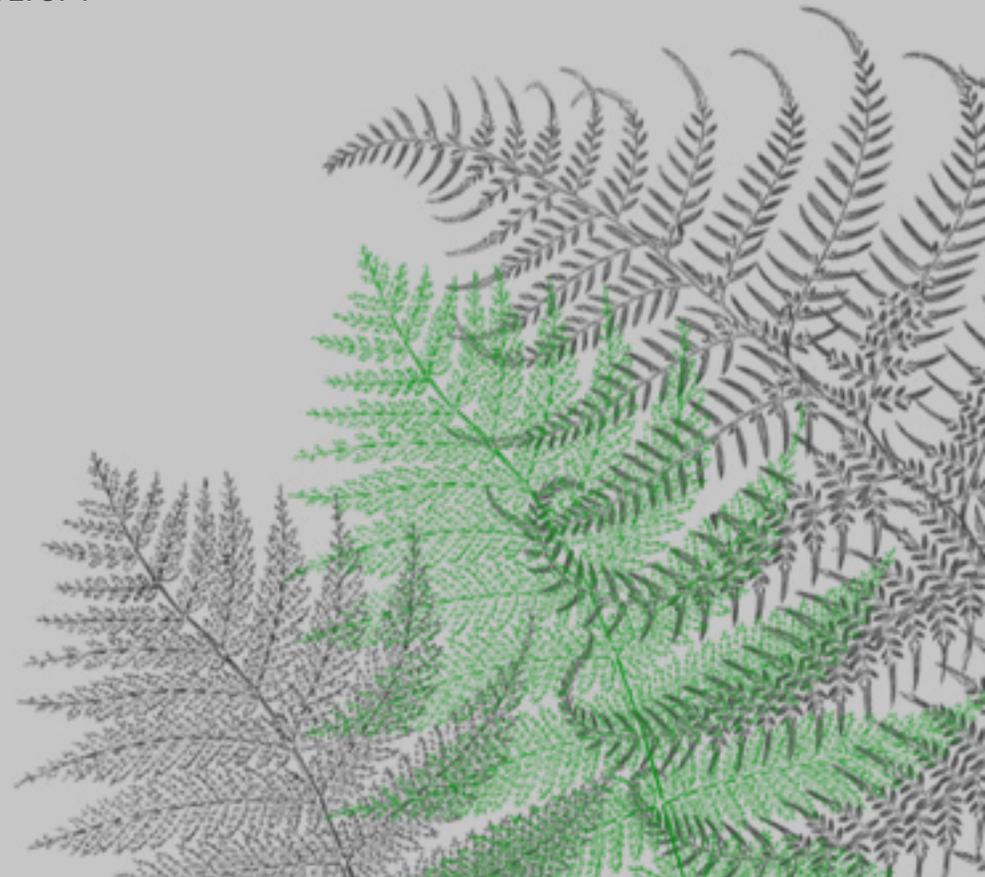


DIPLOMARBEIT

Begrünung in Innenräumen

Systementwurf und seine Auswirkungen auf Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit

von
Laurin Akantisz
0927374



Ich erkläre hiermit, dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, keine andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe, dass diese Diplomarbeit weder im In- noch Ausland (einem Beurteiler zur Beurteilung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt wurde, dass dieses Exemplar mit der beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Februar 2021

Laurin Akantisz



DIPLOMARBEIT

Begrünung in Innenräumen

Systementwurf und seine Auswirkungen auf Raumlufttemperatur und -feuchtigkeit

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen
Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Florian Teichmann

E207-03 Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie
Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von
Laurin Akantsiz
0927374

Wien, im Februar 2021

ABSTRACT

Humans spend about 80-90 % of their lives indoors. The improvement of the indoor climate and the associated increase in performance and well-being are therefore increasingly becoming the focus of science and research. Through indoor greening a natural control of the microclimate in common rooms can be enabled.

This thesis deals with interior greening in living areas. The main focus of the work is:

- the **analysis of influences** on the indoor climate and the hygrothermal comfort when implementing a test setup using a prototype for indoor greening. The worst-case ventilation behavior is assumed, i.e. that the user behavior does not provide for manual ventilation and there is also no automated mechanical ventilation. The analysis includes, among other things, the effects on humidity and temperature, which are recorded with over 100,000 data points over a period of 69 days (approx. one data point/min). With another prototype, the influence of interior greening on the subjective perception of working people is also considered.
- the **design of a system** for indoor greening with a focus on modular construction. With it an adaptive solution for a variety of different spatial conditions can be offered.

The content of this master thesis is part of a research project that also includes the work of my colleague's diploma thesis: "Indoor greening: system design and its effects on CO₂ concentration" by Marko Marisavljevic (1650760).

