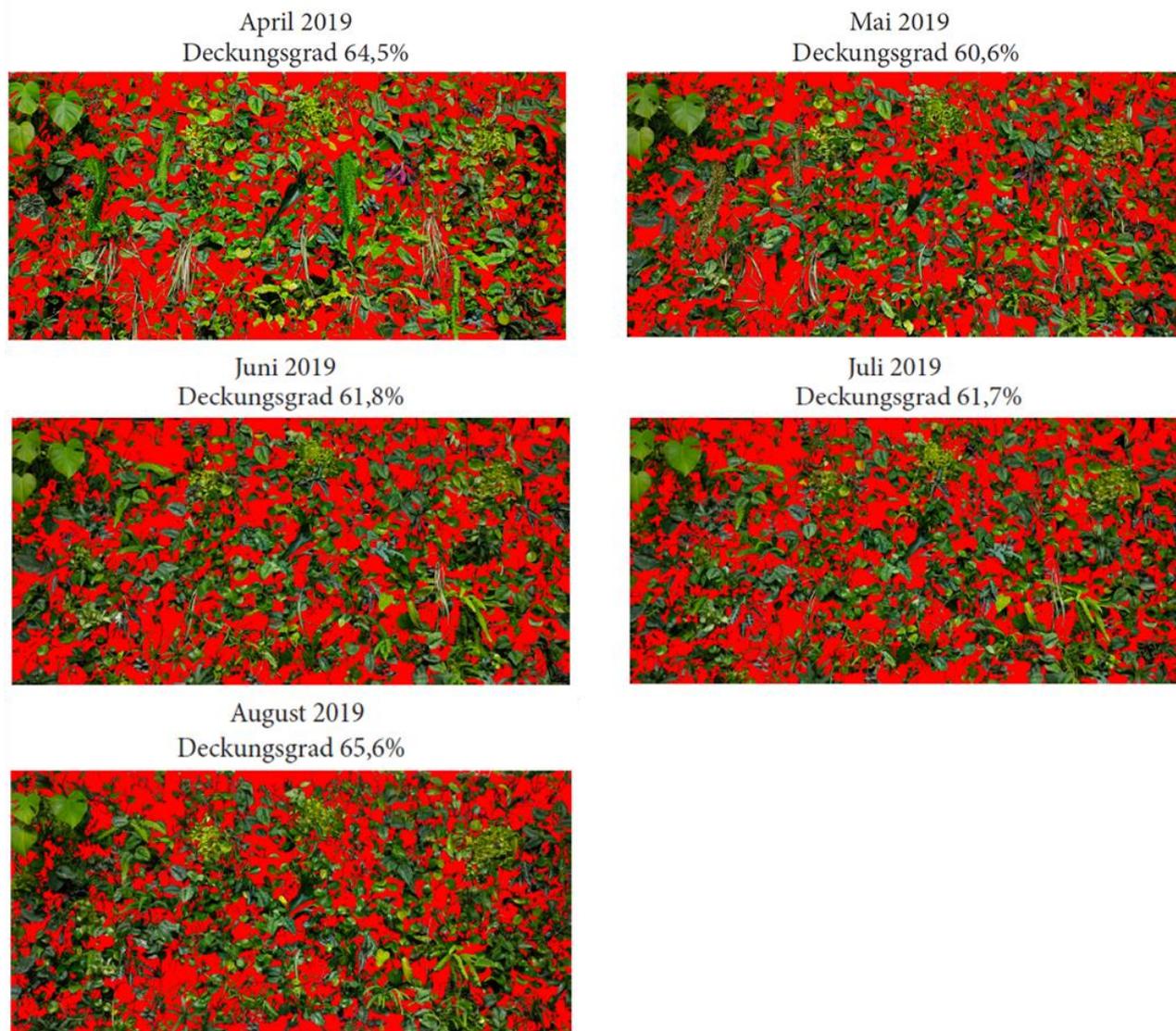


Abbildung 88 Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Vliessystems im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).

### GESAMTEINDRUCK – VITALITÄT

Wie in Abbildung 89 zu sehen, nimmt der Gesamteindruck im Beobachtungszeitraum stetig ab. Nachdem es im Jänner 2019 zu einem Absterben zahlreicher Pflanzen kam, wurden diese nachgepflanzt und es kam zu einer kurzfristigen Steigerung der Vitalität, welche aber im weiteren Verlauf wieder weiter abnahm. Mögliche Gründe hierfür sind teils massiver Schädlingsbefall sowie Nährstoffmangel.

## Gesamteindruck aller Zeigerpflanzen im Vliestaschensystem

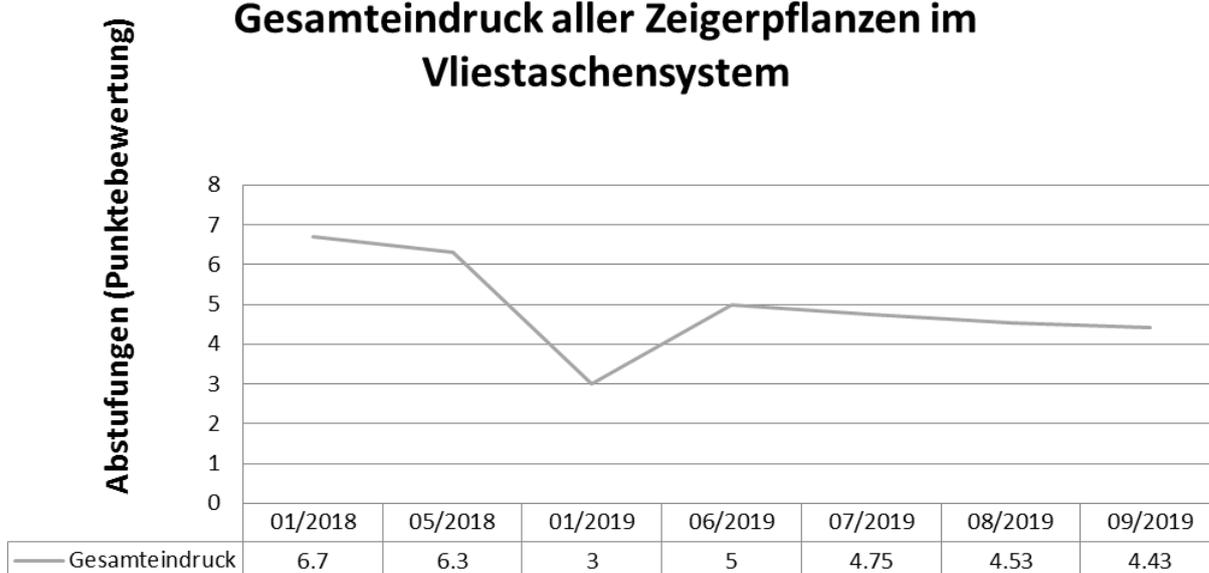


Abbildung 89: Verlauf der Vitalität des Trogsystems im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage), 2018-2019.

### ZUWACHS

Aufgrund des allgemein schlechten Zustandes und der damit einhergehenden Nachpflanzungen, wurde erst im Juni 2019 mit den Zuwachsmessungen begonnen.

Bei ausschließlicher Betrachtung des Zuwachses (siehe Tabelle 27), kann bis auf drei Arten eine positive Entwicklung verzeichnet werden. Lediglich die Arten *Asplenium antiquum*, *Peperomia angulata* und *Platyserium bifurcatum* haben an Größe von Juni bis August abgenommen. Alle anderen Arten konnten in der Größe dazugewinnen. Besonders hervorzuheben, mit einem Zuwachs von über 50 %, sind *Asplenium antiquum* 'Osaka', *Philodendron scandens* und *Tradescantia pallida*. Der Gesamteindruck der Pflanzen spiegelt ein anderes Bild wider.

Tabelle 27: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten im Vliessystem.

botanische Bezeichnung	deutsche Bezeichnung	Größe [cm] 06/2019	Größe [cm] 08/2019	Zuwachs
<i>Alocasia sanderiana</i>	Pfeilblatt	n.v.	25,0	Neupflanzung
<i>Asplenium antiquum</i>	Gewellter Nestfarn	25,3	15,0	-41 %
<i>Asplenium antiquum</i> 'Osaka'	Schmalblättriger Nestfarn	16,0	24,0	50 %
<i>Asplenium nidus</i>	Vogelnebstfarn	17,0	22,0	29 %
<i>Chlorophytum vomosum</i> 'Ocean'	Grünlilie	12,5	16,0	28 %
<i>Dracaena deremensis</i> 'Warneckii'	Drachenbaum	12,0	13,0	8 %
<i>Dracaena deremensis</i> 'Yellow Strip'	Drachenbaum	14,0	18,0	29 %
<i>Monstera deliciosa</i> 'Borsigiana'	Kleines Fensterblatt	46,0	48,0	4 %
<i>Nephrolepis exalata</i> 'Boston'	Schwertfarn	25,0	31,0	24 %
<i>Peperomia angulata</i>	Zierpfeffer	18,0	15,0	-17 %
<i>Peperomia clusiifolia</i>	Zwergpfeffer	13,3	16,0	20 %
<i>Philodendron brasil</i>	Baumfreund	10,0	12,0	20 %
<i>Philodendron scandens</i>	Kletterphilodendron	11,0	18,0	64 %
<i>Platyserium bifurcatum</i>	Gewehfarn	31,0	30,0	-3 %
<i>Pteris cretica</i>	Saumfarn	22,7	24,0	6 %

<i>Epipremnum aureum</i>	Efeutute	18,5	24,0	30 %
<i>Epipremnum pinnatum</i>	Gefleckte Efeutute	18,3	24,0	31 %
<i>Tradescantia pallida</i>	Mexikanische Dreimasterblume	9,0	14,0	56 %
<i>Tradescantia Spathacea 'Sitara'</i>	Aufrechte Dreimasterblume	27,7	35,0	27 %
<i>Tradescantia zebina</i>	Zebra-Ampelkraut	10,0	10,0	0 %

### LICHTMESSUNG

Die Begrünungsfläche wird mit einer LED-Leiste beleuchtet. Die Messungen haben ergeben, dass der mittlere Bereich mit 46-50  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  am intensivsten beleuchtet wird. Im Gegensatz zu dem LED-Scheinwerfer, der bei dem Trogsystem verbaut ist, weisen auch die unteren Bereiche eine bessere Lichtintensität auf. An den Rändern lässt auch bei diesem Beleuchtungskörper die Intensität mit 27-35  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  nach. Im Vergleich wurden höhere Werte als bei dem LED-Scheinwerfer gemessen. Die LED-Leiste ist in ihrer Abmessung genau so breit wie die Begrünungsfläche. Um die Intensität an den Rändern zu erhöhen, müsste die Leiste über die Breite der begrünten Fläche hinausgehen.

Auch hier konnte kein Zusammenhang zwischen Beleuchtung und Wüchsigkeit der Pflanzen festgestellt werden. In diesem Fall muss aber wiederholt der schlechte Allgemeinzustand der Pflanzen erwähnt werden.

Wie bereits beschrieben, ist auch hier eine Zeitschaltuhr, die die Beleuchtung nach einer manuellen Abschaltung während des Unterrichts wieder automatisch einschaltet, empfehlenswert.

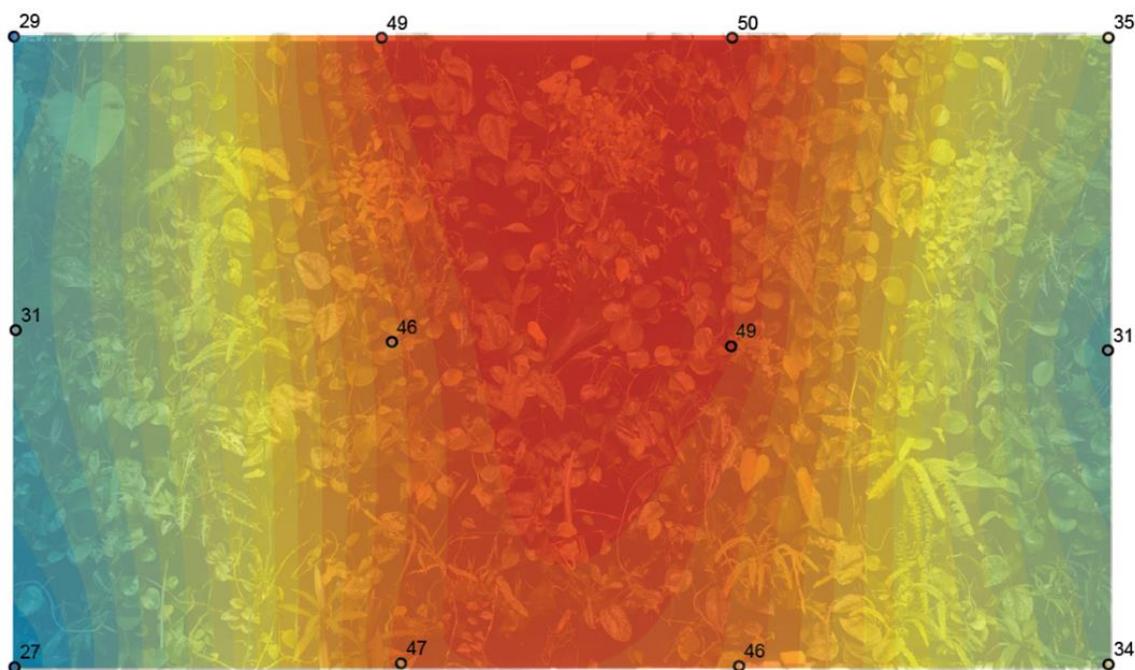


Abbildung 90: Lichtverteilung LED-Leiste am Vliessystem im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage), 11-2019.

### EMPFEHLUNGEN HINSICHTLICH PFLANZENAUSWAHL

Ein Vergleich zwischen Zuwachs und Gesamteindruck zeigt, dass die Pflanzen keinesfalls immer nur an ihren Zuwächsen bewertet werden können. Beispielhaft wurden hier folgende drei Pflanzenarten ausgewiesen:

*Asplenium antiquum 'Osaka'*: Zuwachs: 50% --> Vitalität: 4,6 Punkte

*Philodendron scandens*: Zuwachs: 64% --> Vitalität: 2,8 Punkte

*Tradescantia pallida*: Zuwachs: 65% --> Vitalität: 2,8 Punkte

Die ausgewiesenen Zuwächse kommen durch sehr lange sparrige Triebe zustande. Der Allgemeinzustand der Pflanzen ist, wie an den Vitalitätswerten abzulesen, schlecht. Generell war dieses System über den gesamten Beobachtungszeitraum in einem schlechten Vitalitätszustand. Während des Beobachtungszeitraums kam es zum Ausfall der automatisierten Düngung. Die Tragweite dieses Umstands kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

Keine der verwendeten Pflanzenarten konnte in diesem System eine Entwicklung aufzeigen, die diese Pflanze für eine Verwendung im Vliessystem empfehlen würde.

## KASSETTENSYSTEM



Abbildung 91: Living Wall inklusive Bepflanzung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).08-2019.

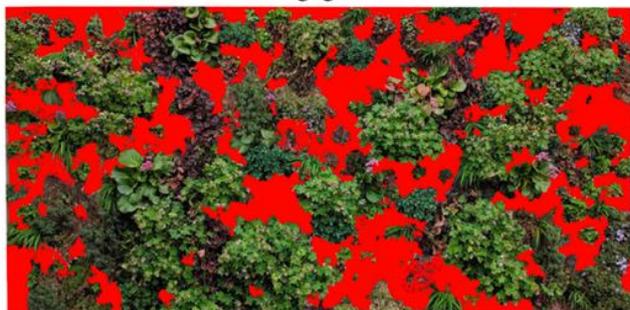
## DECKUNGSGRAD

Wie in Tabelle 28 zu sehen, kam es von einem Deckungsgrad von 69,5 % zu einem Anstieg auf über 80 %. Einen optischen Eindruck vermittelt Abbildung 92.

Tabelle 28: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads der Living Wall im Außenraum in der Diefenbachgasse.

Deckungsgradentwicklung Living Wall Außenraum - Diefenbachgasse					
Aufnahme	04/2019	05/2019	06/2019	07/2019	08/2019
Deckungsgrad [%]	69,5	--	88,7	--	81,3

April 2019  
Deckungsgrad 69,5%



Juni 2019  
Deckungsgrad 88,7%



August 2019  
Deckungsgrad 81,3%



Abbildung 92: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] des Kassettensystems im Außenraum im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).

### GESAMTEINDRUCK – VITALITÄT

Der Gesamteindruck der begrünter Wand im Außenraum auf der Dachterrasse des BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) hat sich von einem Anfangswert von 6,4 Punkten zu einem Endwert von 7,0 entwickelt. Wie auf der Abbildung zu erkennen ist war der Gesamteindruck im Aufnahmemonat Mai am besten. Danach konnte eine Abnahme des Gesamteindrucks verzeichnet werden. Inwiefern die sehr heißen Temperaturen, kurzfristige Ausfälle der Bewässerung und ein Befall mit Blattläusen zu dieser Entwicklung beigetragen haben, kann an dieser Stelle nicht schlussendlich beantwortet werden. *Bergenia cordifolia*, *Geranium macrorrhizum* und *Sedum pachyclados* sind die drei Arten die lt. Vitalitätsbewertung (mittlere Werte über 8,0) am besten abgeschnitten haben. *Sedum pachyclados* hat sich in seiner Größe zwar verkleinert, ist jedoch vom Erscheinungsbild und dem Allgemeinzustand mit sehr gut zu bewerten.

Eine schlechte Gesamt vitalität zeigen die Kräuter *Rosmarinus officinalis*, *Origanum vulgare*, *Thymus vulgaris* und *Origanum majorana*. Alle der genannten Arten haben während des Beobachtungszeitraums stetig an Vitalität verloren, begleitet von einigen Ausfällen.

## Gesamteindruck aller Zeigerpflanzen der Living Wall im Außenraum



Abbildung 93: Verlauf der Vitalität der Living Wall im Außenraum im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).2018-2019.

### ZUWACHS

Den höchsten Zuwachs verzeichnen *Aster dumosus* 'Kassel' mit 179 % und *Origanum vulgare* mit 160 %. Abgesehen davon konnten *Sedum telephium* mit 25 % und *Geranium sanguineum* mit 20 % gute Zuwächse verzeichnen.

Auffällig war hier, dass die gepflanzten Küchenkräuter (Oregano, Majoran und Thymian) nicht gut geeignet sind für dieses System. Sie sind langsamer im Wuchs als die benachbarten Pflanzen und hatten somit mit Verdrängung zu kämpfen.

Drei Arten, die im Zuwachs eher schlecht abgeschnitten haben, jedoch gute Bewertungen in der Vitalität haben sind *Bergenia cordifolia*, *Heuchera sanguinea* und *Geranium macrorrhizum*. Diese Abnahme der Größe ist auf Pflegeeingriffe während der Aufnahmeperiode zurückzuführen. *Sedum pachyclados*, *Campanula portenschlagiana* und *Fragaria vesca* var. *Vesca* haben ohne fremdes Zutun an Größe verloren und sind in dieser Auswertung am schlechtesten geeignet.

Tabelle 29: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten des Kassettensystems im Außenraum.

botanische Bezeichnung	deutsche Bezeichnung	Größe [cm] 5/2019	Größe [cm] 8/2019	Zuwachs
<i>Aster dumosus</i> 'Kassel'	Kissen Aster	9,3	26,0	179 %
<i>Bergenia cordifolia</i>	Bergenie	27,3	19,7	-28 %
<i>Campanula portenschlagiana</i>	Dalmatiner Glockenblume	12,0	10,0	-17 %
<i>Fragaria vesca</i> var. <i>Vesca</i>	Wald Erdbeere	16,7	14,3	-14 %
<i>Geranium sanguineum</i>	Blutroter Storchschnabel	21,7	26,0	20 %
<i>Geranium macrorrhizum</i>	Balkan Storchschnabel	40,0	33,3	-17 %
<i>Helianthemum x cultorum</i> 'Bronzeteppich'	Sonnenröschen	27,0	27,0	0 %
<i>Helianthemum x cultorum</i> 'Golden Queen'	Sonnenröschen	27,0	26,0	-4 %
<i>Hemerocallis Hybride</i> 'Stella de Oro'	Taglilie	36,3	35,0	-4 %
<i>Heuchera micrantha</i> 'Palace Purple'	Purpurglöckchen	31,7	34,3	8 %
<i>Heuchera sanguinea</i> 'Leuchtkäfer'	Grünes Purpurglöckchen	17,0	12,7	-25 %

<i>Phlox subulata</i>	Polster Phlox	20,7	21,7	5 %
<i>Phlox subulata</i> `White Delight`	Polster Phlox	28,3	29,7	5 %
<i>Potentilla neumanniana</i>	Frühlings Fünffingerkraut	12,0	9,7	-19 %
<i>Sedum floriferum</i> `Wheinstephaner Gold`	Gold Fetthenne	14,0	14,5	4 %
<i>Sedum pachyclados</i>	Dickrosettiges Fingerblatt	11,7	9,7	-17 %
<i>Sedum telephium</i> `Herbstfreude`	Herbst Fetthenne	39,3	49,3	25 %
<i>Carex sp.</i>	Segge	12,7	16,3	29 %
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Rosmarin	13,5	17,5	30 %
<i>Geum urbanum</i>	Echte Nelkenwurz	18,0	19,0	6 %
<i>Origanum vulgare</i>	Oregano	10,0	26,0	160 %
<i>Thymus vulgaris</i>	Thymian	14,0	17,0	21 %
<i>Origanum majorana</i>	Majoran	20,5	22,5	10 %
<i>Mentha sp.</i>	Minze	25,0	37,0	48 %
<i>Melissa officinalis</i>	Melisse	18,0	19,0	6 %
<i>Lythrum salicaria</i>	Blutweiderich		20,0	Neupflanzung

#### EMPFEHLUNGEN HINSICHTLICH PFLANZENAUSWAHL

*Geranium macrorrhizum*: Die Pflanze weist einen Deckungsgrad von nahezu 100 % auf und hat sich im Laufe der Beobachtung sehr gut entwickelt.

*Helianthemum* Arten: Durch ihren dichten Wuchs schneiden diese Arten in dem Ranking sehr gut ab. Sie bedecken die Fläche gut und gepaart mit regelmäßigem Rückschnitt nach der Blüte entwickeln sie sich zu einem flächendeckenden Polster.

*Phlox* Arten: Durch den polsterartigen Wuchs weist diese Art einen Deckungsgrad von nahezu 100 % auf.

*Heuchera* Arten: Die Pflanzen haben innerhalb des Beobachtungszeitraums an Schädlingsbefall gelitten, jedoch deckt auch hier das Blattwerk die Konstruktion fast völlig ab. Der schnelle Wuchs und die großen Blätter sind hier von Vorteil.

#### 4.3.2 Auswertung der messbaren und visuellen vegetationstechnischen Parameter – BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

Im Rahmen der vegetationstechnischen Aufnahmen wurden die Parameter Deckungsgrad, Gesamteindruck – Vitalität, Zuwachs, sowie Strom- und Wasserverbrauch in der Projektschule BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) im Innen- und Außenraum erhoben.

## TROGSYSTEM



Abbildung 94: Trogsystem inklusive Bepflanzung am Schuhmeierplatz 05-2019.