KURZFASSUNG

Der Mensch verbringt etwa 80-90 % seines Lebens in Innenräumen. Die Verbesserung des Raumklimas und die damit verbundene Steigerung der Leistungsfähigkeit und des Wohlbefindens rücken daher immer mehr in den Fokus von Wissenschaft und Forschung. Durch Begrünungen von Innenräumen kann eine natürliche Steuerung des Mikroklimas in Aufenthaltsräumen bewerkstelligt werden.

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit Innenraumbegrünung in Aufenthaltsbereichen. Im Vordergrund der Arbeit stehen insbesondere:

- die **Analyse von Einflüssen** auf das Raumklima und die hygrothermische Behaglichkeit bei Implementierung eines Testaufbaus mittels eines Prototypen zur Innenraumbegrünung. Dabei wird vom Worst-Case-Lüftungsverhalten ausgegangen, d.h. dass das Benutzerverhalten keine manuelle Lüftung vorsieht und auch keine automatisierte mechanische Lüftung gegeben ist. Die Analyse beinhaltet unter anderem die Auswirkungen auf Luftfeuchtigkeit und Temperatur, die mit über 100.000 Datenpunkten über einen Zeitraum von 69 Tagen (etwa ein Datenpunkt pro Minute) hinweg erfasst werden. Es werden mit einem weiteren Prototypen auch die Beeinflussung der subjektiven Wahrnehmung arbeitender Personen durch Innenraumbegrünung betrachtet.

- der **Entwurf eines Systems** zur Innenraumbegrünung mit dem Fokus auf modulare Bauweise. So kann eine adaptive Lösung für eine Vielzahl an verschiedenen räumlichen Gegebenheiten angeboten werden.

Der Inhalt dieser Diplomarbeit ist Teil eines Forschungsprojekts, zu dem auch die Diplomarbeit meines Kollegen gehört: „Innenraumbegrünung: Systemdesign und seine Auswirkungen auf die CO₂ Konzentration“ von Marko Marisavljevic (Matrikelnr.: 1650760).

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit auf eine geschlechterspezifische Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe werden hier nur in der männlichen Form angeführt, gelten aber im Sinne der Gleichbehandlung für alle Geschlechter.

INHALT

ABSTRACT	4
KURZFASSUNG	5
EINFÜHRUNG	9
Ausgangssituation und Hintergrund	9
Inhalt der Diplomarbeit	9
Fragestellung und Zielformulierung	10
WISSENSCHAFTLICHE RECHERCHE	11
Arbeit und Büros im Wandel der Zeit	11
Geschichte der Innenraumbegrünung	17
Auswirkungen der Natur auf den Menschen in Büroräumlichkeiten	20
Grundlagen vertikaler Begrünungssysteme in Innenräumen	22
Anforderungen	22
Systeme	23
TESTUNG	30
1. Testaufbau: bauphysikalische Wirkung	30
Einführung	30
Methodik des 1. Testaufbaus	30
Verwendete Messinstrumente	34
Versuchsdurchführung	34
Auswertung	45
Testperiode 1	45

Testperiode 2	59	RESÜMEE	128
Vergleich	72	Ergebnis	128
Fotodokumentation	83	Ausblick	129
2. Testaufbau: soziale Wirkung	88	QUELLEN	130
Einführung	88	Abbildungsverzeichnis	130
Methodik des 2. Testaufbaus	88	Literaturverzeichnis	132
Verwendete Messinstrumente	91	Internetquellenverzeichnis	134
Versuchsdurchführung	92	ANNEX	136
Auswertung	93	Fachbegriffe	136
Nutzungsverhalten	93	Abkürzungen	139
Vergleich Eingangserhebung mit		Datentabellen	140
Enderhebung	94	1. Testaufbau	140
Fotodokumentation	99	2. Testaufbau	162
ENTWURF	103	DANKSAGUNG	177
Konzept	103		
Module	106		
Wassertank mit Sitzmöglichkeit	106		
Bodenmodul	108		
Hauptmodul	110		
Verbindungsmodul	117		
Weitere Module	121		
Wasserdichtheit	121		
Flexibilität im Zusammenbau	121		
Reinigung und Pflege	123		
Schaubilder	124		

EINFÜHRUNG

AUSGANGSSITUATION UND HINTERGRUND

Der moderne Mensch hält sich heutzutage zu 80-90% seines Lebens in Innenräumen auf;¹ in den Erste-Welt-Ländern einen Großteil davon in Büros bzw. im Gebäudeinneren arbeitend. Oft sind ebendiese Arbeitsorte karg und zweckdienlich eingerichtet. Nichtsdestotrotz oder gerade deshalb ist der Wunsch nach Grün vom Homo Sapiens übergeblieben. Etliche Studien belegen, dass Grünpflanzen einen positiven Einfluss auf den Menschen haben. In Innenräumen arbeitende Personen sind aber Zeit ihres Lebens nicht nur weniger in der Natur als im letzten Jahrhundert, es fehlt ihnen auch immer mehr der Bezug zur Natur im Außenraum. Dies liegt daran, dass der im Büro arbeitende Mensch immer häufiger im städtischen Umfeld lebt und Natur und Grünraum an sich in den meisten Städten der Welt Mangelware sind. Der Trend zum Zuzug in Städte ist nach wie vor ungebrochen: Laut einem Bericht der United Nations (UN) sollen bis 2050 68% der Weltbevölkerung in städtischen Gebieten leben.² Prof. Azra Korjenic bringt es in der Executive Summary des Projekts “GRÜNEzukunftSCHULEN” auf den Punkt:

1 Vgl. Römermann, Hans-Detlef/Manfred Schlieper: Betriebshygiene: eine Einführung für Facility-Manager: mit 222 Tabellen und 36 Beispielen, Renningen, Deutschland: expert Verlag, 2007, S. 74.

2 Vgl. Elmjid, Fatima: 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN, in: UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs, 16.05.2018, [online] <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> [14.02.2021].

“Die zunehmende Urbanisierung und Nachverdichtungen im innerstädtischen Raum gehen mit einem Verlust von Grünflächen einher.”³

Dies erfordert neue Wege und Lösungen, um die Lebensqualität und den Wohn- und Bürokommfort zu verbessern.

INHALT DER DIPLOMARBEIT

Diese Arbeit ist der nächste Schritt einer Idee, die im Erweiterungsstudium “Innovation” (E 046 002) am Fachbereich Innovation Incubation Center (i²c) an der TU Wien entstand. Ausgangslage ist das Problem, dass Natur mit all ihren positiven Eigenschaften im Büroalltag fehlt. Was anfangs eine Idee zum Lösen eines Problems darstellte, entwickelte sich immer mehr zum Wunsch einer wissenschaftlich fundierten Herangehensweise.

Der Inhalt der Arbeit gliedert sich grob in drei Teilaspekte:

1. die wissenschaftliche Recherche,
2. die Testungen zweier Prototypen, die positive Auswirkungen auf den Innenraum haben sollen, und
3. der Entwurf eines modularen Systems, das die gewonnenen Erkenntnisse der beiden vorangegangenen Testungen berücksichtigt, die Natur in Innenräume

3 Korjenic, Azra et al.: EXECUTIVE SUMMARY, GRÜNEzukunftSCHULEN; Grüne Schuloasen im Neubau. Fokus Planungsprozess und Bestandsgebäude, in: Smartcities.klimafonds.gv.at, 03.2020, [online] https://smartcities.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/20200401_GZS_Executive-Summary.pdf [14.02.2021], S. 4.

holt und architektonische und produktdesignrelevante Aspekte behandelt.

FRAGESTELLUNG UND ZIELFORMULIERUNG

Die wissenschaftlichen Fragestellungen, die in der vorliegenden Arbeit behandelt werden, sind unter anderem:

- Inwieweit trägt ein eigens entworfener Prototyp für Innenraumbegrünung zur positiven Beeinflussung des Mikroklimas bei, wenn davon ausgegangen wird, dass das Benutzerverhalten keine manuelle Lüftung vorsieht und auch keine automatisierte mechanische Lüftung gegeben ist? Mit besonderem Augenmerk auf:
 - Raumlufttemperatur (insbes. Kühlung bzw. Erwärmung des Raumes),
 - Luftfeuchtigkeit und dessen natürliche Regulierung,
 - Raumklima und
 - hygrothermische Behaglichkeit.
- Inwieweit verbessert eine installierte Innenraumbegrünung das subjektive Wahrnehmen arbeitender Personen in ihrem Umfeld?
- Wie kann anhand der gewonnenen Erkenntnisse ein funktionierender Entwurf einer modularen Innenraumbegrünung entwickelt werden und wie kann dieser aussehen?

Hierbei sei erwähnt, dass die erste Fragestellung vor allem im Kapitel “1. Testaufbau: bauphysikalische Wirkung” behandelt wird. Der Lösung der zweiten bzw. dritten Fragestellung wird im Kapitel “2. Testaufbau: soziale

Wirkung” bzw. im Kapitel “Entwurf” auf den Grund gegangen.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es:

- jene Informationen zu bündeln, die Einblick darüber gewähren, ob oder inwiefern die anfangs getroffenen Annahmen (z.B. Annahmen zur Wirkung der Begrünung etc.) richtig oder falsch sind;
- die Messergebnisse kontinuierlich auszuwerten und die Module daraufhin zu optimieren;
- ein modulares System zu entwickeln, das nachweislich dazu beiträgt, Personen ein angenehmeres Arbeitsklima mittels Natur und Innenraumbegrünung zu bieten, und
- nach einer verbesserten, effektiven und langanhaltenden Lösung zur Begrünung von Büroräumlichkeiten zu erarbeiten, die bei Bedarf multipliziert werden kann.