### DECKUNGSGRAD

Tabelle 30 zeigt, dass das Trogsystem BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) im April 2019 einen Deckungsgrad von 66,5 % und im August am Ende der Beobachtung einen Deckungsgrad von 74,3 % aufweist. Es ist eine Steigerung von 7,8 % zu verzeichnen. Der höchste Deckungsgrad war im Juli 2019 festzustellen. Die Abnahme im August kann auf den Rückgang der Pflanzen *Chlorophytum comosum* und *Epipremnum aureum* im oberen Bereich der Grünwand zurückgeführt werden. Die durchgeführten Pflegemaßnahmen führten zu einer weiteren Beeinflussung des Deckungsgrads. Über den gesamten Beobachtungszeitraum kann allerdings insgesamt ein positiver Trend erkannt werden, wie Abbildung 95 zu entnehmen ist.

Tabelle 30: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads des Trogsystems am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

Deckungsgradentwicklung Trogsystem - Schuhmeierplatz					
Aufnahme	04/2019	05/2019	06/2019	07/2019	08/2019
Deckungsgrad [%]	66,5	73,0	73,5	76,1	74,3

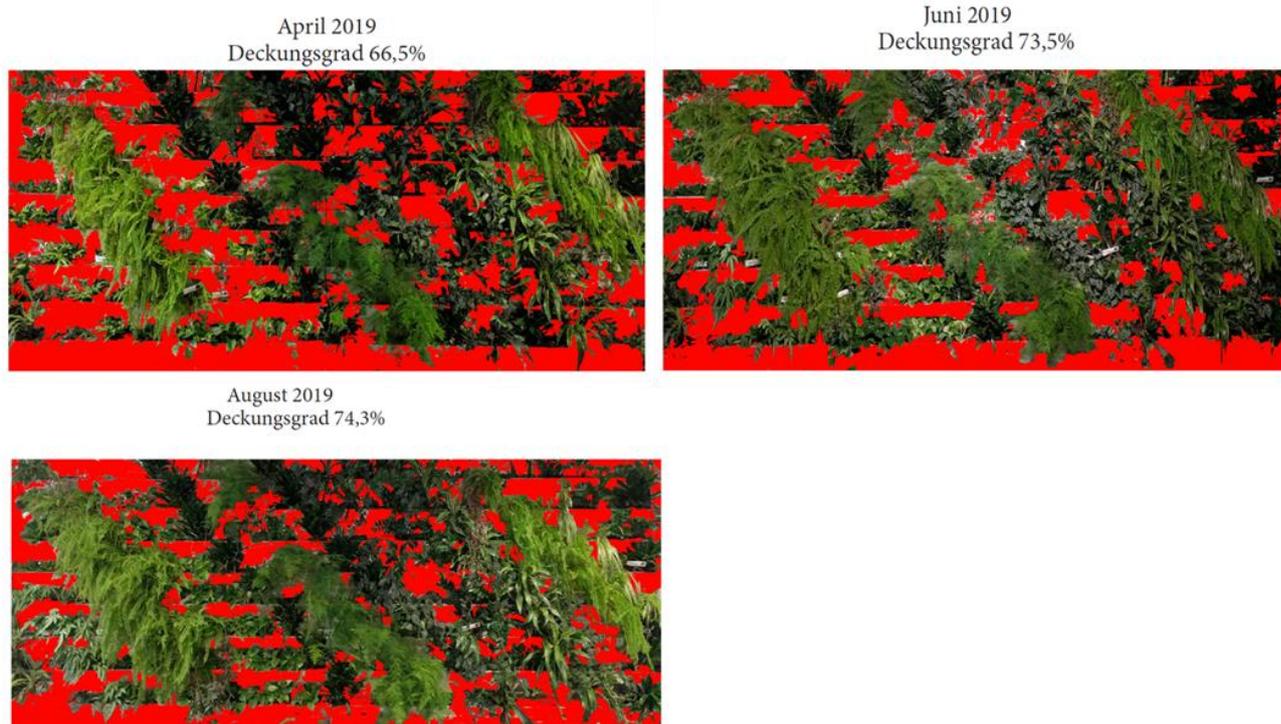


Abbildung 95: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Trogsystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).

#### GESAMTEINDRUCK – VITALITÄT

Der Gesamteindruck des Begrünungssystems hat sich im Laufe des Beobachtungszeitraums leicht verbessert. Nach Ausfall der Bewässerung, konnte im Jänner lediglich eine Vitalität von 5,9 erreicht werden. Den höchsten Wert konnte die Bonitur im Mai 2019 mit 8,3 Punkten erreichen, nachdem die durch die Trockenperiode im Winter ausgefallenen Pflanzen ersetzt wurden. Am Ende des Beobachtungszeitraums ist eine etwas höhere Vitalität als zu Beginn der Aufnahmen vorhanden, das System konnte sich somit insgesamt erfolgreich etablieren.

Die Arten *Platyserium bifurcatum* und *Pteris cretica* wurden während der Boniturperiode 2019 durchgehend mit 9,0 Punkten bewertet. Beide Pflanzenarten haben sich überdurchschnittlich entwickelt. Einen ebenfalls guten Gesamteindruck weisen die *Epipremnum* Arten, *Zamioculcas zamiifolia*, *Nephrolepis exalata* und *Asparagus plumosus* auf.

## Gesamteindruck aller Zeigerpflanzen des Aluminiumtrogsystems

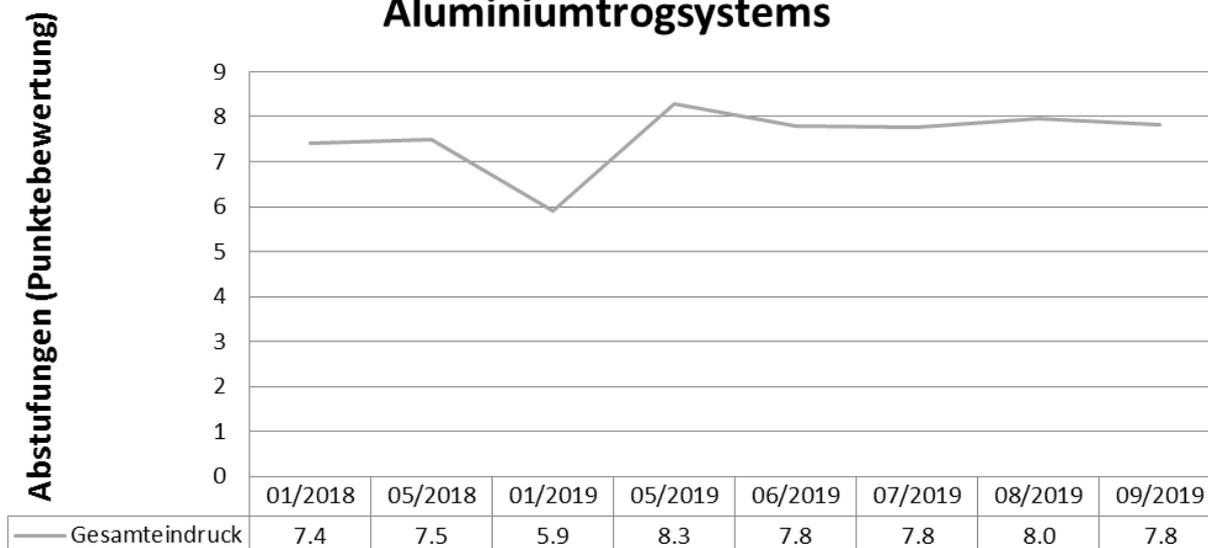


Abbildung 96: Verlauf der Vitalität des Trogsystems am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) 2018-2019.

### ZUWACHS

Wie in Tabelle 31 zu sehen, sind die *Bergonia* Ray-Hybriden während des Beobachtungszeitraums komplett ausgefallen. Der im Mai neu gepflanzte Saumfarn konnte stetiges Wachstum erfahren und hat sich mit 28 % Zuwachs sehr gut entwickelt. An den Exemplaren der Art *Epipremnum aureum* konnte ebenfalls ein hoher Zuwachs von durchschnittlich 31 % festgestellt werden. Während bei *Epipremnum pinnatum* ein leichter Rückgang von 9 % zu verzeichnen war. Der Rückgang von *Asparagus plumosus* ist auf eine unzureichende Bewässerung im mittleren Bereich der Grünwand zurückzuführen. Auch durch zusätzliche händische Bewässerung, konnte die Rückbildung einzelner Exemplare in diesem Bereich nicht mehr verhindert werden.

Tabelle 31: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten im Trogsystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

botanische Bezeichnung	deutsche Bezeichnung	Große [cm] 05/2019	Große [cm] 09/2019	Zuwachs
<i>Epipremnum aureum</i>	Efeutute	24	31	31 %
<i>Zamioculcas zamiifolia</i>	Glücksfeder	62	51	-17 %
<i>Nephrolepis exaltata</i> 'Vitale'	Schwertfarn	56	48	-14 %
<i>Dracaena fragrans</i> 'Lemon Lime'	Drachenbaum	43	44	2 %
<i>Chlorophytum comosum</i> 'Ocean'	Grünlilie	36	34	-5 %
<i>Asparagus plumosus</i>	Federspargel	75	58	-23 %
<i>Dracaena fragrans</i> 'Green Jewel'	Drachenbaum	34	39	15 %
<i>Philodendron scandens</i>	Baumfreund	32	23	-27 %
<i>Epipremnum pinnatum</i>	Gefleckte Efeutute	38	35	-9 %
<i>Begonia Rey-Hybriden</i>	Blatt Begonie	30	0	-100 %
<i>Tradescantia pallida</i>	Mexikanische Dreimasterblume	43	40	-8 %
<i>Sansevieria trifasciata</i> 'Hahnii'	Bogenhanf	22	23	3 %
<i>Montera deliciosa</i>	Fensterblatt	33	34	3 %
<i>Platyterium bifurcatum</i>	Geweihefarn	42	41	-2 %
<i>Pteris cretica</i>	Saumfarn	30	38	28 %

## LICHTMESSUNG

Wie Abbildung 97 zeigt, ist die PPFd in der Mitte des Begrünungssystems mit  $20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  am höchsten und nimmt seitlich relativ stark ab, hier wurden nur noch Werte um  $5-6 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  gemessen. Ein Zusammenhang zwischen der Beleuchtung und dem Pflanzenwachstum ist hier nicht erkennbar. Auch an den seitlichen Teilen des Systems, finden sich Pflanzen, die sich trotz geringerer Strahlung in Bezug auf die Vitalität sehr gut entwickelt haben. Als Beispiele sind *Pteris cretica* - Saumfarn, *Nephrolepis exalata* - Schwertfarn und *Zamioculcas zamiifolia* - Glücksfeder zu nennen.

Die *Dracaena fragrans* Sorten waren beinahe während der gesamten Beobachtungsperiode mit Thripsen befallen - In Bereichen mit hohen Strahlungswerten, sowie in Bereichen mit weniger Intensität. Womit auch im Hinblick auf die Widerstandsfähigkeit der Pflanze gegen Schädlinge kein Zusammenhang zur Lichtverfügbarkeit fest gemacht werden konnte.

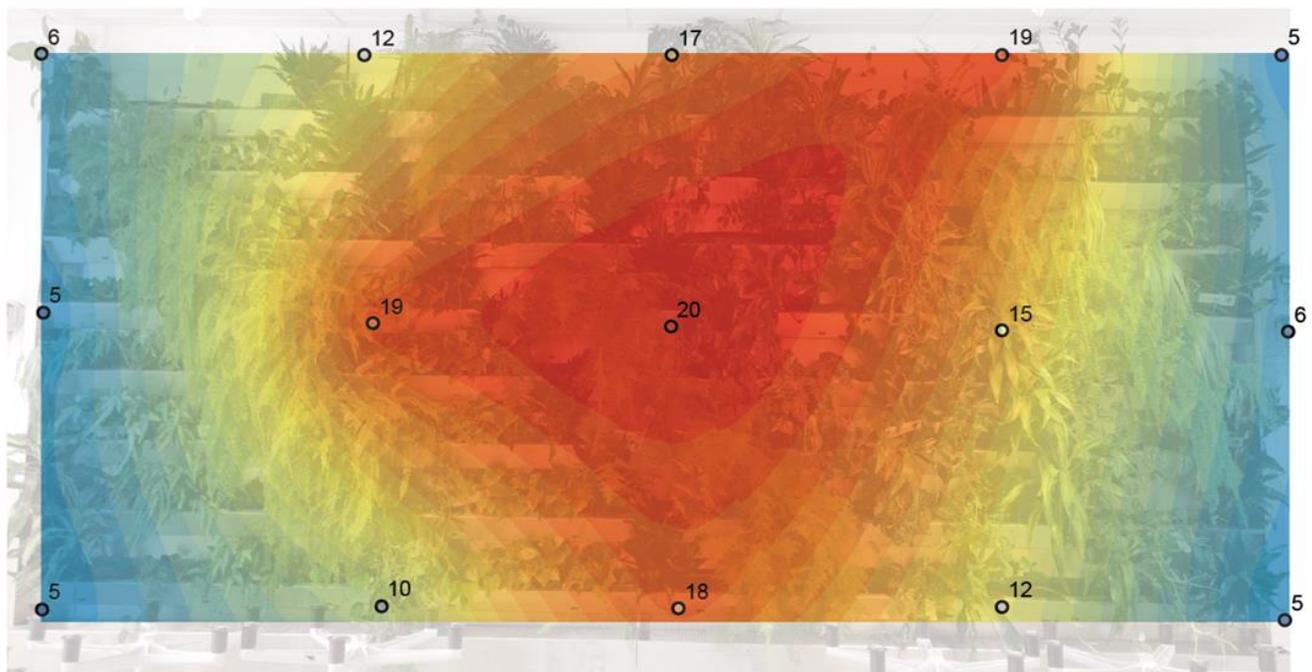


Abbildung 97: Lichtverteilung LED-Scheinwerfer am Trogsystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) 11-2019.

## EMPFEHLUNGEN HINSICHTLICH PFLANZENAUSWAHL

*Nephrolepis exalata* Sorten: Wie bereits bei der Grünwand in der Diefenbachgasse ist diese Art mit nahezu vollständiger Deckung und guter Vitalitätsbewertung bestens geeignet für eine Begrünung im Innenraum mittels Trogsystem.

*Pteris cretica*: Auch wenn der Deckungsgrad dieser Pflanze relativ gering ist, konnte sie sich insgesamt gut entwickeln und eignet sich dadurch gut für dieses System.

*Asparagus plumosus*: Diese Art ist sehr dicht gewachsen und hat durchwegs gute Vitalitätsbewertungen erhalten. Teilweise musste die Pflanzenart in diesem System sogar etwas eingedämmt werden, damit sie sich nicht zu weit ausbreitet und ihre Nachbarpflanzen verdrängt.

*Epipremnum* Arten: Beide *Epipremnum* Arten konnten sich gut etablieren und konnten sich als widerstandsfähig erweisen.

## VLISSYSTEM



Abbildung 98: Vliessystem inklusive Bepflanzung am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) 05-2019.

### DECKUNGSGRAD

Tabelle 32 zeigt, dass das Vliessystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) im April 2019 einen Deckungsgrad von 62,6 % aufweist. Am Ende der Aufnahmeperiode konnte nur noch ein Deckungsgrad von 57,9 % festgestellt werden. Es kam somit während der Beobachtungsperiode zu einer deutlichen Abnahme des Deckungsgrads beim Vliessystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).

Tabelle 32: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads des Vliessystems am Schuhmeierplatz.

Deckungsgradentwicklung Vliessystem - Schuhmeierplatz						
Aufnahme	04/2019	05/2019	06/2019	07/2019	08/2019	09/2019
Deckungsgrad [%]	62,6	--	--	69,7	--	57,9



Abbildung 99: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Trogsystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

#### GESAMTEINDRUCK – VITALITÄT

Wie auch beim Vliessystem am BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) ist hier der Gesamteindruck des Systems bis auf einen Rückgang im Jänner 2019, bei etwa 6 Punkten. Nach einem massiven Schädlingsbefall und Nährstoffmangel sank die Vitalität des Systems im Jänner 2019 auf 3,9 ab. Durch Neupflanzungen und Düngung, konnte sich die Vitalität danach wieder verbessern. Die höchsten Bewertungen mit 7,5 Punkten erhalten in diesem System die *Epipremnum* Arten und der im August 2019 neu gepflanzte *Asplenium nidus*. *Philodendron scandens* war im August 2019 nicht mehr vorhanden. Der Großteil der Arten hat sich in einem mäßigen Vitalitätszustand zwischen 5 und 6 Punkten über den Aufnahmezeitraum eingependelt. Vogelnestfarn, Zierpfeffer und Kristall-Schweifblume sind die einzigen drei Arten, die sich in ihrer Bewertung leicht verbessern konnten.

## Gesamteindruck aller Zeigerpflanzen des Vliestaschensystems

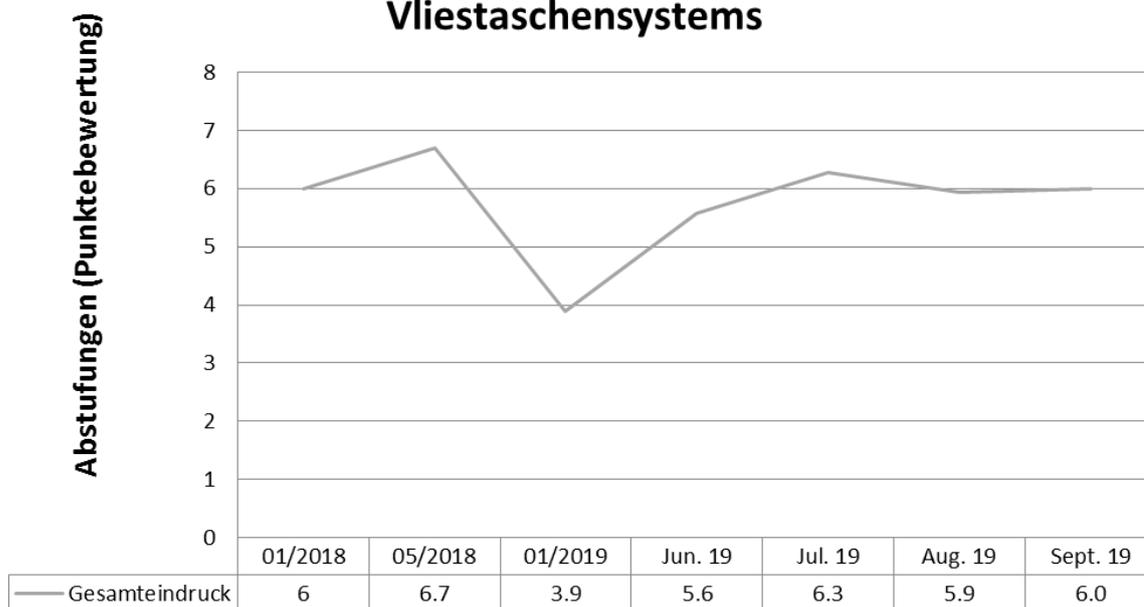


Abbildung 100: Verlauf der Vitalität des Vliessystems am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) 2018-2019.

### ZUWACHS

Bei einem Großteil der Arten ist, wie in Tabelle 33 zu sehen, ein Rückgang der Größe zu verzeichnen. Mögliche Gründe hierfür sind teils massiver Schädlingsbefall, sowie der bereits angesprochene Nährstoffmangel. Lediglich *Dracaena deremensis* 'Warneckii' kann einen deutlichen Zuwachs von 74 % aufweisen.

Tabelle 33: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten im Vliessystem am Schuhmeierplatz.

botanische Bezeichnung	deutsche Bezeichnung	Größe [cm] 06/2019	Größe [cm] 09/2019	Zuwachs
<i>Anthurium crystallinum</i>	Kristall-Schweifblume	41,3	37,7	-9 %
<i>Asplenium antiquum</i>	Gewellter Nestfarn	22,0	25,3	15 %
<i>Asplenium antiquum</i> 'Osaka'	Schmalblättriger Nestfarn	27,0	23,0	-15 %
<i>Asplenium nidus</i>	Vogelnestfarn	n.v.	25,0	Neupflanzung
<i>Calathea rufibara</i>	Korbmarante	25,7	28,3	10 %
<i>Dracaena deremensis</i> 'Warneckii'	Drachenbaum	23,0	40,0	74 %
<i>Dracaena deremensis</i> 'Yellow Strip'	Drachenbaum	29,0	21,0	-28 %
<i>Monstera deliciosa</i> 'Borsigiana'	Kleines Fensterblatt	59,5	57,0	-4 %
<i>Peperomia angulata</i>	Zierpfeffer	14,3	11,0	-23 %
<i>Peperomia clusiifolia</i>	Zwergpfeffer	13,3	9,0	-33 %
<i>Philodendron brasil</i>	Baumfreund	10,0	0,0	-100 %
<i>Philodendron scandens</i>	Kletterphilodendron	18,3	8,0	-56 %
<i>Epipremnum aureum</i>	Efeutute	25,0	16,7	-33 %
<i>Epipremnum pinnatum</i>	Gefleckte Efeutute	14,3	14,0	-2 %
<i>Spathiphyllum wallisii</i>	Blattfahne	29,0	32,0	10 %
<i>Tradescantia Spathacea</i> 'Sitara'	Aufrechte Dreimasterblume	26,5	28,0	6 %
<i>Tradescantia pallida</i>	Mexikanische Dreimasterblume	n.v.	27,0	Neupflanzung

## LICHTMESSUNG

Die Begrünungsfläche wird mit einer LED-Leiste beleuchtet. Die Messungen haben ergeben, dass der mittlere Bereich mit 34-36  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  am intensivsten beleuchtet wird. Im Gegensatz zu dem LED-Scheinwerfer, der bei dem Trogsystem verbaut ist, weisen auch die unteren Bereiche eine bessere Lichtintensität auf. An den Rändern lässt auch bei diesem Beleuchtungskörper die Intensität mit 16-29  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  nach. Im Vergleich wurden höhere Werte als bei dem LED-Scheinwerfer gemessen. Die LED-Leiste ist in ihrer Abmessung genau so breit wie die Begrünungsfläche. Um die Intensität an den Rändern zu erhöhen, müsste die Leiste über die Breite der begrüneten Fläche hinausgehen.