WISSENSCHAFTLICHE RECHERCHE

ARBEIT UND BÜROS IM WANDEL DER ZEIT

Das deutsche Wort “Arbeit” stammt aus dem Mittelhochdeutschen “ar(e)beit”, bzw. dem Althochdeutsch “ar(a)beit” und bedeutet so viel wie “schwere körperliche Anstrengung, Mühsal, Plage” (**Abb. 1**).⁴ Ein kurzer geschichtlicher Abriss lässt uns in die Arbeit der Vergangenheit eintauchen.

Mit der industriellen Revolution ändert sich die Arbeitswelt grundlegend. Von der vorwiegenden Selbstversorgung geht es hin zu einer Arbeitswelt, die systematisch verwaltet und hierarchisch organisiert ist. Dies verlangt den Mitarbeitern viel mehr Zeit ab als sie zuvor gewohnt waren. Während dieser Zeit wird die Arbeit vor allem als Leid und Mühsal bewertet. Seitdem haben sich die zeitlichen und körperlichen Belastungen, die Bezahlung und der rechtliche Status der Arbeitenden sichtlich ins Positive weiterentwickelt. Auf der anderen Seite wird heutzutage viel mehr Flexibilität in Bezug auf Ausbildung (einschließlich Umschulungen), Arbeitsplätze und Arbeitszeit erwartet. Im heutigen Westen wird Arbeit oft als „notwendiges Übel“ angesehen, aber eines, das Status und Prestige innehat und unter bestimmten Umständen einen Weg zur Selbstverwirklichung darstellen kann. Nachhaltiger Wandel führt dabei zu einer ständigen Auseinandersetzung mit der Bedeutung von Arbeit.

⁴ Vgl. Dudenredaktion (Hrsg.): Arbeit, Duden online, o. J., [online] <https://www.duden.de/rechtschreibung/Arbeit#herkunft>.

Der amerikanische Wirtschaftswissenschaftler Robert J. Gordon behandelt in seinem Werk “The Rise and Fall of American Growth” unter anderem die Geschichte der Arbeit in den Vereinigten Staaten Amerikas. Während heutzutage 38 % der Berufe der Kategorie “Manager, Officials und Professionals” zuzuordnen sind, also eine Arbeit, die größtenteils Entscheidungsaufgaben beinhaltet, fiel die Gewichtung vor 150 Jahren erheblich anders aus. 1870 waren 46 % der Arbeitsplätze in der Landwirtschaft und 35 % im Handwerk oder im verarbeitenden Gewerbe angesiedelt (**Tab. 1**). Nur wenige Berufe stützten sich auf die reine Kopfarbeit eines Arbeiters. Damals war es vorherrschend, ohne Unterbrechung zu arbeiten, vor allem



Abb. 1: Arbeit als Leid und Mühsal, dargestellt von Pieter Bruegel dem Älteren, 1565

aber war Arbeit per se etwas Sicht- und Greifbares. Heute ist das umgekehrt. 41 % sind Dienstleistungsjobs, die oft von Ihren Gedanken und Handlungen abhängen. Während sich diese Daten auf die USA beziehen ist in Europa ein ähnlicher Verlauf der Arbeitsentwicklung zu beobachten (Abb. 3).

Das Wort “Büro” entspringt dem Französischen “bureau” und bezeichnet, wie in einigen anderen Sprachen auch, sowohl den Schreibtisch als auch die Räumlichkeit, in der deutschen Sprache jedoch bloß zweiteres. Als Arbeitsraum findet ein Büro je nach Aufgabenstellung entweder für Einzelpersonen oder für mehrere Mitarbeiter (etwa im Großraumbüro) Verwendung.⁵

Während der zweiten Industriellen Revolution Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts (Abb. 2) ist ein Boom des Dienstleistungssektors zu verzeichnen mit dem ein großes ökonomisches Schaffen im öffentlichen Dienst, in Banken, Versicherungen und der industriellen Verwaltung einhergeht. Dieser Boom verlangt nach speziellen Räumen für administratives Arbeiten, nämlich dem Büro. Dieser ist ein komplexer Ort, dessen Ausgestaltung einer Vielzahl an Parametern zu folgen hat. Von der architektonischen Hülle und der Inneneinrichtung über die Anordnung von Maschinen und des Mobiliars bis hin zur Abstimmung atmosphärischer Eigenschaften (Licht, Wärme, Feuchtigkeit, Akustik) muss alles wohlüberlegt sein. Das Büro ist jedoch keine Erfindung des 19. Jahrhunderts, sondern vielmehr eine

⁵ Vgl. Bernasconi, Gianenrico/Thomas Hengartner/Andreas Kellerhals/Stefan Nellen: Das Büro: Zur Rationalisierung des Interieurs, 1880-1960, Bielefeld, Germany: Transcript Verlag, 2020, S. 10.



Abb. 2: Arbeiterinnen in der Rüstungsfabrik Woolwich Arsenal, dem der heutige FC Arsenal entsprang, Ende des 19. Jahrhunderts

Weiterentwicklung des Kontors, das man als Niederlassung der Handelsunternehmen und der Reedereien vorfindet. Mit seinem typischen Stehpult und seinen riesigen verstaubten Registern befindet es sich oft in zu dunklen Wohnräumen. Das Kontor wird also zum Büro, einer neuen Form des Raums, und im Laufe des 19. Jahrhunderts trennt sich ebendieser Arbeitsraum zunehmend vom Wohnraum. Das Büro im ursprünglichen Sinne ist demnach ein Raum, in dem hauptsächlich Tätigkeiten in der Administration nachgegangen werden. Diese umfassen vor allem das Lesen, Schreiben, Rechnen und Besprechen.⁶

1930 veröffentlicht Richard Couvé die “Grundsätze für die Gestaltung und Einrichtung der Büroarbeitsplätze”. Sein Werk zeigt erstmals die Wichtigkeit der Beziehung

⁶ Vgl. Bernasconi et al., 2020, S. 9-11.

Distribution of Occupations 1870, 1940, and 2009

	1870	1940	2009
Farmers and Farm Laborers	46.0	17.3	1.1
Farmers	26.5	11.0	0.5
Farm Laborers	19.5	6.3	0.6
Blue-Collar Occupations	33.5	38.7	19.9
Craft Workers	11.4	11.5	8.3
Operatives	12.7	18.0	10.2
Laborers	9.4	9.2	1.4
Service Occupations	12.6	28.1	41.4
Clerical Workers	1.1	10.4	12.1
Sales Workers	2.3	6.2	11.6
Domestic Service Workers	7.8	4.4	0.6
Other Service Workers	1.4	7.1	17.1
Managers, Professionals, and Proprietors	8.0	15.1	37.6
Managers and Officials	1.6	3.7	14.4
Professionals	3.0	7.1	20.5
Proprietors	3.4	4.3	2.7
Total^a	100.1	99.2	100.0

Tab. 1: Verteilung der Berufe 1870, 1940 und 2009 in den USA

zwischen Rationalisierung und Raumeinrichtung. Couvé berücksichtigt für den Arbeitsraum Umweltfaktoren wie Beleuchtung, Durchlüftung, Lärmverminderung, Anordnung der Arbeitsplätze zueinander und auch Vermeidung von Wegen und Unterscheidung zwischen Einzel- und Gruppenarbeit. Der Arbeitsplatz soll laut ihm Prinzipien wie Ordnung, Ersparung von Bewegung und Vermeidung von Fehlgriffen folgen (Abb. 4).⁷

7 Vgl. Bernasconi et al., 2020, S. 15-16.

Heutzutage sind diese Prozesse weitgehend optimiert und die Digitalisierung verändert die Bürowelt auf eine radikale Weise. Mit dem Aufkommen der Digitalisierung keimen neue Formen des Arbeitens (häufig als „New Work“ bezeichnet) auf. Dies verlangt wiederum nach neuen Ansätzen in Anbetracht der Bürogestaltung. Die Zufriedenheit der Büronutzer rückt immer mehr in den Fokus, vor allem auch aus dem Grund, dass sich Arbeitgeber produktiveres Arbeiten der Mitarbeiter und somit höhere Umsätze erhoffen. Die Studie „Office Settings“ (2014) vom Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft