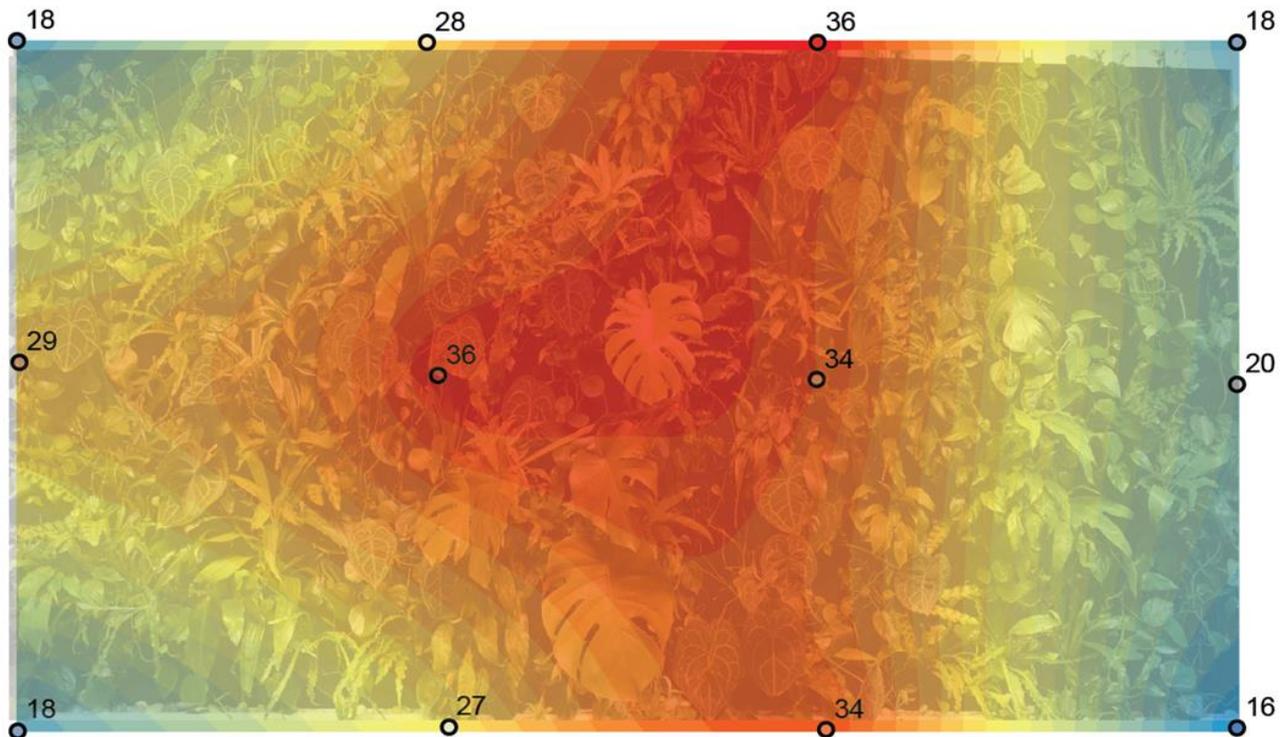


Abbildung 101: Lichtverteilung LED-Leiste am Vliessystem am Schuhmeierplatz 11-2019.

## EMPFEHLUNGEN HINSICHTLICH PFLANZENAUSWAHL

Keine der verwendeten Pflanzenarten konnte eine Entwicklung aufzeigen, die diese Pflanze für eine Verwendung im Vliessystem empfehlen würde.

Die bereits erwähnten *Epipremnum*-Arten und *Asplenium nidus* schneiden allerdings am besten ab und können hier mit Vorbehalt empfohlen werden. Der Grund für die schlechte Pflanzenentwicklung ist in diesem Fall nicht eindeutig. Eine Vermutung lag auf verschmutztem Gießwasser, da die Bewässerung nicht über eine Frischwasserzufuhr funktioniert, sondern die Wassertanks händisch befüllt werden. Dazu ist eine mikrobiologische Wasseruntersuchung am Institut für Siedlungswasserbau in Auftrag gegeben worden. Die Ergebnisse folgen in einem nachfolgenden Kapitel. Ein weiterer Grund für die mäßige Entwicklung des Systems sind ein zum Teil massiver Schädlingsbefall, sowie Nährstoffmangel.

## AUßENBEGRÜNUNG – TROGSYSTEM



Abbildung 102: Trogsystem im Außenraum inklusive Bepflanzung am Schuhmeierplatz 08-2019

### DECKUNGSGRAD

Wie in Tabelle 34 zu sehen, ist der Deckungsgrad des Trogsystems im Innenhof von 64,5 % zu einem Endwert von 83,7 % gestiegen. Insgesamt ist somit eine Steigerung erkennbar. Der höchste Deckungsgrad wurde im Juli erzielt.

Der Rückgang des Deckungsgrades im August ist auf Pflegemaßnahmen und einige Ausfälle zurückzuführen. Einen optischen Eindruck vermittelt Abbildung 103.

Tabelle 34: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads des Trogsystems im Außenraum am Schuhmeierplatz.

Deckungsgradentwicklung Trogsystem im Außenraum - Schuhmeierplatz					
Aufnahme	04/2019	05/2019	06/2019	07/2019	08/2019
Deckungsgrad [%]	64,5	81,1	81,4	89,4	83,7

April 2019  
Deckungsgrad 39,8%



Juli 2019  
Deckungsgrad 89,4%



Abbildung 103: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Trogsystem im Außenraum am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).

### GESAMTEINDRUCK – VITALITÄT

Durch Nährstoffmangel und unzureichende Wasserzufuhr in der Anwuchsphase wurde zu Beginn der Aufnahme im Juni 2018 nur eine Vitalität von 4,1 Punkten erreicht.

Zu Beginn der Aufnahmen im April wurden die Arten *Alchemilla millefolium*, *Salvia sp.* und *Geranium sanguineum* nachgepflanzt. Der Gesamteindruck stieg nach den Neupflanzungen auf 7,8 Punkte an und sank im weiteren Verlauf auf 6,9 Punkten zu Aufnahmeende ab. Obwohl sich viele Arten sehr gut in den Trögen etablieren konnten, sind andere gänzlich ausgefallen oder sehr kümmerlich gewachsen. Bereits im Juli ist *Corydalis lutea* zur Gänze abgestorben. *Dryopteris filix-mas*, *Alchemilla millefolium*, *Lamium maculatum* und *Salvia* haben ebenfalls Schwierigkeiten sich in dem System zu etablieren. Besonders gut funktionieren *Bergenia* Arten, *Heuchera* Arten *Geranium macrorrhizum*. Diese Arten haben durchwegs sehr gute bis gute Vitalitätsbewertungen.

## Gesamteindruck aller Zeigerpflanzen des Aluminiumtrogsystems im Außenraum

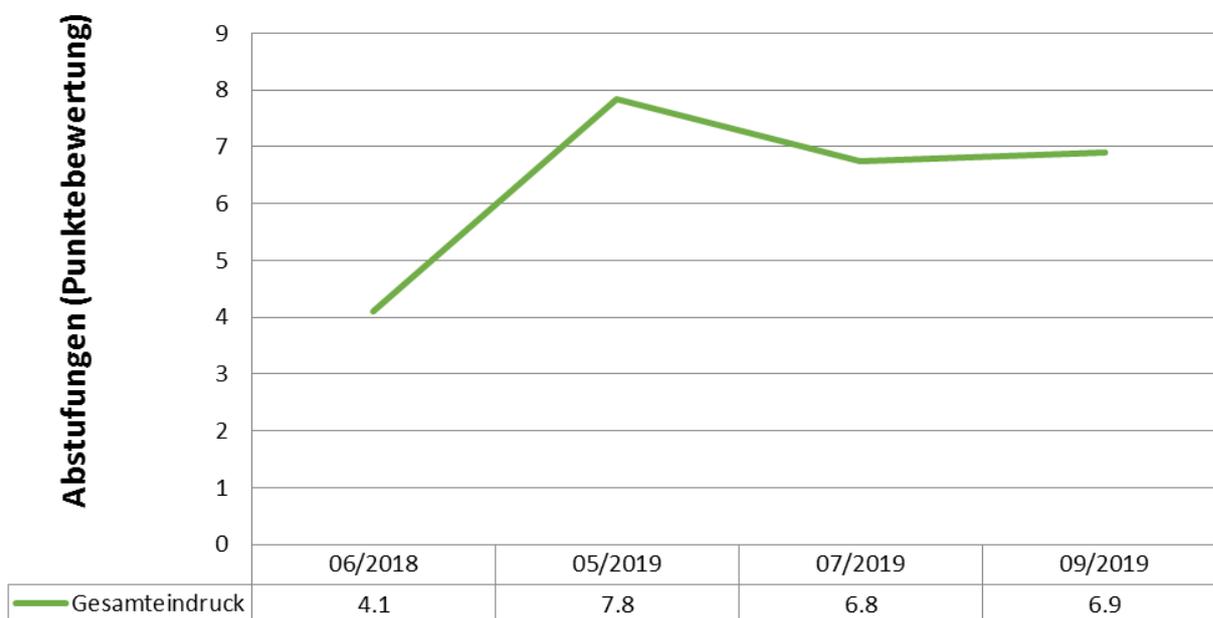


Abbildung 104: Verlauf der Vitalität des Trogsystems im Außenraum am Schuhmeierplatz 2018-2019.

### ZUWACHS

In Bezug auf den Zuwachs stehen für das Trogsystem im Außenraum keine Daten zur Verfügung, da nur zu Anfang eine entsprechend hohe Leiter zur Verfügung stand. Somit konnte in der restlichen Zeit keine Vergleichsmessung durchgeführt werden.

### EMPFEHLUNGEN HINSICHTLICH PFLANZENAUSWAHL

Die folgenden Arten decken annähernd 100 % der Fläche ab, besitzen eine hohe Vitalität und können somit als geeignet für ein Trogsystem im Außenraum gezählt werden: *Bergenia* Arten, *Heuchera* Arten, *Geranium macrorrhizum*.

### 4.3.3 Grünpflege

In periodischen Abständen wurden an den Grünwänden Grünpflegearbeiten durchgeführt. Diese Arbeiten waren je nach Art und Standort der Begrünung unterschiedlich intensiv, beinhalteten aber in jedem Fall, die Entfernung von abgestorbenen Pflanzenteilen bzw. Entfernung brauner Blätter, Düngung und je nach Bedarf Rückschnitt bzw. Neupflanzungen.

Bei den Begrünungen im Innenbereich sind abhängig vom technischen System und den visuellen Ansprüchen häufigere Kontroll- und Pflegegänge notwendig. Zusammengefasst gehören zu den Grünpflegearbeiten der Begrünungen im Innenbereich folgende Arbeitsschritte:

Entfernung abgestorbener Pflanzenteile

- Rückschnitt
- Düngung
- Neupflanzung
- ggfs. Blätter reinigen/abstauben

- ggfs. Vermehren der Pflanzen
- ggfs. Schädlingsbekämpfung bzw. Pflanzenschutz

Der Rückschnitt der Pflanzen im Innenraum erfolgte je nach Bedarf. Die Wände sollen grün und voll wirken, dazu müssen Pflanzen auch wachsen dürfen.

Zu den bereits beschriebenen Basispflegearbeiten, wie Entfernen abgestorbener Pflanzenteile und Düngung, waren bei den Innenraumbegrünungen auch Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen notwendig, da an einigen Wänden Thripse und Wollläuse auftraten. Diese wurden zunächst mit verdünntem Neemöl, sowie die Thripse auch mit dem biologischen Insektizid Pyrethrine behandelt. Aufgrund des Ausbleibens des gewünschten Erfolges des Neemöles gegen den Wollausbefall wurde mit Australischen Marienkäfern (*Cryptolaemus montrouzieri*), einem natürlichen Gegenspielern der Wollläuse, gearbeitet.

Es konnte festgestellt werden, dass je nach Grünsystem einzelne Pflanzen, die u.a. auch von Grünsystemherstellern für ihr System explizit vorgegeben wurden, nicht für die Vertikalbegrünungen geeignet waren. Vor allem im Innenbereich haben sich Pflanzenarten herauskristallisiert, welche mit den Wachstumsbedingungen nicht gut zurechtkommen.

Im Trogsystem betrifft dies vor allem *Chlorophytum comosus* (Grünlilie), sie ist in der Begrünung sehr anfällig für Schädlinge. Für das Vliessystem ist *Philodendron scandens* (Baumfreund) sehr schlecht geeignet, seine Blattmasse verringert sich rapide, bis schließlich alle Blätter abfallen.

Die Grünpflege der Begrünungen im Außenraum setzt sich zusammen aus einem Hauptpflegegang im Frühjahr sowie einem weiter Kontrollgang im Laufe der Vegetationsperiode der Bepflanzung. Die Tätigkeiten können wie folgt zusammengefasst werden:

- Rückschnitt / Entfernung von abgestorbenen Pflanzenteilen
- Düngung
- Neubepflanzung
- ggfs. Schädlingsbekämpfung

Ein großzügiger Rückschnitt im Frühjahr fördert den Neuaustrieb der Pflanzen, vereinzelte Fehlstellen durch abgestorbene Pflanzen wurden nachgepflanzt. Auftretende Schädlinge wurden ebenfalls mit verdünntem Neemöl behandelt bzw. bei starkem Befall wurden die betroffenen Pflanzenteile rückgeschnitten.

Für die Grünpflege der Pergola auf der Dachterrasse des BRG 16 Schuhmeierplatz gilt dasselbe wie für die Fassadenbegrünung – ein großzügiger Rückschnitt im Frühjahr, Düngung und bei Bedarf Bekämpfung von Schädlingen. Es ist allerdings zu erwähnen, dass in der Pergola *Tropaeolum majus* (Kapuzinerkresse) gepflanzt wurde, ein Befall von Blattläusen ist hier sehr wahrscheinlich, sie dient als Magnet für Blattläuse und hält diese von den anderen Pflanzen fern.

#### 4.3.4 Technische Wartung und Instandhaltung

Im Zuge des Projektes wurde drei unterschiedliche Vertikalbegrünungssysteme verbaut: Vliessystem, Trogsystem und Kassettsystem. Alle Begrünungssysteme sind mit einer automatischen Bewässerung ausgestattet. Je nach Standort und Typ der Begrünungen (Innenbereich- oder Außenbereich) kamen verschiedene Bewässerungsanlagen zum Einsatz. Es wurden automatische Bewässerungssysteme mit Zeitschaltuhr und automatischen Zu- und Ablauf als auch halbautomatische Systeme mit integriertem Wassertank ebenfalls mit Zeitschaltuhr verbaut. Die richtige Einstellung der Bewässerungseinheit ändert sich

im Jahresverlauf und ist für ein funktionierendes Begrünungssystem unumgänglich. Die Feinjustierung der Bewässerungseinstellung ist je nach Standort unterschiedlich und in regelmäßigen Abständen zu überprüfen.

Das Heiz- und Lüftungsverhalten in der schulfreien Zeit kann von dem im Schulalltag abweichen, wodurch auch Änderungen im Bewässerungsmanagement erforderlich sein können. Die Bewässerungseinstellungen für Grünwände in Innenbereichen müssen unter Umständen für diese Zeit adaptiert werden bzw. muss bei Tanklösungen händisch fallweise mehr Wasser nachgefüllt werden.

Für die Begrünung mittels Vliessystem gilt, dass diese nicht so resilient und weniger robust sind als Begrünungsvarianten auf Substrat-Basis. Technische Komplikationen wie etwa ein Ausfall der Bewässerung bzw. ein Stromausfall haben gravierende Folgen und können zu einem Totalausfall der Begrünung führen. Außerdem ist beim Vliessystem die Kontrolle der Pflanzen wichtig, ob diese fest in den Pflanztaschen sitzen. In der Regel werden die Pflanzen in den Pflanztaschen mit einem Handtacker jeweils seitlich befestigt, um die Pflanzen vor dem Herausfallen zu sichern und um den Kontakt zu der rückwärtigen wasserführenden Vliesschicht herzustellen.

Die Trogsysteme an beiden Schulen wurden dahingehend angepasst, dass deren Praxistauglichkeit verbessert wurde. So wurden z.B. Metallkanten mit Kunststoff eingefasst und die Zugänglichkeiten zu Pumpe und Bewässerungscomputer verbessert.

In den Wintermonaten werden bei Grünwänden in Außenbereichen in der Regel die Bewässerungsintervalle beibehalten, jedoch die Bewässerungsdauer reduziert. Um Frostschäden vorzubeugen kann mittels Temperatursensor eine Bewässerung unter 4°C unterbunden werden und die Wasserzuleitungen im Außenbereich zusätzlich mit einer Begleitheizung ausgestattet werden. Über eine derartige Wasserzuführung im Winterbetrieb verfügt die Grünwand im Innenhof des BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage). Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Bewässerungszeiten im Winter tagsüber um die Mittagszeit erfolgen, um hier möglichst Temperaturen über 4°C zu erzielen und damit auch an milden Wintertagen eine grundlegende Bewässerung der Grünwand zu erreichen.

Die Bewässerung des Kassettensystems auf der Terrasse des BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) wird im Herbst für einen frostfreien Winterbetrieb vorbereitet. Da die Wasserzuleitung im Außenbereich aus Gründen des Frostschutzes abgedreht wird, ist der Wassertank mittels Schlauch ca. 3 Mal in der Winterperiode von einem benachbarten Klassenraum aus zu befüllen. Ein Heizkabel im Tank verhindert das Zufrieren des Wassers im Bereich der Pumpe.

#### 4.3.5 Strom- Wasserverbrauch

Im Betrieb verbrauchen Pflanzenbeleuchtungsmittel je nach Wahl des Leuchtmittels (LED - Scheinwerfer, LED - Leiste), zwischen 336 und 1428 kWh / Jahr, umgerechnet etwa 60 - 252 Euro / Jahr. Der Stromverbrauch der LED – Leiste ist somit mehr als 4x so hoch, wie jener des LED – Scheinwerfers. Durch ein mehrmaliges individuelles ein- und ausschalten durch Lehrpersonal und Schüler, kann es allerdings zu einem verfälschten Ergebnis gekommen sein.

Der Wasserverbrauch beträgt je nach Innenraumbegrünungssystem bei direktem Wasserzu- und abfluss (Trogsystem, Vliessystem) zwischen 0,22 und 0,87 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / Jahr. Bei Kosten von 1,92 Euro / m<sup>3</sup> betragen die Kosten für den Wasserverbrauch somit zwischen 0,42 und 1,67 Euro / m<sup>2</sup> / Jahr.

Bei Innenraumbegrünungen mit einer Tanklösung variiert der Wasserverbrauch je nach System (Trogsystem, Vliessystem) zwischen 0,05 und 0,21 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / Jahr. Bei Kosten von 1,92 Euro / m<sup>3</sup> betragen die Kosten für den Wasserverbrauch somit zwischen 0,10 und 0,40 Euro / m<sup>2</sup> / Jahr.

Der Wasserverbrauch bei Innenraumbegrünungssystemen mit direktem Wasserzufluss ist somit durchschnittlich mehr als 4x so hoch wie bei Systemen mit einer Tanklösung. Ebenso ist der

Wasserverbrauch bei Trogsystemen, aufgrund des verfügbaren Wasseranstaus, etwa 4x geringer als jener des Vliessystems.

Für den Außenraum beträgt der Wasserverbrauch je nach Fassadenbegrünungssystem (Trogsystem, Kassettensystem) zwischen 0,35 und 0,59 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / Jahr. Bei Kosten von 1,92 Euro / m<sup>3</sup> betragen die Kosten für den Wasserverbrauch somit zwischen 0,67 und 1,13 Euro / m<sup>2</sup> / Jahr.

#### 4.3.6 Wasseruntersuchungen

Am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) wird aufgrund der schlechteren Pflanzenentwicklung (Vliessystem) im Innenraum eine Untersuchung des Gießwassers durchgeführt, um einen eventuellen Zusammenhang nachzuweisen. Vor allem die Pflanzen im Vliessystem, haben sich allgemein nicht gut entwickelt. Das Trogsystem hat sich im Gegensatz dazu gut entwickelt und weist gute Vitalitätswerte auf. Das Wasser für die Bewässerung der Pflanzen wird in Tanks unter den Begrünungsflächen bereitgestellt und manuell vom Lehrpersonal befüllt. Das Wasser steht somit über mehrere Tage in den Behältern. Überschüssiges Wasser, das bei der Bewässerung anfällt, läuft ebenfalls wieder in die Tanks zurück.

Um zu überprüfen, ob die Pflanzen durch Verunreinigungen im Gießwasser in ihrer Entwicklung gehemmt werden wird eine mikrobiologische Wasseruntersuchung vom Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserversorgung und Gewässerschutz (SIG) durchgeführt.

Aus beiden Begrünungssystemen (Trogsystem und Vliessystem) werden Wasserproben (jeweils 1 Liter) aus den Tanks entnommen. Beim Trogsystem ist die Öffnung des Tanks groß genug, um die Behälter direkt zu befüllen. Der Wassertank des Vliessystems ist zu schmal, deshalb wird zum Abschöpfen ein schmäleres sauberes Gefäß verwendet.

Die entnommenen Wasserproben werden auf folgende Parameter untersucht:

- Escherichia coli (E. coli)
- Enterokokken
- Pseudomonas aeruginosa
- KBE 22°C (koloniebildende Einheiten bei 22 °C Bebrütungstemperatur)
- KBE 37°C (koloniebildende Einheiten bei 37 °C Bebrütungstemperatur)
- KBE R2A 27°C
- Coliforme

Bei den untersuchten Parametern handelt es sich um sogenannte Indikatorparameter. Diese sind leicht nachzuweisen und geben durch ihre An- oder Abwesenheit erste Auskunft über die mikrobiologische Qualität des untersuchten Wassers [51]. Tabelle 35 zeigt die Ergebnisse des Trogsystems.

*Tabelle 35: Ergebnisse der Wasseruntersuchung des Trogsystems.*

Parameter	Ergebnis	Einheit	NORM/SOP
E. coli	0	KBE/100ml	EN ISO 9308-1:2014
Enterokokken	0	KBE/100ml	EN ISO 7899-2:2000
Pseudomonas saeruginosa	0	KBE/100ml	EN ISO 16266:2006
KBE 22°C	155	KBE/ml	EN ISO 6222:1999
KBE 37°C	149	KBE/ml	EN ISO 6222:1999
KBE R2A 27°C	190	KBE/ml	EN ISO 6222:1999
Coliforme	0	KBE/100ml	EN ISO 9308-1:2014

Tabelle 36 zeigt die Ergebnisse des Vliessystem.

Tabelle 36: Ergebnisse der Wasseruntersuchung des Vliessystems.

Parameter	Ergebnis	Einheit	NORM/SOP
<b>E. coli</b>	0	KBE/100ml	EN ISO 9308-1:2014
<b>Enterokokken</b>	0	KBE/100ml	EN ISO 7899-2:2000
<b>Pseudomona saeruginosa</b>	0	KBE/100ml	EN ISO 16266:2006
<b>KBE 22°C</b>	>	KBE/ml	EN ISO 6222:1999
<b>KBE 37°C</b>	6470	KBE/ml	EN ISO 6222:1999
<b>KBE R2A 27°C</b>	15200	KBE/ml	EN ISO 6222:1999
<b>Coliforme</b>	>	KBE/100ml	EN ISO 9308-1:2014

Bei E. coli, Enterokokken und Coliformen handelt es sich um Bakterien, die auf eine fäkale Belastung des Wassers hindeuten. Im Trinkwasser dürfen diese Bakterien nicht nachgewiesen werden [52]. Bei den Messungen konnten diese in den untersuchten Tanksystemen nicht nachgewiesen werden.