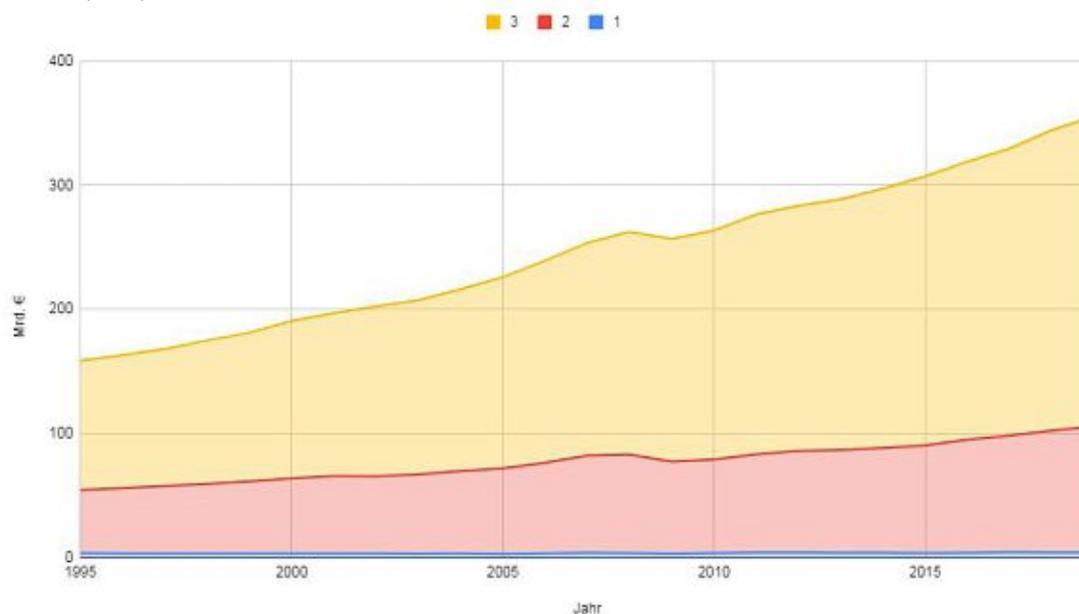


Abb. 3: BIP nach Wirtschaftssektoren: primärer Sektor (1) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - sekundärer Sektor (2) Bergbau, Herstellung von Waren, Energieversorgung, Wasserversorgung, Abfallentsorgung, Bauwesen - tertiärer Sektor (3) Markt- und nicht marktmäßige Dienstleistungen

und Organisation zeigt: “Sind Mitarbeitende mit ihrer Büroumgebung zufrieden, steigen ihre Leistung und die Identifikation mit dem Unternehmen.”⁸ Nur 20 % der Befragten bezeichnen sich als sehr zufrieden. Weiters nennt die Studie ein gutes Mobiliar als wichtigsten Ausschlaggeber. Sie sollten Rückzugsorte für konzentriertes Arbeiten, Zonen für Erholung und Pausen und auch eine angenehme Raumakustik bieten. Eine Befragung vom Marktforscher Ipsos mit 12 480 Personen in über 17 Ländern der Welt und der Gallup Engagement Index Deutschland (beide 2016) belegen außerdem, dass attraktive Büros Wohlbefinden und Motivation der Mitarbeiter steigern. Die Veröffentlichungen zeigen ein ähnliches Ergebnis zur Studie aus 2014.

So seien die Zufriedenheitswerte tief und der Handlungsbedarf zur Verbesserung der Büros äußerst hoch.⁹

Es gibt einige neue Bürokonzepte, die Änderungen in der Büroarbeit aufgrund des Bürokratieabbaus und der Fortschritte bei den Informations- und Kommunikationstechnologien berücksichtigen. Einige Schlagworte sind hier Coworking (Freiberufler, Startups oder digitale Nomaden arbeiten in großen, verhältnismäßig offenen Räumen), Hot Desking (verschiedene Mitarbeiter teilen sich zu unterschiedlichen Zeiten einen Arbeitsplatz) oder Activity Based Working. Letzteres beschreibt eine Bürogestaltung, die sich auf Arbeitsplätze bezogenen

⁸ Ergodata AG: Das sagt die Wissenschaft: Bessere Leistung dank ansprechender Einrichtung, in: mood - Das Magazin von ergodata zum Leben im Büro, 2017, [online] https://issuu.com/ergodata/docs/mood_magazin_2017, S. 10.

⁹ Vgl. Ergodata AG, 2017, S. 10.

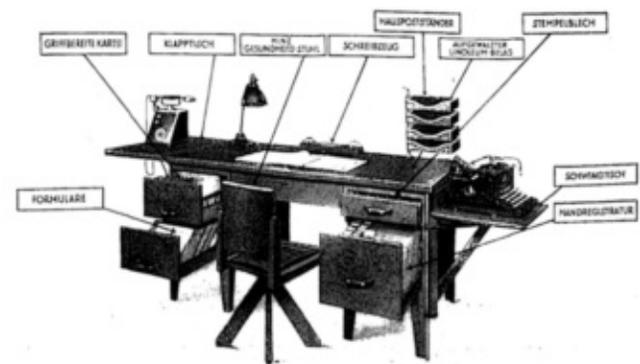


Abb. 4: Schreibtisch mit Karteien und Handregistratur

vordefinierte Aktivitäten (stehen, sitzen, besprechen, Computerarbeit etc.) befasst. Die Idee wird bereits in den 1970er und 1980er Jahren von den Architekten Stone und Luchetti in den USA vorgestellt.¹⁰ Diese Form der Bürogestaltung ermöglicht den Mitarbeitern, den für die vorhergesehene Tätigkeit bestgeeignetsten Arbeitsplatz variabel zu wählen.

Ein eindeutiger Blick in die Zukunft, wie genau Arbeiten bzw. das Büro der Zukunft aussehen wird, fällt schwer, jedoch lassen sich einige Zukunftsszenarien ausmachen. Dies gilt vor allem dann, wenn man sich die jüngste Vergangenheit der Innovatoren (Großkonzerne wie Google, Apple und Co.) oder auch der Early Adopter (Abb. 5) der Unternehmensbranche betrachtet. In ihren Büros findet

¹⁰ Vgl. manager magazin Verlagsgesellschaft mbH: Das Büro der Zukunft: Vernünftig eingesetzt kann der Computer zwischenmenschliche Kontakte fördern, anstatt sie zu unterbinden, in: Harvard Business manager, Jg. 6, Nr. 4, 1985, [online] <https://www.manager-magazin.de/harvard/print/hm/d-29862204.html>, S. 75-86.

man häufig eine Mischung aus Orten der Zusammenarbeit und zugleich Orten der Ruhe. Wechselarbeitsplätze (engl. „Hot Desking“), Räume für Telefonieren oder das Gespräch zwischendurch finden sich dort genauso wie Garten, Café, Fitnessbereich mit gratis Yoga-Kursen etc. Laut einem Blogbeitrag des, von Matthias Horx gegründeten, Zukunftsinstituts steige durch die vielen Benefits aber die Gefahr, dass es im Büro so „schön“ werde, dass die Arbeitnehmer gar nicht mehr nach Hause wollen. Dies könne auf Kosten der Freunde und Familie gehen. Der Angestellte lebe dann nur noch in der Arbeit und bei Jobverlust fielen dann auch die sozialen Kontakte weg.¹¹ Eine weitere Gefahr ist das Hot Desking per se. So kommt eine 2014 durchgeführte Studie der Universität Stockholm zum Ergebnis, dass unter rund 2.000 Angestellten die Fehlzeiten in Großraumbüros mit Wechselarbeitsplätzen fast doppelt so hoch sind, wie in kleineren Büros.¹²

11 Vgl. Wutscher, Irmgard: Arbeiten im Büro der Zukunft, in: oe1.orf.at, 06.03.2020, [online] <https://oe1.orf.at/artikel/667276/Arbeiten-im-Buero-der-Zukunft> [14.02.2021].

12 Vgl. Bodin Danielsson, Christina/Holendro Singh Chungkham/Cornelia Wulff/Hugo Westerlund: Office design's impact on sick leave rates,

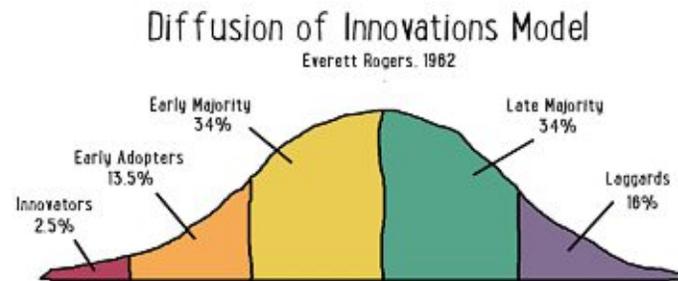


Abb. 5: Verteilung der Innovationsmodelle nach Rogers, 1962

Mitten in der Corona-Pandemie wirft die Zukunft der Arbeitswelt weitere Fragen auf, denn COVID-19 hat die Telearbeit bzw. das Homeoffice mit einer zuvor ungeahnten Schnelligkeit normalisiert. Ein Hybrid aus vermehrter Telearbeit und der bisher gewohnten Arbeit im Büro kann zu einer bleibenden Zukunftsvariante werden,¹³ auch nach Ende der Coronapandemie.¹⁴ Eine Studie mit 4.700 Wissensarbeitern (engl. „Knowledge Worker“) ergibt, dass die Mehrheit nicht mehr zur alten Arbeitsweise zurückkehren möchte. Nur 12% ist bereit, wieder Vollzeit im Büro zu arbeiten, und 72% sehen ein hybrides Remote-Office-Modell als die geeignete Wahl der Zukunft.¹⁵

Indranil Roy, der Executive Director der Abteilung Human Capital Practice bei Deloitte Consulting, meint, man habe während der Pandemie gelernt, dass die meisten Aufgaben aus der Ferne erledigt werden können, ohne die Produktivität oder Qualität wesentlich zu beeinträchtigen. Im Laufe der Zeit sei jedoch eine persönliche Interaktion erforderlich, um Zusammenarbeit zu erleichtern, Beziehungen aufzubauen, komplexe Herausforderungen

in: Ergonomics, Jg. 57, Nr. 2, 2014, doi: 10.1080/00140139.2013.871064, S. 139-147.

13 Vgl. British Broadcasting Corporation: Coronavirus: How the world of work may change forever, in: BBC Worklife, 23.10.2020, [online] <https://www.bbc.com/worklife/article/20201023-coronavirus-how-will-the-pandemic-change-the-way-we-work> [14.02.2021].

14 Vgl. Bloom, Nicholas: How working from home works out | SIEPR, in: siepr.stanford.edu, 06.2020, [online] <https://siepr.stanford.edu/research/publications/how-working-home-works-out> [14.02.2021].