Die österreichische Trinkwasserverordnung gibt für Wasser, das in Flaschen oder sonstigen Behältnissen in Verkehr gebracht wird, am Punkt der Abfüllung folgende Grenzwerte an:

Tabelle 37: Indikatorparameter für nicht desinfiziertes Wasser [51]

Indikatorparameter	Wert	Einheit
<b>KBE 22 (koloniebildende Einheiten bei 22°C Bebrütungstemperatur)</b>	100	Anzahl/ml
<b>KBE 37 (koloniebildende Einheiten bei 37°C Bebrütungstemperatur)</b>	20	Anzahl/ml
<b>Coliforme Bakterien</b>	0	Anzahl/ 100ml
<b>Clostridium perfringens (einschließlich Sporen)</b>	0	Anzahl/ 100ml
<b>Pseudomonas aeruginosa</b>	0	Anzahl/ 100ml

In Bezug auf den Parameter der koloniebildenden Einheiten, weisen die KBE Werte des getesteten Wassers im Tank des Vliessystems ein Vielfaches der zugrundeliegenden Grenzwerte auf. Somit kann insbesondere das Tanksystem in Kombination mit dem Vliessystem nicht als geeignet eingestuft werden.

## 4.4 Sozialwissenschaftliche Ergebnisse

### 4.4.1 Wohlbefinden und Akzeptanz aus Sicht der SchülerInnen und Lehrkräfte

Im Projekt wurde aufbauend auf einer Literaturrecherche, in denen Studien und Forschungsarbeiten, die das Wohlbefinden von Nutzenden erhoben sowie die Wirkungen von Pflanzen vor allem in Innenräumen und in gebäudenahen Bereichen untersuchten, verschiedene Zielgruppen an den beteiligten Schulen befragt. Die Fragestellungen wurden auf die Literaturrecherche aufgebaut und verschiedene Themenbereiche wurden in der Befragung aufgegriffen, wie der gesundheitliche Zustand, das Wohlbefinden, individuelle Sichtweisen zu Begrünungen und Einstellung zur Übernahme von Grünpflegearbeiten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die installierten Grünwände einem **positiven Zuspruch hinsichtlich des Wohlbefindens** der Schülerinnen und Schüler in den beteiligten Schulen begegnen. Mit Erfahrungswerten der grünen Wände stehen vorformulierte **Aussagen wie auch Wirkungen in einem deutlich positiven Zusammenhang** seitens der Schülerinnen und Schüler. Von einem verbesserten Lernerfolg als Wirkung der grünen Wände in den Klassenräumen können die Schülerinnen und Schüler nicht berichten. Die **Beteiligung der Schülerinnen und Schüler bei der Pflege** und Wartung der vertikalen Begrünungen fällt gering aus, wobei die Bereitschaft zur zukünftigen Mitarbeit für die notwendigen Schritte durchaus von Schülerinnen und Schülern weiterhin gegeben ist. Der durchweg positive Zuspruch und Zufriedenheit mit den installierten Grünwänden manifestierten sich im **Wunsch nach mehr grünen Wänden** sowohl in der Schule als auch in der Stadt, wobei auch diesbezüglich skeptische Stimmen wiederzufinden sind.

In einer detaillierteren Betrachtung sind folgende Ergebnisse aus den drei Online-Befragungen zu nennen:

Zu zwei Erhebungszeitpunkten lässt sich der positive Zuspruch der grünen Wände hinsichtlich des **Wohlbefindens** mit 45 Prozent der Schülerinnen und Schüler abbilden. Aber auch die gleichwertige Meinung zum Wohlfühlen in begrünten und nicht begrünten Klassenräumen wird seitens der Schülerinnen und Schüler weiterhin als zutreffend im Ausmaß von einem Drittel der Befragten beschrieben.

Die Schülerinnen und Schüler konnten zur zweiten und dritten Erhebung und damit mit bereits vorhandenen Erfahrungswerten ihre **Meinungen zu den grünen Wänden** in der Schule unter anderem in Form von 19 vorformulierten **Aussagen** kundtun. Darin zeigt sich, dass zu beiden Zeitpunkten die Einstellung zu den grünen Wänden positiv geprägt ist. Aussagen wie „Ich finde die grüne Wand großartig“, „Ich genieße den Blick ins Grüne“ oder „Der Klassenraum mit der grünen Wand hat eine bessere Raumatmosphäre“ sprechen die Schülerinnen und Schüler eher an als negative Aussagen wie „Die Luft im Biologiesaal kommt mir stickiger, abgestanden und schlecht riechend vor“ oder „Der Klassenraum mit der grünen Wand wirkt dunkler als andere nicht begrünte Klassen“. Auch hinsichtlich der **Wirkungen der grünen Wände** assoziieren die Schülerinnen und Schüler in erster Linie positiv konnotierte Wirkungen mit den grünen Wänden. Mit „schön“, „erfrischend“ und „beruhigend“ wurden zu den Erhebungszeitpunkten mit den bereits installierten Grünwänden von rund der Hälfte der befragten Schülerinnen und Schüler die Wirkungen beschrieben.

Die **Einbindung der Pflege und Wartung der Begrünungen in den Unterricht und Schulkultur** ist mithilfe der Online-Befragungen gering ausgeprägt nachzuweisen. Zunächst haben 10 von 391 und dann 23 von 409 befragten Schülerinnen und Schüler bei der Pflege mitgeholfen. Die durchgeführten Aufgaben umfassten in erster Linie das Abzupfen von braunen Blättern, das Aufkehren der abgefallenen Blätter und der Erde am Boden, wie auch Gießen und das Einsetzen neuer Pflanzen. Hinsichtlich der Bereitschaft der zukünftigen Mitarbeit bei der Pflege und Wartung sowohl in der Unterrichtszeit als auch in der unterrichtsfreien Zeit war zum Zeitpunkt der ersten Erhebung noch mehrheitliches „Ja“ zur Bereitschaft der Pflege der grünen Wände vorhanden. Im Projektverlauf ging diese Erklärung zur Mitarbeit dann zurück (2. Befragung: 32% im Unterricht und 15% in der Freizeit, 3. Befragung: 24% im Unterricht und 10% in der Freizeit).

Der als soziale Wirkung einzustufende **verbesserte Lernerfolg** durch Innenraumbegrünung lässt sich in der dritten Online-Befragung von mehr als der Hälfte der Schülerinnen und Schüler nicht feststellen, wobei dieses Ergebnis konterkariert wird von 40 Prozent der befragten Schülerinnen und Schüler, die einen verbesserten Lernerfolg zu verzeichnen haben.

Die Zufriedenheit mit den grünen Wänden in der Schule manifestiert sich in weiterer Folge im **Wunsch nach mehr grünen Wänden und Begrünungen**. Dieser wird seitens der Schülerinnen und Schüler in zwei Fragen dargelegt, wobei dieser über den Verlauf der Befragungen leicht abflacht. Diese Entwicklung lässt sich durch eine Skepsis beschreiben, die sich durch alle drei Online-Befragungen zieht und durch ausgewählte Fragen abbilden lässt. So etwa sind unter den befragten Schülerinnen und Schüler Aussagen hinsichtlich eines unangenehmen Geruchs im Klassenraum festzustellen, Anzweiflungen zum finanziellen Ressourceneinsatz

wie auch zur Sinnhaftigkeit des Einsatzes von grünen Wänden präsent. Ebenso führen 10 bis 15 Prozent der Personen an, dass **Bedenken hinsichtlich der grünen Wände** in der Schule präsent sind, die beispielsweise hohe Kosten für Pflege und Wartung oder Insektenbefall betreffen.

Der gesamte Bericht zu den „Sozialen Wirkungen“ kann in einem gesonderten Bericht (<https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen>) und <http://www.grueneschulen.at/soziale-wirkungen/>) nachgelesen werden.

Zusätzlich zu den Online-Befragungen fanden auch schulinterne Befragungen unter den Schülerinnen und Schüler gegenseitig statt. Auch bildete sich ein ähnliches Bild ab und zeigte deutlich die Zufriedenheit mit den grünen Wänden in den Klassenräumen. Einige Statements wurden bei der Veranstaltung „GRÜNEzukunftSCHULEN Open House“ vorgelesen, wie zum Beispiel „Ein Biologiesaal MUSS eine grüne Wand haben.“ Oder „Die grünen Wände erfüllen unseren Tag mit Farbe“. Weitere Aussagen können auf der [Energy Transition Webseite](https://energytransition.klimafonds.gv.at/timeline/begruente-waende-im-klassenzimmer/) vom Klima- und Energiefonds nachgelesen werden (<https://energytransition.klimafonds.gv.at/timeline/begruente-waende-im-klassenzimmer/>).

Das Wohlbefinden und die Akzeptanz der Schülerinnen und Schüler sowie der Lehrpersonen war deutlich bei Veranstaltungen und den Schulfesten spürbar. Für Tage der offenen Tür, Schulfeste oder ähnliche Veranstaltungen fanden sich Schülerinnen und Schüler zusammen, die die Eltern, Bekannte, Freundinnen und Freunde und weitere externe Gäste durch die Schule führten. Die Erzählungen ließen die Besucherinnen und Besucher einerseits die Zufriedenheit mit den grünen Wänden spüren und andererseits konnten auch sie selbst die positive Wirkung der grünen Wände in der kurzen Besuchszeit erahnen. Schülerinnen und Schüler erzählten bei den Führungen sehr frei, weshalb sie die grünen Wände schätzen. Sehr überrascht zeigten sich Oberstufenschülerinnen und -schüler, dass jüngere Kinder die grünen Wände in Ruhe ließen und keine Blätter abzupften. In der gesamten Projektlaufzeit wurde kein Vandalismus beobachtet, was sich wiederum mit den recherchierten Studien und deren Ergebnissen deckt. Es wurde beschrieben, dass gepflegte Bereiche im öffentlichen Bereiche, mit denen die Nutzenden eine Identifikation aufbauen, der Vandalismus stark reduziert wurde [53], [54]. Zudem fanden sich immer freiwillige Schülerinnen und Schüler, die die Führungen übernahmen oder bei Grünpflegearbeiten mithalfen. Praktisches Tun und gärtnerische Tätigkeiten erfreuen sich bei Kindern und Jugendlichen immer noch besonderer Begeisterung, zumal viele in urbanen Umgebungen wohnenden Kinder und Jugendliche selten bis kaum eigene Erfahrungen im privaten Umfeld mit Gartenarbeiten sammeln können.

Auch auf Seiten der Lehrpersonen brachten sich diese sehr umfangreich in das Projekt ein. In den Arbeitsgruppen und internen Begehungen war großes Interesse und auch bei Festen und Veranstaltungen halfen die Lehrpersonen mit. Zum Wohlbefinden und der Akzeptanz äußerten sich Lehrpersonen des Öfteren in den Arbeitsgruppen und berichteten vom gesteigerten eigenen Wohlbefinden durch die erhöhte Luftfeuchtigkeit und die Erholung beim Blick ins Grüne. Sie genossen zudem die Möglichkeit im Unterricht auf „unsere grüne Wand“ zu verweisen und stellten auch bei den Schülerinnen und Schüler ein gesteigertes Wohlbefinden fest. Trotz anfänglicher Skepsis und der Sorge, dass sie zusätzliche Aufgaben zu den bisherigen erhalten würden, fanden sich Schulwartinnen und Schulwarte und das Reinigungspersonal bei ausgewählten Treffen ein. Vor allem bei internen Begehungen, in denen die Technik und die Pflegeschritte erklärt wurden, zeigten die Anwesenden Interesse sich ebenfalls einzubringen und zu unterstützen (Sichtkontrolle, über die Sommermonate, und so weiter). Auch die Direktoren erhielten durchwegs positives Feedback vor allem durch das gesteigerte Wohlbefinden in den begrüneten Räumen.

Sorgen entstanden lediglich an den Schulen hinsichtlich der fehlenden Ansprechperson nach dem Projektende. Zur Aufteilung der Pflege konnte in beiden Schulen optimale Lösungen herausgearbeitet werden (siehe Kapitel Integration in den Schulalltag).

#### 4.4.2 Fragen & Antworten

Zahlreiche Anfragen an das Forschungsteam von Schulen zeigten, dass das Interesse an Begrünungen groß ist. Allerdings wird davon ausgegangen, dass in jedem Prozess die ein oder anderen Fragestellungen und Unsicherheiten aufkommen. Um in diesen Situationen eine fundierte Wissensbasis zu schaffen und rasche Antworten für interessierte Personen bereit zu stellen, wurde das Dokument „Fragen & Antworten – Argumente rund um grüne Schulen in Österreich“ (online unter: <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/fragenundantworten/>) zusammengestellt. Während der gesamten Projektlaufzeit wurden die gestellten Fragen von den involvierten Personen der Pilotschulen, externen Gästen bei Schulaktivitäten und von Interviewpartnerinnen und -partnern verschiedenster Organisationen gesammelt und anschließend aufbereitet.

Das Dokument „Fragen & Antworten“ ist umfassend, daher wurden für den vorliegenden Bericht nur kurze Ausschnitte übernommen, um den Aufbau kurz aufzuzeigen. Prinzipiell gliedert sich das Dokument in fünf Themenbereiche – Grundsätzliches Einverständnis und Zustimmung an der Schule, Grünsysteme und deren Technik, Kosten, Pflege, Wartung und Instandhaltung und Gesundheitliche Aspekte und mikroklimatische Vorteile. Des Weiteren wurden zu jedem Themengebiet die Fragen in Innenraumbegrünung, Fassadenbegrünung und Freiraum gegliedert. Diese Gliederung kommt vor allem Personen zugute, die für konkrete Anwendungsfälle, wie es in der Praxis der Fall sein wird, Antworten auf Fragen erhalten wollen. Abbildung 105 zeigt ein Beispiel einer oft gestellten Frage zum Insektenaufkommen in grünen Wänden im Innenraum.

Fragen & Antworten – Argumente rund um Grüne Schulen in Österreich



**Erhöht sich durch die Innenraumbegrünungen das Vorkommen von Insekten?**

Im Innenraum wurden im Forschungsprojekt GRÜNEzukunftSCHULEN für Trogsysteme technische Substrate verwendet, die aus Ton bestehen. Durch die fehlenden organischen Stoffe finden Insekten entweder keine Nahrung, wie die Trauermücke, deren Larve sich ausschließlich von Faulstoffen in Erden ernährt oder keine optimalen Voraussetzungen für Unterschlüpfe und Verstecke. Demnach kommen keine Wanzen, Fliegen, Wespen, etc. in den Wänden vor. Auch Spinnen sind, ohne das Beutevorkommen nicht zu finden.

Im Vliessystem sitzen die Pflanzen wurzelnackt in den Vliestaschen. Sie werden ohne Erde oder Substrat in Vliestaschen gepflanzt. Die Vliesschichten werden täglich bewässert. Auch hier finden Insekten weder Nahrung noch passende Unterschlupfmöglichkeiten.

Die einzigen Insekten, die in grünen Wänden vorkommen können, sind Pflanzenschädlinge. Sie werden meist mit neu gekauften und eingepflanzten Pflanzen „eingeschleppt“ oder treten auf, wenn die Pflanzen geschwächt sind (zu trocken bzw. zu feucht, zu wenig Beleuchtung, ...).

**„Stehlen“ Innenraumbegrünungen den Sauerstoff?**

Durch Photosynthese wandeln Pflanzen CO<sub>2</sub> in Sauerstoff um. Demnach unterstützen Pflanzen bei der Bildung von Sauerstoff in der Klasse. CO<sub>2</sub> produzieren sie nur in der Nacht, wenn die

Abbildung 105: Oft gestellte Frage zum Insektenaufkommen in grünen Wänden im Innenraum

## 4.5 Prozessergebnisse

### 4.5.1 Integration in den Schulalltag

Im Leitfaden „Grüne Architektur im Schulbau“ (online unter: <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/leitfaden/>) wurde für Schulen die Informationen aufgeteilt in „Die ersten Schritte zur Begrünung einer Schule“ und „Integration in den Schulalltag“.

Wesentlich ist bei beiden Punkten, dass Pflanzen lebende Materialien sind und daher neben Licht, Nährstoffe und Wasser auch Pflege benötigen. Die notwendige Grünpflege und Wartungsschritte benötigen unterschiedlich viel Zeit und Aufwand, der allerdings von Beginn an des Planungsprozesses mitberücksichtigt werden muss, denn grüne Wände sind keinesfalls mit Kunstwerken an der Wand zu vergleichen! Kunstwerke werden einmal an die Wand angebracht und bleiben dort ohne Pflege und zeitlichen Aufwand hängen.

Daher werden hier Faktoren beschrieben, die dazu beitragen, dass eine Integration der grünen Wände in den Unterricht funktionieren kann und eine optimale Organisation und Aufteilung der Pflege und Wartung entwickelt wird.

- **Verantwortung - top-down:** Das Engagement sowie die Motivation müssen primär von der Direktorin bzw. dem Direktor ausgehen. So ist es für die Direktorinnen und Direktoren denkbar besonders in der Vorbereitungszeit vor der Begrünung und zu Beginn der Begrünung die Lehrkräfte für die Arbeitsgruppen freizustellen und für die Sommermonate innovative Modelle der Zeitabgeltung (Ausgleichssystem – für Grünpflege wird ein Gutstundenrepertoire angesammelt, das für Gangaufsichten und ähnliches eingelöst werden kann) anzudenken. Ohne die Unterstützung der Direktion ist es für Lehrkräfte schwer entsprechende Formate, wie Arbeitsgruppen und zeitliche Ressourcen für Abstimmungen zu finden. Mit diesen Maßnahmen werden neue Strukturen und Modelle geschaffen, die der Grundstein für die nachhaltige Verankerung der Pflege und Wartung in die Schulkultur sind. Nachdem alle Schulen unterschiedliche Arbeitsweisen und Abläufe haben, ist es wichtig die Pflege und Wartung maßgeschneidert den Bedürfnissen der Schule anzupassen.
- **Arbeitsgruppen und Zuständigkeiten:** Aufbauend auf der Schaffung von neuen Strukturen, Modellen und Möglichkeiten gilt es die Verantwortung für die Begrünungen von der Direktorin bzw. dem Direktor an Lehrkräfte zu übertragen. Hilfreich ist es eine Gruppe zu formieren, dass sich aus Interesse zusammenfindet oder einer themenverwandten bereits bestehenden Lehrkräfte-Gruppe zu übertragen. In allen Fällen ist es wichtig, dass mehrere Personen für die Grünpflege und technische Wartung sowie für die Sichtkontrolle zuständig sind und auch neue interessierte Kolleginnen und Kollegen in die Gruppen integriert werden. Die Verteilung der Arbeiten auf mehrere Personen und Klassen hat zum Vorteil, dass die Arbeit einerseits überschaubar bleibt, viele Klassen integriert werden, die Voraussetzungen für fächerübergreifende Unterricht bestärkt wird und andererseits bei Krankheit, Pensionierung, oder ähnlichem nicht mit einer Person das gesamte Fachwissen im Team fehlt. Ebenfalls wichtig ist einen Plan über die Sommermonate zu erstellen und einen guten Austausch mit den Schulwartinnen, Schulwarten und dem Reinigungspersonal zu pflegen.
- **Regelmäßige Sichtkontrolle:** Die regelmäßige Sichtkontrolle ist das Um und Auf einer Begrünung, denn je schneller Fehler und Probleme erkannt werden, desto besser können Lösungen ergriffen werden. Im Team können die Sichtkontrollen aufgeteilt und in den Sommerferien Schulwartinnen und Schulwarte sowie das Reinigungspersonal instruiert werden.
- **Einbringen in den Unterricht:** Grüne Wände eignen sich optimal Themenfelder des Lehrplans mit anschaulichen Projektarbeiten, praktische Übungen und in unterschiedlichen Vermittlungsformaten (wie z. B.: Peer-to-Peer-Learning) einzusetzen. Erst durch die aktive Einbindung verschiedener

Aktivitäten in den Unterricht ist die Integration in den Schulalltag gesichert und bringen einen Mehrwert für den Unterricht. Neben inhaltlichen Verknüpfungen im Unterricht ist es sinnvoll auch die Pflege und Wartung in den Lehrplan zu integrieren. So könnte die Verantwortung für die grünen Wände einer Klasse in einem Unterrichtsfach übertragen werden. Auch die Übergabe kann mit dem Peer-to-Peer Prinzip gestaltet werden, indem die pflegende Klasse die zukünftig verantwortliche Klasse einschult. Anregungen und Tipps, wie grüne Wände in verschiedenen Unterrichtsfächern mit unterschiedlichen Methoden eingebunden werden können befinden sich im Dokument „Unterrichtsmaterialien zu den grünen Wänden in Schulen“ kostenlos heruntergeladen werden (<https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/unterrichtsmaterialien-gruenewaende/>).

- **Zusätzliche Begrünungen:** Durch das gesteigerte Wohlbefinden mit der grünen Wand können in Schulen auch weitere Ideen und Projekte entstehen, wie zusätzliche Aufenthaltsqualitäten geschaffen werden. So können bauliche do-it-yourself Begrünungen für die unterschiedlichsten Orte im Innenraum oder Freiraum (Dachterrassen, Höfe, etc.) entstehen oder Schülerinnen und Schüler selbst aktiv werden und ihren Klassenraum mit Topfpflanzen von zu Hause begrünen.
- **Schulumfeld einbeziehen:** In Schulaktivitäten und Festen bringt es für die Schule Vorteile die grünen Wände als einen fixen Bestandteil zu integrieren. So wird der Unique-Selling-Proposition (USP) der Schule deutlich hervorgehoben. Die Räume mit Begrünungen könnten entweder als Veranstaltungsort dienen oder es werden Führungen für die Besucherinnen und Besucher durch Schülerinnen und Schüler angeboten. Besonders Schülerinnen und Schüler erzählen sehr anschaulich über ihre Erfahrungen mit den grünen Wänden.
- **Öffentlichkeitsarbeit:** Schulen mit Begrünungen und innovativen Projekten heben sich deutlich von anderen Schulen ab- und hervor. Daher können diese als Unique-Selling-Proposition (USP) für Webseiten, Tag der offenen Türen, Newsletter, etc. verwendet werden.

Abschließend und zusammenfassend gilt, dass nur Schulen mit technischen Begrünungssystemen begrünt werden sollen, die sich dies 1) wünschen 2) engagierte, grünaffine und interessierte Direktionen und Lehrpersonen an der Schule sind, die sich 3) der Grünpflege und technischen Wartung sowie 4) der erforderlichen Implementierung in die Schulkultur und den Schulalltag bewusst sind.

Durch die regelmäßigen Arbeitsgruppen-Treffen sowie die durchgeführten Workshops knüpften die Lehrpersonen sehr bald an das Projekt an, griffen Themen auf und verbanden ihre Unterrichtseinheiten mit den grünen Wänden. An zwei exemplarischen Beispielen wird die, durch die Begleitung des sozialen Prozesses durch das Projektkonsortium, gelungene Integration in den Schullalltag aufgezeigt.

Am Anfang des Projektes wurden Workshops mit verschiedenen Klassen zum Thema „Stimmungsbild zum Thema Grün in Städten und Schulen“ durchgeführt. In Kleingruppen erhielten die Schülerinnen und Schüler die Aufgabe die Pro- und Contra-Argumente von Begrünungen in der Stadt und in der Schule zu sammeln. Auffallend war, dass in allen Klassen als Contra-Argument Insekten vorgebracht wurden. Diese Sorge, die Insekten könnten „scharrenweise aus der grünen Wand krabbeln“, griffen die Lehrpersonen auf und transferierten die Thematik in ein schulinternes Lehrformat, der „Greenday“ genannt wird. Das Format „Greenday“ ist ein bestehendes Format der Schule, bei dem Schülerinnen und Schüler der Oberstufen Stationen zum Thema „Greenday“ passend für die Unterstufe vorbereiten und die Stationen durchführen. So wurde nach dem durchgeführten Stimmungsbild-Workshop der Greenday unter das Motto „Insekten in der grünen Wand“ gesetzt. Mit Mikroskopen wurden Pflanzenschädlinge beobachtet, Insektenmemory gespielt, Stabheuschrecken gehalten, die grüne Wand gründlich auf Insekten untersucht, Bodentiere erforscht und die Pflanzen erklärt. Aufbauend auf den durchgeführten „Greenday“ reflektierten die Lehrkräfte die Sorgen der Schülerinnen und Schüler vor Insekten und baten um einen vertiefenden Insektenworkshop, der vom

Projektteam ausgearbeitet wurde. In weiterer Folge wurden die Inhalte des Workshops in Unterrichtsmaterialien aufbereitet.



Abbildung 106: Gelungene Integration des Themas Insekten in den Unterricht

Im anderen Beispiel wurde an einem Klimaprojekt mit einer Klasse gearbeitet und die grünen Wände mit ihren Auswirkungen auf die sommerliche Überhitzung aufgearbeitet. Auch in diesem Beispiel nahm die Schule selbstständig die grüne Wand zum Anlass eine Projektarbeit durchzuführen. Die Schülerinnen und Schüler beschäftigten sich eingehend mit dem Klima, den Auswirkungen der Klimaerwärmung und der Wirkung von Pflanzen auf das Mikroklima. Resultierend auf das Projekt entschied die Klasse, dass sie mehr Pflanzen in der Klasse brauchten und organisierten verschiedene Topfzimerpflanzen, die von den Eltern zur Verfügung gestellt wurden. Zudem entstanden im „Klimaprojekt“ zwei Videos, in denen Begrünungsmöglichkeiten als Maßnahme gegen die Hitze vorgestellt, erklärt und gezeigt werden. Beide Videos sind auf Youtube zugänglich: 1) „Make the school cool again“ ([https://www.youtube.com/watch?v=5ov\\_O8-mxc4](https://www.youtube.com/watch?v=5ov_O8-mxc4)) und 2) Umsetzung unseres Projekts „Cooling the city“ (<https://www.youtube.com/watch?v=WRZDswr3E88>).



Abbildung 107: Ausschnitt aus dem Video, welches die mit Topfpflanzen begrünte Klasse zeigt

#### 4.5.2 Wissensvermittlung an die Schüler und Schülerinnen: Unterrichtsmaterialien

Als einen ersten Schritt, um die Begrünungen in den Schulalltag zu integrieren und Anknüpfungspunkte zwischen den vertikalen Grünwänden und den Unterrichtsfächern aufzuzeigen, wurden Workshops für unterschiedliche Unterrichtsfächer vom Projektteam entwickelt. Diese standen den Lehrpersonen als buchbare Workshops zur Verfügung. Auch das Projektteam profitierte von den durchgeführten Workshops. Nach diesen wurden die Methoden und Abfolgen angepasst und entsprechend der gesammelten Erfahrungen adaptiert beziehungsweise erweitert. Um die Inhalte nachhaltig zur Verfügung zu stellen und auch nach Projektende Lehrpersonen Anregungen zu geben die grünen Wände in den Unterricht zu integrieren, wurden Unterrichtsmaterialien erstellt. Die Materialien sind so aufbereitet, dass diese schnell und unkompliziert eingesetzt werden können. Um lange Vorbereitungszeiten zu vermeiden wurden die einzelnen Schritte vor einer Stunde genau aufgelistet sowie Arbeitsblätter als Kopiervorlagen vorbereitet. Für die Durchführung der Unterrichtseinheit stehen zudem vorgeschlagene Schritte zur Verfügung, die gerne als Gerüst von den Lehrpersonen verwendet werden können. Ebenfalls ein Ziel ist es die Unterrichtsmaterialien für Supplierstunden heranziehen zu können. Durch die vorbereiteten Unterrichtseinheiten bieten die Materialien den einspringenden Lehrpersonen unkompliziert die Begrünungen mit den Kindern und Jugendlichen aufzuarbeiten.

Es sind folgende Unterrichtseinheiten verfügbar:

- Unterrichtseinheit Stimmungsbild zum Thema „Grün in Städten und Schulen“
- Unterrichtseinheit Insekten – Unterstufe
- Unterrichtseinheit Insekten – Oberstufe
- Unterrichtseinheit Pflanzen vermehren
- Unterrichtseinheit Grünwand innen – Pflanzen pflegen, düngen, rückschneiden und nachsetzen
- Unterrichtseinheit Grünwand außen – Pflanzen pflegen, düngen, rückschneiden und nachsetzen
- Unterrichtseinheit Wasserhaushalt und Wasserrückhalt

- Unterrichtseinheit Pflanzen und ihr Wachstum
- Unterrichtseinheit Technik von Fassen- und Vertikalbegrünungen
- Unterrichtseinheit U-Wert und Gebäudequalität
- Unterrichtseinheit Messen und Auswerten
- Unterrichtseinheit Städte in der Zukunft

Die „Unterrichtsmaterialien zu grünen Wänden in Schulen“ stehen kostenfrei unter <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/unterrichtsmaterialien-gruenewaende/> zur Verfügung.

Folgend gibt Abbildung 108 einen Einblick in die Aufbereitung einer Übung zum Thema Insekten für die Unterstufe.

Unterrichtsmaterialien zu den grünen Wänden in Schulen



## Unterrichtseinheit Insekten – Unterstufe

### Intro-Text

Insekten sind oft mit Ängsten behaftet. Dies zeigten die Ergebnisse des Stimmungsbild-Workshops, der während des Projekts GRÜNEZukunftSCHULEN durchgeführt wurde. Aufbauend darauf wurde dieser Workshop erarbeitet, der verschiedenen Insekten mit ihrem Nutzen für uns Menschen und die Umwelt aufzeigt.

### Unterrichtsfächer

- Biologie und Umweltkunde

### Benötigte Materialien

- 3 Zettel, die mit jeweils einer großen Zahl (1, 2 und 3) beschriftet sind
- Ausgedruckte Bilder/Fotos oder eine digitale Präsentation
- „Kreislauf-Kärtchen“ (siehe Kreislauf-Kärtchen ab Seite 56)
- ggf. Insekten für die Verkostung

### Ideal für

Gesamtgruppe und Teilgruppen

### Zeitbedarf

Ein bis zwei Unterrichtseinheiten (je nach dem welche Arbeitsschritte umgesetzt werden)

### Ziele

- Wichtigkeit von Insekten aufzeigen
- Insekten und ihre Lebensweisen näher kennen lernen
- Zusammenhang zwischen Insekten und Landwirtschaft erkennen
- Bewusstmachung der Folgen des Insektensterbens für den Menschen
- Eigene Handlungsspielräume erarbeiten
- Insekten als Nahrungsmittel kennen lernen

### Tipps

Insekten für die Verkostung können z.B. auf der folgenden Seite gekauft werden: <https://www.zirpinsects.com/shop/>

### Vorbereitung

Abbildung 108: Screenshot einer ausgearbeiteten Unterrichtseinheit

### 4.5.3 Pflege und Wartung, Verantwortungsmatrix

Die Pflege und Wartung der Grünen Wände wird an den beiden Schulen nach Projektende von unterschiedlichen Personengruppen übernommen und die Verantwortungsbereiche unterschiedlich organisiert.

Im BRG 16 wird die Verantwortung nach Tätigkeitsfeld (Grünpflege, Tank auffüllen/Düngung, Technische Wartung) organisiert. Für jeden der drei Felder gibt es Hauptverantwortliche aus dem Lehrpersonal. Unterstützt werden diese Personen durch das restliche Lehrerkollegium, die SchulwartInnen sowie von den Schülerinnen und Schülern. Bei Notfällen kann das Projektteam weiterhin kontaktiert werden.

Es wurde eine Arbeitsgruppe, bestehende aus interessierten Lehrpersonen, gebildet. Die Arbeitsgruppe übernimmt die Verantwortung für die Begrünungen. Außerdem werden die begrünten Wände sowie deren Pflege und Wartung in den Unterricht miteingebunden. Die Nachmittagsbetreuung hat die Aufgabe übernommen die Tanks für die Bewässerung aufzufüllen.

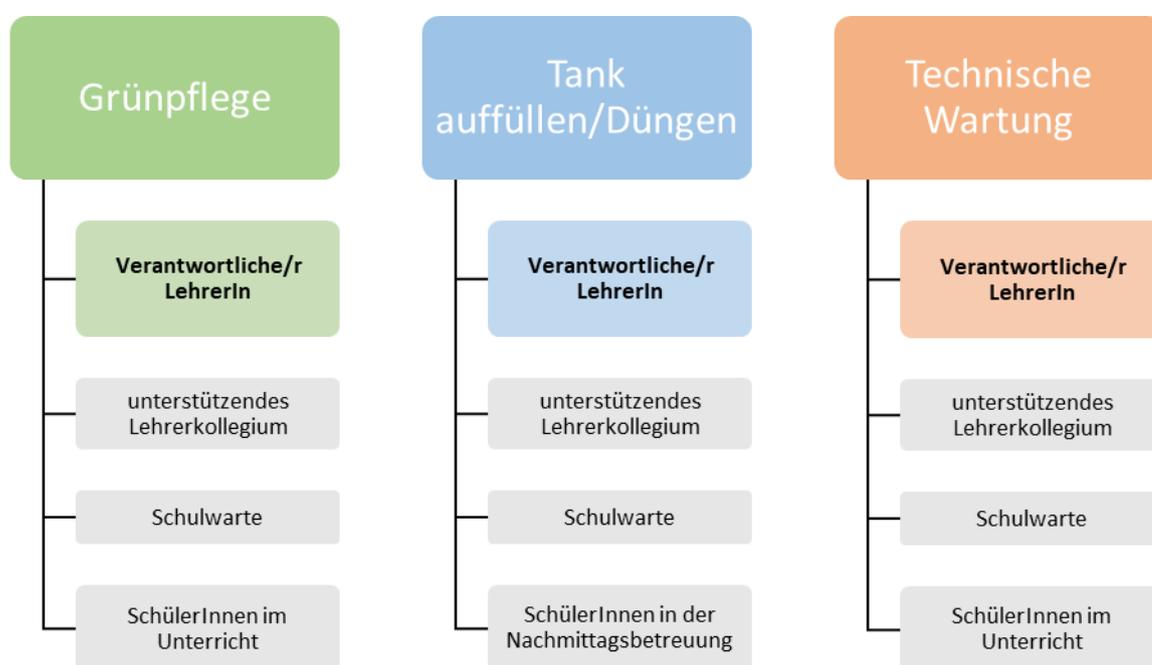


Abbildung 109: Verantwortungsmatrix BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)

Im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) wurden die Verantwortlichkeiten nach Projektende nach den einzelnen Systemen organisiert. Die Verantwortungsbereiche sind somit das Trogsystem, das Vliessystem (jeweils im Innenraum) und das Kassettensystem (Außenbereich/Dachterrasse). Erneut sind interessierte LehrerInnen hauptverantwortlich. Unterstützt werden sie durch das restliche Lehrerkollegium und die SchulwartInnen. Einen wesentlichen Teil der Pflege soll von den Schülerinnen und Schülern der Science Klassen unter Koordination der LehrerInnen übernommen werden. In der Sciencegruppe sind die Fächer Biologie, Chemie und Physik enthalten. Die Schülerinnen und Schüler der 6. Klassen sind für die vertikalen Begrünungen verantwortlich. Im Sinne eines Peergroup Learning wird die 8. Klasse Science von der 6. Klasse im Laufe des zweitens Semesters eingeschult und mit den Aufgaben im Zusammenhang mit den Grünwänden vertraut gemacht.

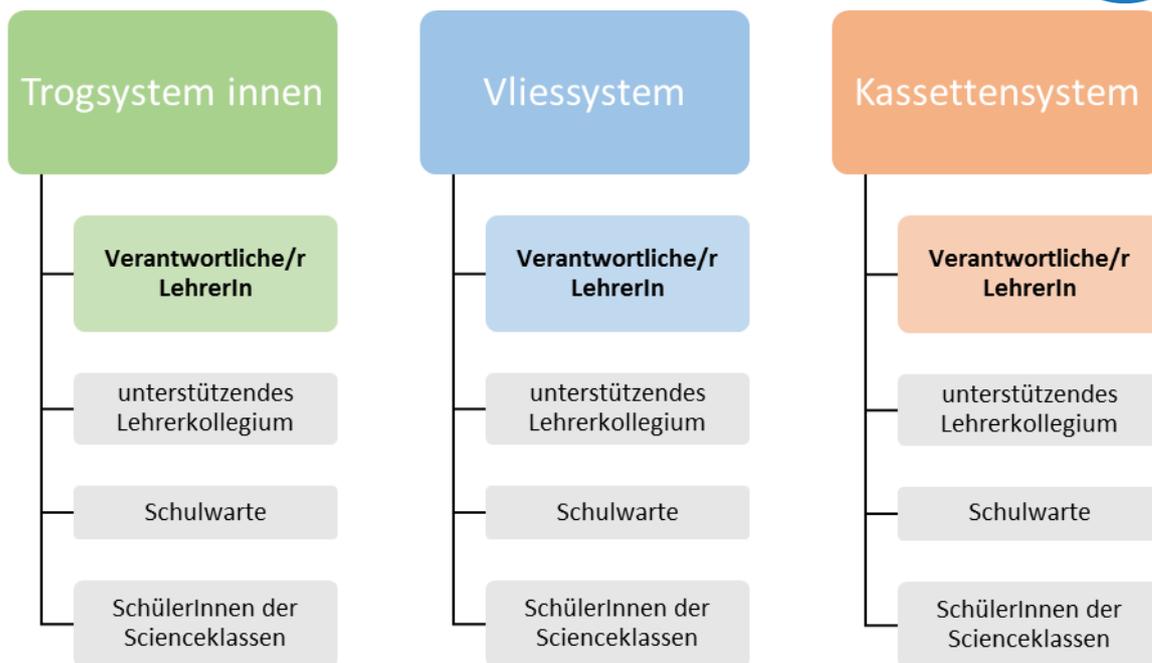


Abbildung 110: Verantwortungsmatrix BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage)

#### 4.5.4 Übergabe an die Schulen am Projektende

Im Zuge verschiedener Veranstaltungen (Arbeitsgruppen, Workshops, ...) während der Projektlaufzeit wurden die Schulen mit den Aufgaben im Zusammenhang mit den vertikalen Begrünungen vertraut gemacht. Die erstellten Handbücher bieten eine genaue Anleitung betreffen die Grünen Wände und wurden in Rücksprache mit den Schulen angepasst und erweitert. Zum Projektende wurden nochmals alle Begrünungen gemeinsam mit den Zuständigen Personen der Schule und dem Projektteam besichtigt, offene Fragen geklärt und eventuell letzte Änderungswünsche zur benutzerfreundlichen Bedienung besprochen. Diese letzten Änderungen, vor allem die Zugänglichkeiten zu Wassertank und Wasserabfluss betreffend, wurden vom Projektteam durchgeführt und die Begrünungen in die Verantwortung der Schulen übergeben.

Hervorstreichen ist, dass im gesamten Prozess das gemeinsame Pflegen und Warten sowie das angeleitete Ausprobieren wie z. B. Ausbauen und Putzen der Pumpen überaus wichtig war. In den Arbeitsgruppen waren große Barrieren bemerkbar selbstständig Wartungsschritte bei der Technik durchzuführen. Einerseits wurden Workshops entsprechend vom Projektteam mit Einschulungen und praktischem Tun durchgeführt und andererseits die an die Schulen maßgeschneiderten Handbücher detailgetreu beschrieben. Aufgrund der Detailliertheit der technischen Wartungsschritte von z. B. dem dort eingesetzten Zeitschaltuhren-Modell wurden diese nicht veröffentlicht. Auszüge befinden sich im Dokument „Grundlagen zu Pflege & Wartung von Vertikalbegrünungen an Schulen“ (online unter <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/pflegeundwartung/>).

## 4.6 Dissemination und Veröffentlichungen

### 4.6.1 Wissenschaftliche Community

#### PUBLIKATIONEN

- Tudiwer, F. Teichmann, A. Korjenic: "Thermal bridges of living wall systems"; **Energy and Buildings**, 205 (2019), S. 1 - 7.
- J. Hollands und A. Korjenic, „Ansätze zur ökonomischen Bewertung vertikaler Begrünungssysteme“, **Bauphysik**, Bd. 41, Nr. 1, 2019.
- David Tudiwer, Marián Vertal', Azra Korjenic, Katarína Cakyová „Abbildung der wärmedämmenden Wirkung eines fassadengebundenen Begrünungssystems in einem Simulationsmodell“ **Bauphysik**, Bd. 41, Nr. 3, 2019
- Knoll, Bente; Hofleitner, Birgit (2019): Fassadenbegrünungskonzepte an Wiener Schulen – Perspektive Lehrkräfte und Schülerinnen/Schüler. Erfahrungen aus dem Projekt GRÜNEzukunftSCHULEN. BauZ!
- Korjenic: "GRÜNE SCHULEN IN WIEN Forschungsprojekte der Technischen Universität zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität" MAGAZIN INNENSTADT THEMA GRÜNE ARCHITEKTUR, Geschäftsstelle Netzwerk Innenstadt NRW, Münster 2019
- Weiss, Oliver; Fichtenbauer, Lisa (2019): Evapotranspiration of indoor greenery – as part of the research project "GREENfutureSCHOOLS". International Conference on Urban Health - Xiamen, China, 08.11.2019.
- Weiss, Oliver (2019): Grünwände in Schuloasen – Vorstellung unterschiedlicher Fassadenbegrünungssysteme im Innenraum. enova – International Conference, Pinkafeld, 22.10.2019.
- Publikation in Vorbereitung für das Journal Bauphysik (Q2) mit einer gemeinsamen Analyse der Schul-Begrünungen aus sozialwissenschaftlicher und technischer Sicht
- Dopheide, Ralf; Hofleitner, Birgit; Knoll, Bente; Korjenic, Azra; Renkin, Agnes; Tudiwer, David; Zluwa, Irene (2018): Grün wirkt an Wiener Schulen! Über die positive Wirkung von Pflanzen auf menschliches Wohlbefinden und Mikroklima und ihre bauliche Integration an zwei Wiener Schulen berichten. In: Personenkomitee Forum Landschaftsplanung (Hg.): Zoll + gesund, Bd. 32 (32), S. 58–63. Online verfügbar unter <https://zollplus.org/zollausgaben/zoll32-gesund/>, zuletzt geprüft am 14.08.2018.
- Dopheide, Ralf; Hofleitner, Birgit: Grün wirkt in Schulen. In: Umwelt & Energie 2018 (4), S. 21.
- Knoll, Bente; Dopheide, Ralf (2017): Nutzbare Grünräume in dichtverbauten Stadtgebieten. Erfolgsfaktoren und Hemmnisse. Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen (BauZ). BauZ!, 16.02.2017.
- Bau.Energie.Umwelt Cluster Niederösterreich ecoplus (2017): GRÜNEzukunftSCHULEN. Grüne Lernräume im Schulneubau.

#### VORTRÄGE

- J. Hollands, A. Korjenic: "Ecological Building Technologies"; Vortrag: Research Colloquium Ecosystems and Biodiversity, Schweiz, Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (eingeladen); 18.11.2019
- J. Hollands, A. Korjenic: "Begrünte Wände für gesunde Schulen"; Vortrag: Fachtagung Gartenpädagogik, DIE GARTEN TULLN, "Natur im Garten" Tulln (eingeladen); 15.06.2019.

- Seminar Gebäudebegrünung Plus (Lehrveranstaltung der TU abgehalten in begrünten Klassenräumen mit Gastvorträgen von Birgit Hofleitner (BNK) und Ulrike Pitha (BOKU)
- Weiss, Oliver; Fichtenbauer, Lisa (2019): Evapotranspiration of indoor greenery – as part of the research project “GREENfutureSCHOOLS”. International Conference on Urban Health - Xiamen, China, 08.11.2019.
- Weiss, Oliver (2019): Grünwände in Schuloasen – Vorstellung unterschiedlicher Fassadenbegrünungssysteme im Innenraum. enova – International Conference, Pinkafeld, 22.10.2019.
- Hofleitner, Birgit; Tudiwer, David (2017): Exkursion zu den grünen Wänden am Schuhmeierplatz. Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen (BauZ). BauZ!, 13.02.2019.
- Korjenic: "Gut gekühlte Zukunft"; Hauptvortrag: 1.NÖ Zukunftstag, Gewerbe und Handwerk rund um den Bau, 3100 St. Pölten (eingeladen); 19.02.2020.
- Knoll, Bente (2019): Fassadenbegrünungskonzepte an Wiener Schulen – Perspektive Lehrkräfte und Schülerinnen/Schüler. Erfahrungen aus dem Projekt GRÜNEzukunftSCHULEN. BauZ!, 13.02.2019.
- Knoll, Bente (2017): Green infrastructure at school requires communication. Setting up engagement processes at two schools in Vienna. First experiences. EUGIC 2017 European Urban Green Infrastructure Conference. Budapest, Ungarn, 30.11.2017.
- Knoll, Bente; Dopheide, Ralf (2017): Nutzbare Grünräume in dichtverbauten Stadtgebieten. Erfolgsfaktoren und Hemmnisse. Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen (BauZ). BauZ!, 16.02.2017.
- Dopheide, Ralf (2018): Grün geht die Wände hoch! Lange Nacht der Forschung. Amt der Niederösterreichischen Landesregierung. DUK Krems, 13.04.2018.
- Korjenic: "Green Schools - impact on users and the environment"; Hauptvortrag: WTZ Workshop, TU Kosice; 26.10.2018
- Korjenic: "Impulsvortrag: Innovation TU Wien - Neuer Forschungsbereich mit bewährten Kompetenzen"; Hauptvortrag: Innovation Uni bei Mit Talk, BIG Zentrale (eingeladen); 11.02.2019.11.2.2019 Impulsvortrag bei BIG, Wien
- Korjenic: „Bauwerksabdichtung und ihr Beitrag zum Klimaschutz Dach- Fassadenbegrünung. Was erwartet uns in Zukunft, Was kommt auf den Bauwerksabdichter zu? Stand der Technik? Neue Entwicklungen und Trends?"; 17.IFB-Symposium, Flachdachbau & Bauwerksabdichtung, Karlsplatz 13, 1040 Wien; 25.02.2020

#### 4.6.2 Studentische Arbeiten im Zuge des Projektes

- David Tudiwer, **Dissertation** „Einflüsse vertikaler Gebäudebegrünung auf Wärmeschutz, sommerliche Überwärmung und hygrothermische Behaglichkeit“
- Simon Strübing, **Diplomarbeit** „Vergleich raumklimarelevanter physikalischer Größen zweier Schulgebäude mit unterschiedlicher Belüftung, jeweils ausgestattet mit zwei verschiedene Innenwandbegrünungssysteme“
- Laurent Weber, **Diplomarbeit** „Einfluss von vertikaler Innenwand-Begrünung auf das Raumklima und Behaglichkeit in Schulen“

- Magdalena Berger, **Diplomarbeit** „Die Auswirkung von Innenraumbegrünung auf die Staubkonzentration“
- Jan Niederhammer, **Masterarbeit** „Vitalitätsmessung an Living Walls“
- Laurent Weber, **Projektarbeit** „Innenraumbegrünung“

#### 4.6.3 Stakeholder Dialoge/Events/Workshops

- OpenHouse GrüneZukunftSchulen am 24.09.2019 im BRG15 und BRG16, Führungen, Vorträge und Diskussionen
- Führung durch die Schulen im Rahmen des internationalen WTZ-Forschungsprojekts GOOD PRACTICE IN URBAN LANDSCAPE AND URBAN AGRICULTURE University of Sarajevo, Faculty of Agriculture and Food Sciences, Bosnia and Herzegovina [gefördert durch OeAD-GmbH]
- Töchertag 2019 Durchführung am BRG 16 mit Unterstützung des gesamten Konsortiums <https://nachhaltigkeit.big.at/node/97>
- Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG): Forschendensteckbriefe TEILEHMENDE „TAG DER FORSCHUNG UND LEHRE GEBÄUDEGRÜN“ 18.09.2019 WÜRZBURG
- ÖISS am 21.01.2019 und am 22.08.2019 Projektvorstellung und Diskussion
- BauZ Exkursion am 13.02.2019, Projektvorstellung und Diskussion
- GrünStattGrau Netzwerktreffen am 24.01.2019; Projektvorstellung und Diskussion
- Sarajevo, 6.12.2018 an der Burch International University und 7.12.2018 Vortrag bei der SIPPO/EPM Veranstaltung (Wirtschaftskammer BiH), Projektvorstellung und Diskussion
- Bauwerksbegrünung 2.0 (Stadt Wien) am 30.11.2018, Projektvorstellung und Diskussion
- BUGG- Innenraumbegrünungssymposium Stuttgart am 16.10.2018, Projektvorstellung und Diskussion
- Lange Nacht der Forschung in NÖ/DUK Krems 13.4.2018, Projektvorstellung

#### 4.6.4 Allgemeine Öffentlichkeit

- Shenja von Mannstein: Mehr Bäume, weniger Asphalt, OE1-Moment Radiointerview von David Tudiwer und Azra Korjenic (TU), Erstveröffentlichung 09.07.2019 15:30 Uhr, <https://oe1.orf.at/programm/20190709/559243/Mehr-Baeume-weniger-Asphalt>
- Ausstrahlung Film Gastbeitrag „Zimmergarten Gartenkult“ April 2018 <https://www.youtube.com/watch?v=-mgrHxOXb0o&feature=youtu.be>
- Grüne Schulen in Wien „Forschungsprojekte der TU zur Verbesserung der Aufenthaltsqualität“ Magazin Innenstadt; Thema Grüne Architektur 0219
- Garten + Landschaft „Ist urbanes Grün der neue Luxus?“; Stadtwachstum Alternatives Stadtgrün 2018
- Knoll, Bente; Hofleitner, Birgit; Korjenic, Azra; Tudiwer, David; Dopheide, Ralf; Fischer, Tatjana; Fichtenbauer, Lisa; Hollands, Jutta: Projektwebseite GRÜNEzukunftSCHULEN. Online verfügbar unter <http://www.grueneschulen.at/>
- Lange Nacht der Forschung in NÖ/DUK Krems 13. April 2018

- 14.11.2017 Grün Plus Schule<sup>2</sup> - Das begrünte Klassenzimmer – Gründe Bildungswerkstatt Wien – Führung durch den Schuhmeierplatz
- 25.04.2019 Töchertag der BIG am Schuhmeierplatz
- 10.10.2017 – SMARTwas? Beitrag auf Facebook <https://de-de.facebook.com/smartwaslenaundmarkus/>
- Wien bleibt cool. Bestes Klima auch im Sommer (2019). In: STADTleben Wien, S. 6–7.

#### VIDEOS VON SCHULINTERNEM KLIMAPROJEKT

- Teil 1: Make the school cool again ([https://www.youtube.com/watch?v=5ov\\_O8-mxc4](https://www.youtube.com/watch?v=5ov_O8-mxc4))
- Teil 2: Umsetzung unseres Projektes cooling the city <https://www.youtube.com/watch?v=WRZDswr3E88>)

#### 4.6.5 Zusätzliche Führungen durch die Schule

- 14.09.2019 Open House Wien (<https://openhouse-wien.at/de/brg16schuhmerierplatz.html>)
- 07.12.2019 Tag der offenen Tür Diefenbachgasse
- 27.06.2018 Sommerfest Schuhmeierplatz
- 17.11.2017 Tag der offenen Tür Schuhmeierplatz

### B.6 Erreichung der Programmziele

## 5 Erreichung der Programmziele

Das Programm Smart City Demo zielt auf Umsetzungsprojekte in österreichischen Städten bzw. Regionen sowie Community Building und Vernetzung der beteiligten AkteurInnen ab. Es sollen umfassende, ganzheitliche Ansätze und Strategien demonstriert werden, die einen hohen Grad an Multiplizierbarkeit aufweisen. Genau das ist im vorliegenden Projekt passiert.

Umsetzungsprojekte mussten drei Programmzielen gerecht werden.

1. Stadt(region) wird als Testbed genutzt.

Das vorliegende Projekte erprobte, beobachtete, beforschte und evaluierte die Wirkung von vertikalen Begrünungen auf verschiedene Bereiche des Schulalltags. Als Testbed fungierten zwei Wiener Gymnasien, in denen die vertikalen Begrünungen entsprechend der dortigen baulichen Voraussetzungen angepasst und errichtet wurden.

2. Die Optimierung von Einzelsystem/-lösung muss erreicht werden, indem technische und soziale Systeme als Gesamtsystem betrachtet und durch Interaktion und Vernetzung einzelner Komponenten, Lösungen, Technologien etc. optimiert werden.

Es wurden sowohl technische als auch soziale Komponenten untersucht. Bei allen technischen Untersuchungen und Empfehlungen wurde die soziale Komponente stets mitberücksichtigt, da die Bedienbarkeit der zukünftigen Nutzerinnen und Nutzer wichtig für die nachhaltige Integration und Identifikation in den Schulalltag und den Unterricht ist. So wurde der Unterricht zu einzelnen Themen maßgeblich aufgewertet, da ein direkter Bezug zur grünen Wand hergestellt werden konnte (Maßnahmen zur Urban Heat Islands, gärtnerische Tätigkeiten, Bauphysik, etc.). Zudem wurden die Schulen während der

Projektlaufzeit in Arbeitsgruppen begleitet, um die Grünpflege und Wartung der Technik bedarfsorientiert auf die Schulkulturen abzustimmen.

3. Der Mehrwert gegenüber Einzelsystem/-lösung ist zu generieren, neue Konzepte sozialer Innovation sollen eingesetzt werden.

Im vorliegenden Projekt wurden neue Konzepte sozialer Innovation eingesetzt. Wie Vorerfahrungen verschiedener Projekte zeigen werden vertikale Begrünungen ohne entsprechende Einschulungen, Anpassungen an die Bedürfnisse und sozialer Begleitungen „nur als Dekoration“ angesehen. Allerdings sind Pflanzen lebende Baustoffe, die neben Nährstoffen, Licht und Wasser auch regelmäßige Grünpflege benötigen. Zusätzlich benötigen Schulen Konzepte für die Ferienzeiten, in denen nur wenige bis gar keine Personen in den Schulen anwesend sind. Um die Integration in die Schulkultur zu schaffen wurden in partizipativen Arbeitsgruppen nach maßgeschneiderten Grünpflege-Lösungen gesucht und diese gemeinsam entwickelt. Neben der täglichen Sichtkontrolle galt es die monatlich Grünpflege und Wartung sowie das Nachsetzen zu organisieren und auf verschiedenste Personen aufzuteilen.

Gebäudebegrünungen sowohl im Innen- als auch im Außenbereich wurden in zwei österreichischen Schulen (neugebaute Zubauten) errichtet und untersucht. Die Untersuchungen wurden mit den Voruntersuchungen einer dritten Schule (Altbau) verglichen. Außerdem wurde eine Schule im Planungsprozess begleitet und erstmals hinsichtlich Begrünung optimal von der Entwurfsphase an mitgeplant. Dieser Prozess ist auch für zukünftige Projekte von Relevanz, da in der Planungsphase Wasseran- und -abflüsse sowie die Stromversorgung von Beginn an, ohne große Umbaumaßnahmen, vorgesehen werden können.

Alle untersuchten Objekte befinden sich im urbanen Umfeld. Aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte besitzt das Stadtklima einen besonderen Stellenwert bei den Programmzielen. Das vorliegende Projekt zeigt multiplizierbare Möglichkeiten auf, welche die Behaglichkeit für die StadtnutzerInnen mit geringen Energieverbrauch deutlich erhöht. Es werden nachhaltige Lösungen untersucht, um den klimatischen Veränderungen und dem UHI Effekt entgegenzuwirken, ohne die globale Klimakrise zu verstärken. Zusätzlich arbeitete das Projekt viel mit Schülerinnen und Schülern, die als zukünftige Entscheidungsträgerinnen und -trägern fungieren.

Auch den stadtökologischen Funktionen von urbanen Freiräumen (mikro-klimatische Effekte, Wasserhaushalts- und Bodenschutzfunktionen etc.) kommt eine zunehmende Bedeutung zu. Gebäudebegrünung kann dem derzeitigen Trend der Verstädterung und sommerlichen Überhitzung entgegenwirken und die ökologischen Funktionen auf platzsparendem Raum auch im urbanen Raum wiederherstellen und stabilisieren. Einige Wirkungen der Pflanzen auf relevante Parameter wurden im vorliegenden Projekt untersucht. Die gewonnen Erkenntnisse können für zukünftige Projekte herangezogen werden um Städte, Stadtteile oder Gebäude resilienter zu planen und auf die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen besser anzupassen. Der gewählte Ausschreibungsschwerpunkt spricht die smarte Einbindung und Anreicherung der Funktionalitäten von Grün- und Freiräumen im Rahmen der Entwicklung eines smarten Stadtgebietes oder Quartiers an. Im vorliegenden Projekt wurden Funktionalitäten von Begrünung intensiv untersucht und Empfehlungen für die smarte Einbindung für ausgewählte Situationen ausgearbeitet.

Ausgeschrieben waren integrative und über den State of the Art hinausgehende Lösungen, die das Ziel der ökologisch und sozial nachhaltigen Grün- und Freiraumgestaltung mit (mindestens) einer der anderen ausgeschriebenen Handlungsfelder kombinieren. Das interdisziplinäre Konsortium hat sowohl technische, ökologische als auch soziale Aspekte der Grün- und Freiraumgestaltung an den Versuchsflächen untersucht und alle Ergebnisse und Erfahrungen in einem Leitfaden zusammengestellt. Dieser ist unter xx abrufbar und kann von allen Bildungseinrichtungen in Österreich angewendet werden.

Das Projekt fokussierte besonders auf die Nutzerinnen und Nutzer in der Schule. Ein Ziel des Projektes war es die Grünpflege nach Projektende in die Verantwortlichkeiten der Schule zu übergeben. Dazu wurde im Projekt ein intensiver sozialer Prozess gestartet, in dem auf die Nutzerinnen und Nutzer der Schule in erster Linie fokussiert wurde. Da Pflanzen lebende Baumaterialien sind und Pflege benötigen, ist es wichtig, dass die Pilotschulen sich dieser Verantwortung und dem Mehraufwand bewusst sind. In weiterer Folge wurden Arbeitsgruppen eingerichtet, in denen die Lehrpersonen begleitet wurden. Es wurden von Pflegeschritten bis zu den Möglichkeiten die grünen Wände in den Unterricht aktiv einzubinden durchgegangen und gemeinsam Schritt für Schritt erarbeitet. Als besonders hilfreich wurden von den Lehrpersonen die Workshops gesehen, in denen verschiedene Lehrinhalte mit den grünen Wänden verknüpft und die Pflege direkt mit den Schülerinnen und Schülern vorgenommen wurde. Durch Online-Befragungen erhielt das Projektteam Informationen über die Meinungen und das Wohlbefinden in den begrüneten Klassen von Lehrpersonen, Schülerinnen und Schülern sowie nicht lehrendem Personal. In zweiter Linie wurde das Schulumfeld, also Eltern, Bekannte, Bezirksvorstellungen, etc. eingeladen sich die vertikalen Schulbegrünungen anzusehen. Diese Einbindung ist wichtig, um einerseits Informationen über die Begrünungen und ihre Wirkungen weiterzugeben und andererseits den Weg für zukünftige Begrünungsmaßnahmen vorzubereiten. In dritter Linie sind die Ergebnisse des Projektes für andere Schulen, Schulbauträger und Verwaltungen von Relevanz, um weitere Schulen begrünen zu können. Zusätzlich wurden Gespräche mit Personen aus unterschiedlichen Organisationen geführt und aus den Interviewergebnissen die „Fragen & Antworten“ entwickelt, welches als Grundlage für Diskussionen dienen kann. Wie zahlreiche Anfragen von Bildungseinrichtungen zeigten, ist das Interesse an vertikalen Begrünungen in Schulen groß. Entsprechend ist auch das Umsetzungspotenzial mit den im Projekt gesammelten Ergebnissen, dem hier vorliegenden Bericht, einem Leitfaden, den Fragen & Antworten und den Unterrichtsmaterialien, viel Vorarbeit geleistet worden, die interessierten Schulen zugutekommen. Neben den hochtechnischen Systemen wurden auch „do it yourself“ (DIY) Varianten von Begrünungen ausprobiert und in den oben genannten Dokumenten beschrieben. Somit wurde im Projekt für viele Anwendungsbereiche und unterschiedliche finanzielle Grundlagen Begrünungsvarianten vorgeschlagen und diskutiert.

## **B.7 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen**

### **6 Schlussfolgerungen und Diskussion**

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich Innenraumbegrünung und Fassadenbegrünung in österreichischen Schulen umsetzen lässt, von den Schulen angenommen wird und einige Vorteile für die GebäudenutzerInnen bringt.

Außenraumbegrünung wurde messtechnisch und rechnerisch hinsichtlich der Auswirkungen auf thermische Dämmung untersucht. Es hat sich gezeigt, dass an ungedämmten Gebäuden Fassadenbegrünung die Dämmwirkung der Fassade verbessert. Die Wirkung kann durch starke Hinterlüftung der Fassadenkonstruktion verringert werden. Deshalb empfiehlt es sich, die Hinterlüftungsöffnungen möglichst klein zu halten. Je schlechter die thermische Qualität der Konstruktion ist, desto höher ist die erzielte Wirkung. Wärmebrücken durch Befestigungselemente können bei ungedämmten Fassaden normalerweise vernachlässigt werden. Bei gedämmten Schulgebäuden ist darauf zu achten, dass die Befestigungselemente thermisch entkoppelt sind und somit die Wärmebrücken möglichst reduziert werden. Während an ungedämmten Fassaden eine Verbesserung des U-Wertes von ca. 20 % gemessen werden konnte, ist bei gedämmten Schulgebäuden aufgrund der bereits hohen thermischen Qualität die Wirkung minimal. Im Winter bietet Fassadenbegrünung darüber hinaus einen Schutz vor Witterungseinflüssen wie Schlagregen, Schnee, Wind etc.

Fassadenbegrünung schützt, unabhängig vom Gebäudetyp die Konstruktion vor direkter solarer Strahlung im Sommer, dies bedeutet, dass sich die Konstruktion an Sommertagen nicht so stark aufheizt und infolge dessen weniger Wärme speichert. Auf die Oberflächentemperaturen im Innenraum gibt es kaum Auswirkungen. Im Vergleich zu herkömmlichen Fassaden ist die Albedo von begrünten Fassaden gering wodurch sich der angrenzende Straßenraum weniger aufheizt. Fassadenbegrünung stellt daher eine wirksame Maßnahme gegen den Urban Heat Island Effekt (UHI) dar.

Essentiell bei der Planung von Innenraumbegrünungen ist die Abstimmung der Begründungsdimension auf den zu begrünenden Raum. Die Untersuchungen lassen eine klare Empfehlung dazu ableiten: Bei der Dimensionierung von Innenraumbegrünungen müssen neben der Lüftungsart auch die Verdunstungsleistung der Pflanzen berücksichtigt werden. Pflanzenarten mit hoher Verdunstung sollten bevorzugt zur Anwendung gebracht werden. Die Umsetzung ist sowohl bei technischer als auch manueller Lüftung gut möglich. Bei der manuellen Lüftung muss jedoch auf ein richtiges Nutzungsverhalten geachtet werden. Die Begrünung von Räumen mit technischer, als auch mit manueller Lüftung ist möglich. Bei manueller Lüftung ist allerdings auf ein richtiges Lüftungsverhalten (8-10 Stoßlüftungen pro Tag) zu achten. Bei richtigem manuellem Lüftungsverhalten ist mit einer geringsten Dimensionierung der Begrünung (0,08 m<sup>2</sup> pro m<sup>2</sup> Klassenfläche) das Behaglichkeitsoptimum von 45 % relativer Luftfeuchtigkeit zu erreichen. Um eine möglichst hohe Verdunstung zu erzielen, sollten Arten wie Grünstilbe und Efeu verwendet werden.

Aus dem Projekt ist hervor gegangen, dass Innenraumbegrünung im Winter das hygrothermische Raumklima in allen untersuchten Schulen unabhängig von ihrer Bauweise verbessert. Die zu geringe Raumluftfeuchtigkeit kann durch die Begrünung erhöht werden. Diese steigert das Wohlbefinden und hat langfristig positive gesundheitliche Auswirkungen. Speziell in Räumen mit Lüftungsanlagen kann es zu besonders trockener Luft kommen, wodurch sich die Wirkung der Begrünung auf die Luftfeuchtigkeit besonders stark bemerkbar macht. Auch im Sommer führt die durch die Begrünung erhöhte Luftfeuchtigkeit nicht zu unbehaglichen Bedingungen bei richtiger Dimensionierung. Die Auswirkungen der Begrünung auf die Lufttemperatur im Sommer sind abhängig von der Bauweise und dem Vorhandensein einer Lüftungsanlage. Trotz der erhöhten Luftfeuchtigkeit ist bei regelmäßiger Wartung, unabhängig von der Bauweise keine erhöhte Schimmelsporenkonzentration durch Innenraumbegrünung gemessen worden.

In Schulgebäuden mit Lüftungsanlagen ist eine Temperaturreduktion in Abhängigkeit des Begrünungsvolumens nachweisbar. In Schulgebäuden ohne Lüftungsanlage ist die Temperaturreduktion sehr gering und aufgrund der gleichzeitig steigenden Luftfeuchtigkeit ist keine Steigerung der Behaglichkeitsbedingungen zu erreichen.

Innenraumbegrünung ist alleine keine wirksame Maßnahme gegen sommerliche Überwärmung.

Abgesehen von den hygrothermischen Auswirkungen ist bekannt, dass Pflanzen CO<sub>2</sub> aufnehmen und Sauerstoff abgeben. Eine geringe Reduktion der CO<sub>2</sub>-Konzentration durch die Innenraumbegrünung wurde messtechnisch nachgewiesen. Da die CO<sub>2</sub>-Konzentration in Schulklassen jedoch von vielen Faktoren abhängt, ist die durch Innenraumbegrünung erreichte Reduktion im Schulalltag nicht relevant und kann regelmäßiges Lüften nicht ersetzen.

Mit der GREENPASS Methode wurde anhand der Parameter Thermischer Abluftstrom, Thermischer Komfort, Thermische Speicherfähigkeit, Abflussbeiwert und CO<sub>2</sub>-Speicherung die unterschiedlichen Begrünungsszenarien (WC = Worst Case, MAX = Maximale Begrünung, Planung) der Neubauschule KLG Gänserndorf untersucht. Dabei wurde auf die Rahmensituation einer Schule, und somit auf die NutzerInnengruppe Kinder/Jugendliche bzw. SchülerInnen, Rücksicht genommen. Dafür wurde die PET (gefühlte Temperatur) speziell für diese Zielgruppe angepasst, zu relevanten und aussagekräftigen Zeitpunkten, ausgewertet. Unter Berücksichtigung der ausgewählten Parameter, kann eine für die NutzerInnen passgenaue Lösung identifiziert werden.

Hinsichtlich akustischer Parameter wird festgehalten, dass sich die Nachhallzeit in allen Frequenzbereichen durch Innenraumbegrünung unabhängig von der Bauweise reduziert, was zu einer höheren Sprachverständlichkeit im Klassenraum führt. Dies ist insbesondere für den Fremdsprachenunterricht wichtig. Ähnlich ist es mit der Feinstaubkonzentration. Pflanzen binden Staub. Eine geringe Reduktion der Feinstaubkonzentration bei allen Partikelgrößen durch die Innenraumbegrünung wurde messtechnisch nachgewiesen. Da die Staubkonzentration in Schulklassen jedoch von vielen Faktoren abhängt, ist die durch Innenraumbegrünung erreichte Reduktion im Schulalltag nicht relevant. Die Staubkonzentration im Innenraum ist stark von der Staubkonzentration in der Außenluft abhängig.

Das Begrünungssystem verhält sich wie ein hochwertiger poröser Absorber und bietet sich als Verbesserungsmaßnahme der Raumakustik an.

Die Ergebnisse des Vegetationsmonitorings sowie des Strom- und Wasserverbrauchs zeigen, dass für eine Anwendung im Innenraum ein Systemaufbau mit mineralischem Substrat, einer Beleuchtung mittels LED-Leiste und einer direkten Bewässerung ohne Tank zu empfehlen ist.

Dabei wurde die Pflanzenvitalität und der Deckungsgrad der Bepflanzung über den gesamten Versuchszeitraum beobachtet und daraus eine Pflanzenempfehlung abgeleitet. Parallel dazu wurde, wenn notwendig, der Aufwand für Nachpflanzungen beurteilt, sowie der Wasserverbrauch der beiden untersuchten Systeme erhoben. Das mineralische Substrat ist aufgrund der Bewertung dieser Parameter der Verwendung eines Geotexils vorzuziehen.

Bei den Beleuchtungsmitteln wurde der Stromverbrauch über den gesamten Versuchszeitraum erhoben, sowie die Lichtverteilung und die Lichtintensität gemessen. Die LED-Leiste schnitt bei zwei von drei untersuchten Parametern besser als der LED-Scheinwerfer ab. Es liegt somit eine homogene Lichtverteilung, bei gleichzeitig hoher Lichtintensität vor. Der LED-Scheinwerfer weist einen geringeren Stromverbrauch, als die LED-Leiste auf. Für die Beleuchtung von Innenraumbegrünungen ist daher die LED-Leiste zu empfehlen.

Auch die Bewässerung wurde über den gesamten Versuchszeitraum gemonitort. Beurteilt wurden die Parameter Wasserverbrauch, Keimbelastung, Anschaffungskosten, Wartungsintensität und Platzbedarf. Verglichen wurden Systeme mit und ohne Tanklösung. Die Ergebnisse zeigen klar, dass Innenraumbegrünungen ohne Tanklösungen zu bevorzugen sind.

Die Grünpflege, Wartung und Instandhaltung von Vertikalbegrünungen in Schulen ist bei einer leichten Zugänglichkeit der Begrünung, einer Reduzierung der Steuerungs- und Regelungstechnik auf das notwendige Maß und einer robusten Pflanzenauswahl auch von der Schulgemeinschaft und insbesondere gemeinsam mit Schülerinnen und Schülern möglich durchzuführen. Eine fachgerechte Grünpflege kann an Schulen unter Einbindung von beispielsweise Lehrkörpern und Schulwarten organisiert werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang ein regelmäßiger Inspektionsblick: Sind die Pflanzen vital? Ist das Substrat oder das Vlies leicht feucht? Sichtkontrolle der Bewässerungsanlage etc.

Aus Sicht der Grünpflege sind Grünsysteme basierend auf einem mineralischen Substrat mit einem gewissen Wasser- und Nährstoffspeichervermögen zu bevorzugen. Diese Systeme finden in der Regel mit 2 bis 3 Bewässerungsdurchläufen pro Woche das Auslangen, wodurch ein nicht sofort bemerkter Ausfall der Bewässerungsanlage und auch klimatische Einflüsse kaum ins Gewicht fallen.

Mit dem Fokus auf Wartung und Instandhaltung von Grünsystemen ist ebenfalls Systemen mit mineralischen Substraten der Vorzug zu geben. In Kombination mit automatischen Bewässerungssystemen, die über einen direkten Wasserzu- und Wasserablauf verfügen, d. h. ohne zwischengeschaltete Tanks und zusätzliche Wasserpumpen auskommen, in der Regel einen erhöhten Wartungsaufwand nach sich ziehen und insgesamt störungsanfälliger sein können.

Die Untersuchung sozialer Wirkungen von grünen Wänden im schulbezogenen Innen- und Außenraum im Rahmen von drei Online-Befragungen zu drei Zielgruppen geben Anlass befürwortende Argumente für (mehr) grüne Wände in Schulen zu formulieren. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die installierten Grünwände einem positiven Zuspruch hinsichtlich des Wohlbefindens in den beteiligten Schulen begegnen. Mit Erfahrungswerten der grünen Wände stehen vorformulierte Aussagen wie auch Wirkungen in einem deutlich positiven Zusammenhang. Von einem verbesserten Lernerfolg als Wirkung der grünen Wände in den Klassenräumen können die Schülerinnen, Schüler, Lehrkräfte und nicht lehrendes Personal nicht berichten. Die Beteiligung der teilnehmenden Personen bei der Pflege und Wartung der vertikalen Begrünungen fällt gering aus, wobei die Bereitschaft zur zukünftigen Mitarbeit für die notwendigen Schritte durchaus weiterhin gegeben ist. Der durchwegs positive Zuspruch und Zufriedenheit mit den installierten Grünwänden manifestierten sich im Wunsch nach mehr grünen Wänden sowohl in der Schule als auch in der Stadt, wobei auch diesbezüglich skeptische Stimmen wiederzufinden sind.

Im Rahmen des Projekts sind umfangreiche zusätzliche Berichte und Dokumentationen entstanden, die der interessierten Fachöffentlichkeit zur Verfügung stehen. Diese finden sich im Anhang dieses Berichts mit entsprechender Verlinkung.

## **B.8 Ausblick und Empfehlungen**

### **7 Ausblick und Empfehlungen**

Aufbauend auf den unter Abschnitt 6 zusammengefassten Schlussfolgerungen und Erkenntnissen kann bzgl. der bauphysikalischen Auswirkungen und der damit verbundenen notwendigen baulichen Ausführung für vertikale Begrünungen im Außenraum die Empfehlung formuliert werden, dass die Befestigungspunkte bei gedämmten Fassaden in ihrer Anzahl und Ausführung möglichst wärmebrückenminimierend realisiert werden sollten und außerdem die Öffnungen der Hinterlüftung möglichst klein zu halten, um eine wärmedämmende Wirkung zu erzielen.

Auch für die Auswahl von Innenraumbegrünungen können Empfehlungen formuliert werden. Nachfolgende Tabelle (Tabelle 38) gibt eine Übersicht zur Eignung der verwendeten Systeme (Aluminiumtrogsystem und Vliestaschensystem) in Hinblick auf die untersuchten Parameter Vegetationsträger, Beleuchtungsmittel und Bewässerung.

Tabelle 38: Empfehlungen und Eignung der untersuchten Systeme für den Innenraum, anhand unterschiedlicher Kriterien

BEWERTUNG DER SYSTEME FÜR DEN INNENRAUM						
	Vegetationsträger		Beleuchtungsmittel		Bewässerung	
	<i>Mineralisches Substrat</i>	<i>Geotextil</i>	<i>LED-Scheinwerfer</i>	<i>LED-Leiste</i>	<i>Mit Tanklösung</i>	<i>Ohne Tanklösung</i>
Kriterien	hohe Pflanzenvitalität	geringe Pflanzenvitalität	geringer Stromverbrauch	hoher Stromverbrauch	geringer Wasserverbrauch	hoher Wasserverbrauch
	hoher Deckungsgrad	geringer Deckungsgrad			Gefahr einer Keimbelastung	keine Keimbelastung
	viele Pflanzen geeignet	wenige Pflanzen geeignet	inhomogene Lichtverteilung	homogene Lichtverteilung	hohe Anschaffungskosten	geringe Anschaffungskosten
	Nachpflanzungen unaufwändig	Nachpflanzungen aufwändig			hohe Wartungsintensität	geringe Wartungsintensität
	geringer Wasserverbrauch	hoher Wasserverbrauch	geringe Lichtintensität	hohe Lichtintensität	hoher Platzbedarf	geringer Platzbedarf
	Resilienz hoch	Resilienz gering				
Eignung	sehr gute Eignung	keine Eignung	mäßige Eignung	gute Eignung	mäßige Eignung	gute Eignung
Empfehlung	Für die Anwendung im Innenraum ist ein Systemaufbau mit mineralischem Substrat, einer Beleuchtung mittels LED-Leiste und einer direkten Bewässerung ohne Tank zu empfehlen.					

Die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der Eignung der untersuchten Vegetationsträger, zeigen deutlich, dass das mineralische Substrat einem Geotextil vorzuziehen ist. In die Bewertung flossen die Parameter Pflanzenvitalität, Deckungsgrad, Pflanzeignung, Nachpflanzungsaufwand, Wasserverbrauch und Resilienz ein.

In Bezug auf die Wahl des Beleuchtungsmittels, wirkt sich der geringere Stromverbrauch des LED-Scheinwerfers positiv auf die Eignung aus. Sämtliche anderen Parameter, wie Lichtverteilung und Lichtintensität, sprechen allerdings für die Verwendung einer LED-Leiste.

Bei der Bewässerung spricht einzig der geringere Wasserverbrauch für eine Verwendung von Tanksystemen. Die Bewertung aller anderen Parameter (Keimbelastung, Anschaffungskosten, Wartungsintensität und Platzbedarf) führt zu einer Verwendung von Systemen ohne Tanklösungen.

**EMPFEHLUNG:** Für die Anwendung im Innenraum ist ein Systemaufbau mit mineralischem Substrat, einer Beleuchtung mittels LED-Leiste und einer direkten Bewässerung ohne Tank zu empfehlen.

Bei Neu- oder Umbauten empfiehlt es sich Vertikalbegrünungen möglichst von Beginn an gleich mit einzuplanen. Dies ermöglicht die optimale Einbeziehung der Steuerungs- und Regelungstechnik zur passgenauen Bewässerung und Beleuchtung der Begrünungen. Komplizierte, störungsanfällige und mit einem höheren Wartungsaufwand verbundene Einbauten zur Bewässerung, wie Tanks und Pumpen, können so vermieden werden.

Tabelle 39 und Tabelle 40 geben eine Übersicht zur Dimensionierung von Innenraumbegrünungen unter Berücksichtigung der Parameter technische Lüftung, manuelle Lüftung und Verdunstungsleistung der Pflanzenart.

Tabelle 39 Empfehlungen und Dimensionierung von Innenraumbegrünungen – Lüftung

	DIMENSIONIERUNG INNENRAUMBEGRÜNUNG			
	technische Lüftung		manuelle Lüftung	
	Umwälzung 1x pro Stunde	Umwälzung <1x pro Stunde	gutes Nutzerverhalten*	schlechtes Nutzerverhalten**
	45 % relative Luftfeuchtigkeit (Optimum Behaglichkeit)			
Dimensionierung Begrünung [m <sup>2</sup> ]	0,2***	0,1***	0,08***	Umsetzung problematisch

\* 8-10 Stoßlüftungen pro Tag - \*\* weniger als 8 Stoßlüftungen pro Tag - \*\*\* pro m<sup>2</sup> Klassenfläche

Tabelle 40: Empfehlungen und Dimensionierung von Innenraumbegrünungen – Pflanzenarten

DIMENSIONIERUNG INNENRAUMBEGRÜNUNG				
Verdunstungsleistung der Pflanzenarten				
Grünlilie	Drachenbaum	Efeutute	Bogenhanf	Schwertfarn
hohe Verdunstungsleistung angestrebt				
hohe Verdunstung	geringe Verdunstung	hohe Verdunstung	geringe Verdunstung	geringe Verdunstung
EMPFEHLUNG				
Bei der Dimensionierung von Innenraumbegrünungen müssen neben der Lüftungsart auch die Verdunstungsleistung der Pflanzen berücksichtigt werden. Pflanzenart mit hoher Verdunstung sollten bevorzugt zur Anwendung gebracht werden. Die Umsetzung ist sowohl bei technischer, als auch manueller Lüftung gut möglich. Bei der manuellen Lüftung muss jedoch auf ein richtiges Nutzungsverhalten geachtet werden.				

Die Begrünung von Räumen mit technischer, als auch mit manueller Lüftung ist möglich. Bei manueller Lüftung ist allerdings auf ein richtiges Lüftungsverhalten (8-10 Stoßlüftungen pro Tag) zu achten. Bei richtigem manuellen Lüftungsverhalten ist mit einer geringsten Dimensionierung der Begrünung (0,08 m<sup>2</sup> pro m<sup>2</sup> Klassenfläche) das Behaglichkeitsoptimum von 45 % relativer Luftfeuchtigkeit zu erreichen. Um eine möglichst hohe Verdunstung zu erzielen, sollten Arten wie Grünlilie und Efeutute verwendet werden.

**EMPFEHLUNG:** Bei der Dimensionierung von Innenraumbegrünungen müssen neben der Lüftungsart auch die Verdunstungsleistung der Pflanzen berücksichtigt werden. Pflanzenart mit hoher Verdunstung sollten bevorzugt zur Anwendung gebracht werden. Die Umsetzung ist sowohl bei technischer, als auch manueller Lüftung gut möglich. Bei der manuellen Lüftung muss jedoch auf ein richtiges Nutzungsverhalten geachtet werden.

Essentiell bei der Planung von Innenraumbegrünungen ist die Abstimmung der Begründungsdimension auf den zu begrünenden Raum. Die Untersuchungen lassen eine klare Empfehlung dazu ableiten: Bei der Dimensionierung von Innenraumbegrünungen müssen neben der Lüftungsart auch die Verdunstungsleistung der Pflanzen berücksichtigt werden. Pflanzenart mit hoher Verdunstung sollten bevorzugt zur Anwendung gebracht werden. Die Umsetzung ist sowohl bei technischer, als auch manueller Lüftung gut möglich. Bei der manuellen Lüftung muss jedoch auf ein richtiges Nutzungsverhalten geachtet werden.

Die Begrünung von Räumen mit technischer, als auch mit manueller Lüftung ist möglich. Bei manueller Lüftung ist allerdings auf ein richtiges Lüftungsverhalten (8-10 Stoßlüftungen pro Tag) zu achten. Bei richtigem manuellen Lüftungsverhalten ist mit einer geringsten Dimensionierung der Begrünung (0,08 m<sup>2</sup> pro m<sup>2</sup> Klassenfläche) das Behaglichkeitsoptimum von 45 % relativer Luftfeuchtigkeit zu erreichen. Um eine möglichst hohe Verdunstung zu erzielen, sollten Arten wie Grünstilbe und Efeu verwendet werden.

Die Evaluierungen anhand der GREENPASS-Methode in Form von ausgewählten Parametern zeigen:

**EMPFEHLUNG:** Unter Berücksichtigung der ausgewählten Parameter, kann eine für die NutzerInnen passgenaue Lösung identifiziert werden.

Zusammenfassend können basierend auf den Erfahrungen des Projekts GRÜNEzukunftSCHULEN folgende erste Schritte auf dem Weg zur Begrünung einer Schule aufgelistet werden:

- Abklären von Interesse im Schulteam: Ohne der Mithilfe mehrerer Kolleginnen und Kollegen, die die grüne Wand per Sicht kontrollieren, verwelkte Blätter zupfen und gegebenenfalls Pflanzen nachziehen und setzen, können die vertikalen Begrünungen nicht lange in der Schule existieren. Es handelt sich um lebende Pflanzen, die mit Wasser und Nährstoffen versorgt und gepflegt werden müssen.
- Überlegungen zum Ort und Art der Begrünung: technisches System oder selbstgebaute Begrünung? Verbunden mit der Auswahl der Begrünungsart sind die Kosten in der Herstellung und dem laufenden Betrieb.
- Gründung einer Arbeitsgruppe mit interessierten Lehrpersonen, mit denen gemeinsam die Planung sowie ein erstes Konzept für die Pflege und Implementierung in die Schulkultur erarbeitet werden kann.
- Bei fix im Gebäude installierten Begrünungsversionen Kontaktaufnahme zum Eigentümer des Gebäudes und Absprache bzgl. des Baus einer grünen Wand.
- Bei Entscheidung für die Installation eines technischen Systems: Kontaktaufnahme zu Expertinnen und Experten und Beratung bezüglich der passenden Ausführung. Auch eventuell bei Planung von do it yourself Varianten Heranziehen von Expertinnen und Experten zur Überprüfung erster Entwürfe und Pläne. Wichtig sind in diesem Schritt die Befestigung (Schutz vor Kippen, nicht bekletterbare Ausführung), die Bewässerung (Frage der Aufteilung der Grünpflege), richtige Wahl von Substraten und Pflanzen sowie die Beleuchtung.
- Erstellen einer Kostenabschätzung anhand der ersten Konzepte und Pläne und Suchen nach passenden Finanzierungsmöglichkeiten. Vorbereitung kleinerer Einreichungen und Ansuchen um Unterstützungen des Elternvereins.

- Sobald die Finanzierung geregelt ist: Ausarbeitung der Grünpflege und Wartung mit der Arbeitsgruppe im Detail. Berücksichtigung der Ferienzeiten und das laufende Anwerben neuer Kolleginnen und Kollegen, um das Fortbestehen der Arbeitsgruppe und das Aufteilen zu garantieren. Einbinden der Schulwartinnen und -warte. Die Handbücher (verfügbar unter <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/pflegeundwartung/>) enthalten Pflegekonzepte sowie die einzelnen Grünpflegeschritte der beiden Pilotschulen.
- Die errichtete grüne Wand ist nicht nur Dekoration. Deswegen macht es Sinn die Begrünungen in verschiedenen Fächer für praktische Übungen einzubinden. Bereitstellen von Unterrichtsmaterialien für die Lehrpersonen (siehe <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/unterrichtsmaterialien-gruenewaende/>), um erste Ideen und Anknüpfungspunkte für die Integration der grünen Wände zu schaffen.
- Regelmäßiges Treffen der Arbeitsgruppe und Austausch über die Pflege. Vorziehen von Pflanzenstecklingen im Biologieunterricht zum Nachsetzen bei kleinen Ausfällen. Übertragen der Sichtkontrollen und Grünpflegetätigkeiten an die Schülerinnen und Schüler in den jeweiligen Unterrichtsstunden

Anknüpfend an dieses Projekt GRÜNEzukunftSCHULEN startete im März 2020 das Projekt „MehrGrüneSchulen“, welches ebenso aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert wird. Das Projekt baut auf den gewonnenen Erkenntnissen auf und greift die finanzielle Umsetzbarkeit für Schulen in ganz Österreich auf. Im einen durch die Optimierung bestehender Begrünungssysteme für die Anwendung in und an Schulen sowie zu anderen durch die Entwicklung von Low Cost Begrünungen für den Innen- und Außenraum, die in den Schulen selbst umgesetzt werden können. Für diese Maßnahmen für grüne Infrastruktur an Schulen werden die Lebenszykluskosten erhoben sowie die Verantwortlichen und EntscheidungsträgerInnen für zukünftige Umsetzungen grüner Infrastruktur an Schulen identifiziert. Dies dient in einem weiteren Schritt dann als Basis für Finanzierungsmodelle für unterschiedliche Schultypen, Schulstandorte und Schulerhalter in ganz Österreich. Alle Projektentwicklungen werden ebenso auf der Website [www.grueneschulen.at](http://www.grueneschulen.at) laufend veröffentlicht.

## C. Literaturverzeichnis

- [1] A. Korjenic u. a., „GrünPlusSchule@Ballungszentrum Hocheffiziente Fassaden- und Dachbegrünung mit Photovoltaik Kombination; optimale Lösung für die Energieeffizienz in gesamtökologischer Betrachtung“, Endbericht, Stadt der Zukunft, FFG/BMVIT, Wien, 2018.
- [2] „Leitwerte für Kohlenmonoxid (2013)“, S. 2013, 2013.
- [3] Ö. Normungsinstitut, *ÖNORM L 1133, Ausgabe 2017-03-01: Innenraumbegrünung: Planung, Ausführung und Pflege*. Wien, 2017.
- [4] C. Volm, *Innenraumbegrünung in Theorie und Praxis*. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2002.
- [5] F. L. K. e. V. FLL, *Innenraumbegrünungsrichtlinien (2011): Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenraumbegrünungen*. Bonn, 2011.
- [6] A. Korjenic u. a., „Ein Maßnahmenkatalog für die Begrünung von Schulen im Altbau“, Wien, 2018.
- [7] J. Hollands, A. Korjenic, und D. Tudiwer, „Diplomarbeit Entwicklung eines Modells zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und energetischen Auswirkungen fassadengebundener Begrünungssysteme“, *TU Wien*, 2017.
- [8] D. Tudiwer und A. Korjenic, „The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade“, *Energy Build.*, Bd. 135, S. 10–19, 2017.
- [9] D. Tudiwer und A. Korjenic, „International Journal of Earth & Environmental Sciences The Effect of Living Wall Systems on the Heat Resistance Value of the Fa ç ade“, Bd. 2, 2017.
- [10] A. Korjenic, „Wärmedämmende Wirkung von Grünfassaden“, in *Stadtgrünesprache, MA22 Wien*, 2016.
- [11] K. Perini, M. Ottelé, A. L. A. Fraaij, E. M. Haas, und R. Raiteri, „Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope“, *Build. Environ.*, Bd. 46, Nr. 11, S. 2287–2294, 2011.
- [12] DIN EN ISO 6946; Autor: DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) ©, *Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren; DIN EN ISO 6946*. Deutschland, 2018.
- [13] I. Susorova, M. Angulo, P. Bahrami, und B. Stephens, „A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance“, *Build. Environ. ISSN 0360-1323*, Bd. 67, S. 1–13, 2013.
- [14] J. A. Oosterlee, „Green walls and building energy consumption“, *Eindhoven Univ. Technol.*, 2013.
- [15] Austrian Standards Institute/, Ö. N. (ON), und 1020 Wien Heinestraße 38, *Wärmeschutz im Hochbau — Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte*. Wien, Austria, 2013.
- [16] Ö. Normungsinstitut, *Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen*. Austria, 2001.
- [17] N. M. (NMP) im DIN, L. und S. (NALS) im D. I. N. und V. D. I. N. B. (NABau) im D. I. N. Normenausschuss Akustik, und ©, „DIN EN ISO 3382-3:2012-05 Nationales“, 2012.
- [18] Ö. Normungsinstitut, „ÖNORM B 8110-3:2012 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung“. 2012.
- [19] H. Huang, S. Kato, und R. Hu, „Optimum design for indoor humidity by coupling Genetic Algorithm with transient simulation based on Contribution Ratio of Indoor Humidity and Climate analysis“, *Energy Build.*, Bd. 47, S. 208–216, 2012.
- [20] B. W. OLESEN, „Thermische Behaglichkeit“, *Tech. Rev.*, Nr. 2, S. 30ff, 1982.
- [21] P. O. Fanger, „Thermal comfort – analysis and applications in environmental engineering“, *Danish Tech. Press*.

*Copenhagen, 1970.*

- [22] W. Richter, *Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb*. 2007.
- [23] A. Dentel und U. Dietrich, „Thermische Behaglichkeit - Komfort in Gebäuden“, *Rom-Umwelt-Stiftung.De*, S. 1–37, 2013.
- [24] A. Mair, I. Fakult, und G. D. Beurteiler, „Messung und Auswertung zur Behaglichkeit insbesondere im Sommerfall am Beispiel der Höttinger Hauptschule“, 2012.
- [25] A. Holm, H. M. Kuenzel, und K. Sedlbauer, „the Hygrothermal Behaviour of Rooms : Combining Thermal Building Simulation and Hygrothermal Envelope Calculation“, *Build. Simul.*, S. 499–506, 2003.
- [26] DIN EN ISO 7730:2006-03, „Ergonomie der thermischen Umgebung. Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit“.
- [27] S. Beranova, L. Feifer, M. W. Elkjær, M. K. Rasmussen, U. Bang, und J. Christoffersen, „Healthy Home Barometer – a survey among European citizens“, S. 1283–1287, 2016.
- [28] N. Langner und M. Illner, „Thermische Behaglichkeit nach DIN EN ISO 7730 - Ein Ansatz zur vereinfachten Datenaufnahme und Berechnung für die Bewertung von Bürogebäuden“, Bd. 37, 2015.
- [29] W. Frank, „Raumklima und Thermische Behaglichkeit“, *Berichte aus der Bauforsch.*, Bd. 104, 1975.
- [30] DIN ISO 16000-18, *Innenraumluftverunreinigungen – Teil 18: Nachweis und Zählung von Schimmelpilzen – Probenahme durch Impaktion*. Germany, 2012.
- [31] O. Weiss, B. Scharf, und U. Pitha, „Evapotranspiration of Technical Substrates – Methodology for Calculating Evapotranspiration of Technical Substrates“, *J. Ecol. Eng.*, Bd. 20, Nr. 9, S. 28–37, 2019.
- [32] Austrian Standards, *ÖNORM 2606-1: Sportplatzbeläge - Teil 1: Naturrasen*. Austria, 2009, S. 24.
- [33] FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., *FLL - Fassadenbegrünungsrichtlinien*. Bonn, 2018.
- [34] H. Tresp, *Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 2005.
- [35] H. Dierschke, *Pflanzensoziologie/ Grundlagen und Methoden*. Stuttgart: Ulmer Verlag, 1994.
- [36] M. Thelen-Germann, „Entwicklung eines Bewertungsschemas zur Beurteilung krautiger Pflanzen bei vegetationstechnischen Aufnahmen“, Universität für Bodenkultur Wien, 2015.
- [37] S. Längert, „Untersuchung vegetationstechnischer und geotechnischer Parameter zur Optimierung der Schotterrasenbauweise“, Universität für Bodenkultur Wien, 2004.
- [38] G. Michael, H. Rebecca, und K. Andrea, „Einfluss künstlicher Lichtquellen auf das Wachstum , Vitalität , Nitratgehalt und Vermehrungsrate ex und in vitro kultivierter Pflanzen .“, Universität für Bodenkultur Wien, 2018.
- [39] W. Energie, „Stromverbrauch“, 2019. .
- [40] A. Diekmann, *Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendungen*, 19. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch Verlag, 2008.
- [41] S. Lamnek, *Qualitative Sozialforschung.*, 5. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz, PVU, 2010.
- [42] UdK Berlin, „Absorptionsgrad größer 1 - Blatt 1“, S. 5301669, 2005.
- [43] T. Van Renterghem und D. Botteldooren, „Numerical evaluation of sound propagating over green roofs“, *J. Sound Vib.*, Bd. 317, Nr. 3–5, S. 781–799, 2008.

- [44] H. Behrendt, W. Bischof, M. Excner, B. Heinzow, und O. Herbarth, „Leitfaden zur Ursachensuche und Sanierung bei Schimmelpilzwachstum in Innenräumen“, *Umweltbundesamt Dessau*, 2005.
- [45] Pluggit GmbH, „CO2 - der wichtigste Indikator für die Luftqualität“, 2011. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pluggit.com/portal/de/co2-der-wichtigste-indikator-fuer-dieluftqualitaet-154>. [Zugegriffen: 02-März-2020].
- [46] EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG, *DIN 1946-2 (1994-01) Raumlufthqualität, Gesundheitliche Anforderungen*. Berlin: Beuth. Deutschland, 1994.
- [47] G. Buonanno, F. C. Fuoco, L. Morawska, und L. Stabile, „Airborne particle concentrations at schools measured at different spatial scales“, *Atmos. Environ.*, Bd. 67, Nr. 38, S. 38–45, 2013.
- [48] T. B. J. W. T. L. M.A.-M. Nilsson, „PM2.5, soot and NO2 indoor-outdoor relationships at homes, pre-schools and schools in Stockholm, Sweden“, *Atmos. Environ.*, Bd. 44, Nr. 36, S. 4536–4544, 2010.
- [49] I. Rivas u. a., „Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain“, *Environ. Int.*, Bd. 69, Nr. 200, S. 200–212, 2014.
- [50] M. Stranger, S. S. Potgieter-Vermaak, und R. Van Grieken, „Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium“, *Environ. Int.*, Bd. 33, Nr. 6, S. 789–797, 2007.
- [51] Österreichische Bundesregierung, *Verordnung des Bundesministeriums für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch*. Österreich, 2020.
- [52] M. Stelzel, „MIKROBIOLOGISCHE QUALITÄTSKONTROLLE VON TRINKWASSER. VERGLEICH EINER ALTERNATIVMETHODE ZUR BESTIMMUNG VON ESCHERICHIA COLI UND COLIFORMEN MIT DER HERKÖMMLICHEN UNTERSUCHUNGSTECHNIK“, Universität für Bodenkultur Wien, 2010.
- [53] E. Oberzaucher, „Eine Stadt zum Wohlfühlen. Was die Evolution uns lehrt.“, in *Renaissance für Stadt und Region*, Saarbrücken: Bernhard Strube, 2005, S. 21–27.
- [54] F. E. Kuo, M. Bacaicoa, und W. C. Sullivan, „Transforming Inner-City Landscapes. Trees, Sense of Safety, and Preference“, *Environ. Behav.*, Bd. 30, S. 28–59, 1998.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die untersuchten Schulgebäude und ihre Bezeichnungen .....	10
Abbildung 2: Schematische Darstellung des Trogsystems [7].....	11
Abbildung 3: Links: Trogsystem im Innenraum im Biologieraum des BRG15 (Neubau mit Lüftungsanlage); Rechts: Trogsystem im Innenraum im Biologieraum des BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	12
Abbildung 4: Trogsystem im Außenraum an der Fassade des BRG16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	12
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Vliessystems [7] .....	13
Abbildung 6: Links: Vliessystem im Innenraum, BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) Rechts: Vliessystem im Innenraum, BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) .....	14
Abbildung 7: Schematische Darstellung des Kassettensystems [7] .....	15
Abbildung 8: Kassettensystem am BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) Links: kurz nach der Bepflanzung im Sommer 2017; Rechts: 2 Jahre nach der Bepflanzung (Sommer 2019) .....	15
Abbildung 9: Bau der grünen Selbstbauwand mit einer Klasse (links); Entwurf der Pergola (rechts) .....	16
Abbildung 10: Pergola auf dem Dach des BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) konzipiert als Freiluftklasse .....	16
Abbildung 11: Grüne Selbstbauwände in einem Klassenraum .....	17
Abbildung 12: Pflanzplan des Biologiesaals im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) .....	18
Abbildung 13: Pflanzplan der Wandbegrünung des Biologiesaals im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	19
Abbildung 14: Pflanzplan der Wandbegrünung des Innenhofs im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) .....	19
Abbildung 15: Pflanzplan der Wandbegrünung auf der Terrasse des BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) .....	20
Abbildung 16: Schematische Darstellung des Biologiesaals im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) .....	21
Abbildung 17: Begrünter Klassenraum im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) .....	22
Abbildung 18: Biologieraum BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) .....	23
Abbildung 19: Physik BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).....	24
Abbildung 20: ökologische Bewertung der Außenbegrünungssysteme [1] .....	29
Abbildung 21: Ökologische Bewertung der Innenbegrünungssysteme [1].....	29
Abbildung 22: Wärmebildkamera zur Aufnahme der thermographischen Bilder. ....	32
Abbildung 23: Links: Norsonic Nor140 Schallanalysator; Rechts: Drei Schallmessgeräte in einem begrüntem Klassenraum während einer Nachhallzeitmessung. ....	33
Abbildung 24: Die Messegeräte (links Lin Picco A05, Mitte: RTR 53 A, rechts: LineMetrics Wireless LM-W-F-TH-IP20-EU-3) .....	35
Abbildung 25: Diagramm nach W. Frank zur hygrothermischen Bewertung .....	36
Abbildung 26: Schimmelsporenmessungen in den Räumen des BRG 16.....	37
Abbildung 27: Schimmelsporenmessungen in den Räumen des BRG 15.....	38
Abbildung 28 Übersicht der Messstellen: A (TU Wien, Getreidemarkt 6), B (Privatwohnung, Rudolfsplatz 2), C (MA22 Messstation, Taborstraße), D (Schule, Schuhmeierplatz 7), E (MA22 Messstation, Kendlerstraße 40). ....	44
Abbildung 29 Foto der Referenzmesstelle Taborstraße mit entsprechendem Messgerät .....	46
Abbildung 30: Das Diagramm zeigt die U-Werte für alle untersuchten Szenarien, des begrüntem und nicht begrüntem Abschnittes der Fassade, mit und ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken an gedämmten und nicht gedämmten Fassaden.....	51
Abbildung 31: Das Diagramm zeigt die U-Werte für die untersuchten Schulgebäude mit gedämmten Fassaden. Es zeigt die U-Werte des begrüntem und des nicht begrüntem Abschnittes der Fassade, mit und ohne Berücksichtigung der Wärmebrücken. ....	51
Abbildung 32: BRG16 (gedämmter Neubau), ein nicht begrünter Fassadenabschnitt – Außenseite .....	52
Abbildung 33: BRG16 (gedämmter Neubau), ein begrünter Fassadenabschnitt – Außenseite.....	53
Abbildung 34: BRG16 (gedämmter Neubau), ein begrünter Fassadenabschnitt - Innenseite.....	53
Abbildung 35: BRG15 (gedämmter Neubau), ein begrünter Fassadenabschnitt – Links: Außenseite; Rechts: Innenseite .....	54
Abbildung 36: Aufnahmen von der Innenseite der Fassade auf die außen begrünzte Fassade. Links: Thermographie, Rechts: Foto. ....	55

Abbildung 37: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) im Biologieraum am 14.6.2017 als der Raum noch nicht begrünt war und am 27.10.2017 nach Installation der Begrünung.....	55
Abbildung 38: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) im Physikraum am 14.6.2017 als der Raum noch nicht begrünt war und am 27.10.2017 nach Installation der Begrünung.....	56
Abbildung 39: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) im Biologieraum am 14.6.2017 als der Raum noch nicht begrünt war und am 27.10.2017 nach Installation der Begrünung .....	56
Abbildung 40: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) im Klassenraum am 14.6.2017 als der Raum noch nicht begrünt war und am 11.7.2018 ca. 1 Jahr nach Installation der Begrünung.....	57
Abbildung 41: Nachhallzeit nach Frequenzen im BRG 16 im Außenbereich am 14.6.2017 als der Innenhof noch nicht begrünt war und am 11.7.2018 ca. 1 Jahr nach Installation der Begrünung .....	57
Abbildung 42: Schallabsorptionsgrade der untersuchten Begrünungssysteme im Innenraum.....	58
Abbildung 43 Auswertungen GRG 7 (Altbau) (Jän. –Mär., Okt.- Dez. 2018 und Jän. –Mär. 2019) .....	59
Abbildung 44: Auswertungen im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) (Jän. –Mär., Okt.- Dez. 2018 und Jän. –Mär. 2019) .....	59
Abbildung 45: Auswertungen im BRG 15 (Neubau ohne Lüftungsanlage) (Jän. –Mär., Okt.- Dez. 2018 und Jän. –Mär. 2019) .....	59
Abbildung 46: Messwerte in Prozent GRG 7 (Altbau) .....	59
Abbildung 47 Messwerte in Prozent BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	60
Abbildung 48: Messwerte in Prozent BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).....	60
Abbildung 49 Auswertung im GRG (Altbau) (01.04-30.09.2018) .....	61
Abbildung 50: Auswertung im BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) (01.04-30.09.2018).....	61
Abbildung 51: Auswertung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) (01.04-30.09.2018).....	61
Abbildung 52: Messwerte in Prozent GRG 7 (Altbau) .....	62
Abbildung 53: Messwerte in Prozent BRG 16(Neubau ohne Lüftungsanlage).....	62
Abbildung 54: Messwerte in Prozent BRG 15(Neubau mit Lüftungsanlage) .....	62
Abbildung 55: Die Häufigkeit der CO <sub>2</sub> -Konzentration in den untersuchten Räumen, im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).....	66
Abbildung 56: Die Häufigkeit der CO <sub>2</sub> -Konzentration in den untersuchten Räumen, im BRG 16 (Neubau mit Lüftungsanlage).....	67
Abbildung 57: Die Häufigkeit der CO <sub>2</sub> -Konzentration im begrünzten Klassenraum, im GRG 7 (Altbau) in der mittels Vliessystem begrünzten Klasse.....	67
Abbildung 58: Simulationsmodell - GZS KLG Planung .....	68
Abbildung 59: Simulationsmodell - GZS KLG Planung WC .....	68
Abbildung 60: Simulationsmodell - GZS KLG Planung MAX .....	69
Abbildung 61: Simulationsmodell - GZS KLG SQ .....	69
Abbildung 62: Vergleich Thermischer Abluftstrom.....	70
Abbildung 63: Vergleich Thermischer Komfort Wert.....	70
Abbildung 64: Vergleich Thermische Speicherfähigkeit.....	70
Abbildung 65: Vergleich Abflussbeiwert .....	70
Abbildung 66: Vergleich CO <sub>2</sub> Speicherung.....	70
Abbildung 67: Gewichtsverlust von Chlorophytum comosum nach 92 Stunden in Seramis bei einer Lufttemperatur von 22°C und variabler relativen Lufttemperatur.....	72
Abbildung 68 Die Auswirkungen der angewendeten Belüftungsstrategie auf die Partikelkonzentration in einem Klassenraum.....	73
Abbildung 69: Messung im Innenraum während Messperiode 2, 8.4. – 11.4.2019 .....	74
Abbildung 70: M17 Darstellung der erhöhten PM-Konzentration direkt nach Nutzung .....	75
Abbildung 71: PM <sub>10</sub> ; 24h Messung während Messperiode 2, 8.4. – 9.4.2019 .....	76
Abbildung 72: PM <sub>2,5</sub> ; 24h Messung während Messperiode 2, 8.4. – 9.4.2019 .....	76
Abbildung 73: PM <sub>1</sub> ; 24h Messung während Messperiode 2, 8.4. – 9.4.2019 .....	77
Abbildung 74: M1, Einfluss von Konzentration in Außenluft auf Innenluft .....	78
Abbildung 75: M3, Einfluss von Konzentration in Außenluft auf Innenluft .....	78

Abbildung 76: M15, Einfluss von Konzentration in Außenluft auf Innenluft .....	79
Abbildung 77: M11, Messung mit geschlossenem Fenster; 5. – 6.12.2018.....	80
Abbildung 78: M16, Messung mit geschlossenem Fenster, 14. – 17.12.2018.....	80
Abbildung 79: Größenverteilung der Partikel in Begrünter Klasse während Messperiode 1 in einem Zeitraum von einer Stunde. ....	81
Abbildung 80: Größenverteilung der Partikel in der Referenzklasse während Messperiode 1 in einem Zeitraum von einer Stunde. ....	82
Abbildung 81: M4 Verlauf der Feinstaub- und Rußpartikel-Konzentration bei simultaner .....	83
Abbildung 82: M18 Einfluss der Belüftung auf die Konzentration der Rußpartikel. AE33 entspricht der Referenzklasse und AE51 dem Schulhof. ....	84
Abbildung 83:Trogssystem inklusive Bepflanzung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) 01-2019. ....	85
Abbildung 84: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Trogsystems im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).....	86
Abbildung 85: Verlauf der Vitalität des Trogsystems im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).2018-2019. ....	87
Abbildung 86. Lichtverteilung LED-Scheinwerfer am Trogssystem im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).11-2019.....	88
Abbildung 87: Vliessystem inklusive Bepflanzung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).05-2019.....	90
Abbildung 88 Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Vliessystems im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).....	91
Abbildung 89: Verlauf der Vitalität des Trogsystems im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).2018-2019. ....	92
Abbildung 90: Lichtverteilung LED-Leiste am Vliessystem im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).11-2019. ....	93
Abbildung 91: Living Wall inklusive Bepflanzung im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).08-2019. ....	94
Abbildung 92: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] des Kassettensystems im Außenraum im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).....	95
Abbildung 93: Verlauf der Vitalität der Living Wall im Außenraum im BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage).2018-2019. ....	96
Abbildung 94: Trogssystem inklusive Bepflanzung am Schuhmeierplatz 05-2019.....	98
Abbildung 95: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Trogssystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	99
Abbildung 96: Verlauf der Vitalität des Trogsystems am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) 2018-2019. ....	100
Abbildung 97: Lichtverteilung LED-Scheinwerfer am Trogssystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) 11-2019. ....	101
Abbildung 98: Vliessystem inklusive Bepflanzung am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) 05-2019. ....	102
Abbildung 99: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Trogssystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	103
Abbildung 100: Verlauf der Vitalität des Vliessystems am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage)2018-2019. ....	104
Abbildung 101: Lichtverteilung LED-Leiste am Vliessystem am Schuhmeierplatz 11-2019.....	105
Abbildung 102: Trogssystem im Außenraum inklusive Bepflanzung am Schuhmeierplatz 08-2019.....	106
Abbildung 103: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads [%] am Trogssystem im Außenraum am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	107
Abbildung 104: Verlauf der Vitalität des Trogsystems im Außenraum am Schuhmeierplatz 2018-2019.....	108
Abbildung 105: Oft gestellte Frage zum Insektenaufkommen in grünen Wänden im Innenraum .....	115
Abbildung 106: Gelungene Integration des Themas Insekten in den Unterricht .....	118
Abbildung 107: Ausschnitt aus dem Video, welches die mit Topfpflanzen begrünte Klasse zeigt .....	119
Abbildung 108: Screenshot einer ausgearbeiteten Unterrichtseinheit .....	120
Abbildung 109: Verantwortungsmatrix BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage).....	121
Abbildung 110: Verantwortungsmatrix BRG 15 (Neubau mit Lüftungsanlage) .....	122

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick zu den untersuchten Räumen und Begrünungsmaßnahmen .....	25
Tabelle 2: Aufbau der im Projekt untersuchten Fassaden .....	31

Tabelle 3: Aufbau einer im Projekt rechnerisch untersuchten ungedämmten Fassade aus Hochlochziegeln .....	32
Tabelle 4: Aufbau einer im Projekt rechnerisch untersuchten ungedämmten Fassade aus Vollziegeln .....	32
Tabelle 5: Übersicht zu den unterschiedlichen Klimaszenarien, die zu Erstellung der Verdunstungsformel verwendet wurden .....	40
Tabelle 6: Übersicht über die untersuchten Räume .....	44
Tabelle 7: Übersicht über die Messungen während Messperiode 1 ohne anwesende Schüler .....	45
Tabelle 8: Übersicht über die Messungen mit anwesenden Schülern .....	45
Tabelle 9: Übersicht über die Räume die für die Kalibrations- und Angleichsmessungen gedient haben .....	46
Tabelle 10: L <sup>3D</sup> Werte des Kassettensystems für die unterschiedlichen Szenarien .....	49
Tabelle 11: L <sup>3D</sup> Werte des Trogsystems für die unterschiedlichen Szenarien .....	49
Tabelle 12: $\chi$ -Werte, die auf Basis der L <sup>3D</sup> Werte in Tabelle 10 und Tabelle 11 berechnet wurden .....	49
Tabelle 13: Berechnete $\Delta U$ -Werte für die unterschiedlichen Szenarien .....	50
Tabelle 14: Raumklimadaten und Sporenkonzentration im BRG 15 am 6. April 2018 zwischen 7:14 und 8:05 .....	63
Tabelle 15: Raumklimadaten und Sporenkonzentration im BRG 15 am 5. Februar 2019 zwischen 10:20 und 11:05 .....	63
Tabelle 16: Raumklimadaten und Sporenkonzentration im BRG 15 am 23. März 2018 zwischen 7:15 und 8:05 .....	64
Tabelle 17: Raumklimadaten und Sporenkonzentration im BRG 15 am 5. Februar 2019 zwischen 9:05 und 9:50 .....	64
Tabelle 18: Bewertungshilfe für kultivierbare Schimmelpilze, nach [44] .....	65
Tabelle 19: Übersicht zu der berechneten Pflanzenbasisfläche und die sich daraus ergebende offen/ unbedeckte Substratoberfläche .....	71
Tabelle 20 Übersicht über die Durchschnittswerte aller Messungen .....	73
Tabelle 21: Verhältnisse zwischen Innen/Außen-Luft (I/O), Biologieraum/Referenzklasse (B/R) und begrünter Raum/Referenzklasse (G/R) während der Messungen .....	77
Tabelle 22: Messungen der Rußkonzentrationen (B – Biologiesaal begrünt; G – begrünter Klassenraum; R -nicht begrünter Referenzraum; SH – Schulhof) .....	82
Tabelle 23: Übersicht über die berechneten Rußpartikel-Konzentrationsverhältnisse für Messperiode 1 .....	84
Tabelle 24: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads im Trogsystem .....	86
Tabelle 25: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten im Trogsystem .....	87
Tabelle 26: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads im Vliessystem .....	90
Tabelle 27: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten im Vliessystem .....	92
Tabelle 28: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads der Living Wall im Außenraum in der Diefenbachgasse. ....	94
Tabelle 29: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten des Kassettensystems im Außenraum .....	96
Tabelle 30: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads des Trogsystems am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) .....	98
Tabelle 31: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten im Trogsystem am BRG 16 (Neubau ohne Lüftungsanlage) .....	100
Tabelle 32: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads des Vliessystems am Schuhmeierplatz .....	102
Tabelle 33: Übersicht des Zuwachses der einzelnen Arten im Vliessystem am Schuhmeierplatz .....	104
Tabelle 34: Übersicht zur Entwicklung des Deckungsgrads des Trogsystems im Außenraum am Schuhmeierplatz. ....	106
Tabelle 35: Ergebnisse der Wasseruntersuchung des Trogsystems .....	111
Tabelle 36: Ergebnisse der Wasseruntersuchung des Vliessystems .....	112
Tabelle 37: Indikatorparameter für nicht desinfiziertes Wasser [51] .....	112
Tabelle 38: Empfehlungen und Eignung der untersuchten Systeme für den Innenraum, anhand unterschiedlicher Kriterien .....	132
Tabelle 39 Empfehlungen und Dimensionierung von Innenraumbegrünungen – Lüftung .....	133
Tabelle 40: Empfehlungen und Dimensionierung von Innenraumbegrünungen – Pflanzenarten .....	133

## D. Anhang

### *Leitfaden – Grüne Architektur im Schulbau*

Enthält grundlegende Informationen für alle interessierten Personen im schulischen Kontext sowie für Planerinnen und Planer; online unter: <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/leitfaden/>

### *Fragen & Antworten – Argumente rund um Grüne Schulen in Österreich*

Beantwortet Fragen rund um Begrünungen im Innenraum, an der Fassade und im Freiraum; online unter: <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/fragenundantworten/>

### *Unterrichtsmaterialien zu den grünen Wänden in Schulen*

Anregungen und ausgearbeitete Materialien, wie Pflanzen in verschiedene Unterrichtsfächer eingebunden werden können; online unter: <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/unterrichtsmaterialien-gruenewaende/>

### *Grundlagen zu Grünpflege & Wartung von Vertikalbegrünungen an Schulen*

umfassende und grundlegende Informationen zur Grünpflege der Pflanzen und Wartung der technischen Systeme; online unter: <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/pflegeundwartung/>

### *Grüne Selbstbauwand – Do-it-yourself Anleitung*

Anleitung zum Bau eines Grünwandregals; online unter: <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/bauanleitung-selbstbauwand/>

### *Soziale Wirkungen von Begrünungen an Schulen. Vergleichende Ergebnisse von drei Online-Befragungen*

Ergebnisse aus drei Befragungsdurchgängen mit Schülerinnen und Schülern, Lehrkräften und nicht lehrendem Personal; online unter: <https://smartcities.at/stadt-projekte/smart-cities/#gruenezukunftschulen> und <http://www.grueneschulen.at/soziale-wirkungen/>

## IMPRESSUM

### **VerfasserIn:**

TU Wien, Institut für  
Werkstofftechnologie, Bauphysik und  
Bauökologie, Forschungsbereich  
Ökologische Bautechnologien

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Azra  
Korjenic  
Karlsplatz 13/E207-03, 1040 Wien  
Telefon: +43 1 58801 - 207301  
E-Mail: [azra.korjenic@tuwien.ac.at](mailto:azra.korjenic@tuwien.ac.at)

### **Projekt- und Kooperationspartner**

B-NK GmbH Büro für nachhaltige  
Kompetenz (Wien)

Dipl.-Ing. Ralf Dopheide e.U. (Wien und  
Niederösterreich)

Universität für Bodenkultur Wien,  
Department für Bautechnik und  
Naturgefahren, Institut für  
Ingenieurbiologie und Landschaftsbau  
(Wien)

### **Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:**

Klima- und Energiefonds  
Gumpendorfer Straße 5/22  
1060 Wien  
office@klimafonds.gv.at  
www.klimafonds.gv.at

### **Disclaimer:**

Die AutorInnen tragen die alleinige  
Verantwortung für den Inhalt dieses  
Berichts. Er spiegelt nicht  
notwendigerweise die Meinung des  
Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht  
für die Weiternutzung der hier  
enthaltenen Informationen  
verantwortlich.

### **Gestaltung des Deckblattes:**

ZS communication + art GmbH