15 Vgl. Slack Technologies: Moving beyond remote: Workplace transformation in the wake of Covid-19, in: Slack, 07.10.2020, [online] <https://slack.com/intl/de-at/blog/collaboration/workplace-transformation-in-the-wake-of-covid-19> [14.02.2021].

zu meistern und Ideen zu generieren. Achtgeben müsse man darauf, dass kontinuierliche Fernarbeit den Arbeitstag verlängert, die Grenzen zwischen Arbeit und Privatleben löst und das psychische Wohlbefinden verringert.¹⁶

Auffällig ist, dass sich der von Stone und Luchetti geprägte Begriff des Activity Based Working weiterzuentwickeln scheint. Vermehrt tritt der klingende Anglizismus “Multispace-Büro” auf, der in seinen Grundzügen ähnliches propagiert wie das Activity Based Working.

Örtlich flexibles Arbeiten (Home Office, Arbeiten im Café oder unterwegs), smarte Umgebungen (etwa dass Licht und Temperatur den Bedürfnissen des Arbeitnehmers angepasst werden, die dieser zuvor in seinem Profil festgelegt hat), verbesserte Möblierung und Akustik, offene Bürostrukturen und gleichzeitig Rückzugsmöglichkeiten, Räume für Pausen und zur Entspannung und nicht zuletzt Pflanzen im Büro und ein Ausblick ins Grüne seien eine durchaus erstrebenswerte Zukunftsform der Wissensarbeit.

GESCHICHTE DER INNENRAUMBEGRÜNUNG

Die Definition von Innenraumbegrünung ist genauestens in der ÖNORM L 1133 als “dauerhafte Begrünung von Innenräumen in mobilen oder ortsfesten Gefäßen bzw. in horizontalen oder vertikalen Flächen mit oder ohne Bodenanschluss”¹⁷ beschrieben.

16 Vgl. British Broadcasting Corporation, 2020.

17 Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM L 1133, Ausgabe 2017-



Abb. 6: Orangerie in Versailles

Die in Bonn ansässige Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) liefert eine sehr ähnliche Definition. Die Innenraumbegrünung ist “die dauerhafte Begrünung von Innenräumen für Wohnen, Arbeiten und Freizeit (z.B. Verwaltungsgebäude, Foyers, Schule, Wintergärten Krankenhäuser, Schwimmbäder, Einkaufspassagen, Botanische und Zoologische Gärten) mit Pflanzen in mobilen oder ortsfesten Gefäßen bzw. in Flächen mit oder ohne Bodenanschluss. Die Räume sind i.d.R. geschlossen und klimatisiert.”¹⁸ Damit wird auch der

03-01: Innenraumbegrünung: Planung, Ausführung und Pflege, Wien, Österreich: Österreichisches Normungsinstitut, 2017, S. 4.

18 Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau: Innenraumbegrünungsrichtlinien: Richtlinien für die Planung Ausführung und Pflege von Innenraumbegrünungen, 3. Aufl., Berlin, Deutschland:

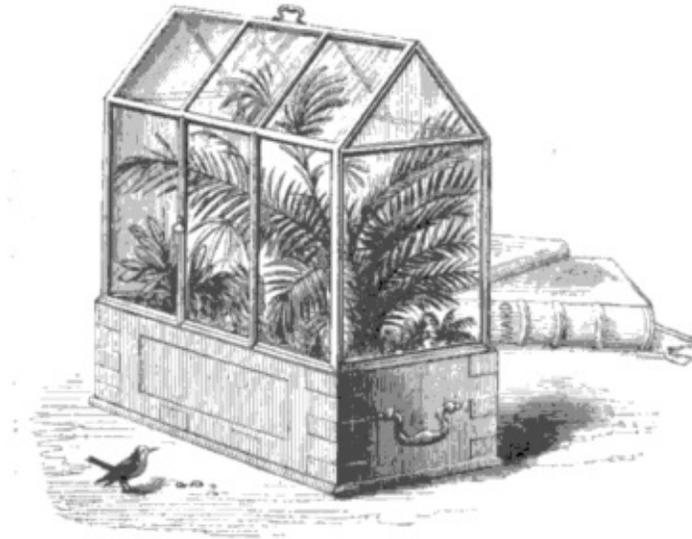


Abb. 7: Ward'scher Kasten

Unterschied zur temporären Begrünung deutlich, die in erster Linie der Dekoration dient.

Während die Außenraumbegrünung in Form von Nutzgärten bereits etwa im 3. Jahrtausend v. Chr. im antiken Ägypten entsteht,¹⁹ reicht die Geschichte der Innenraumbegrünung bedeutend weniger weit zurück.

Im 16. Jahrhundert entwickelt sich an den königlichen und fürstlichen Höfen eine echte Leidenschaft für das Sammeln exotischer Pflanzen. Um empfindliche Pflanzen

Patzer, 2011.

¹⁹ Vgl. Gothein, Marie Luise: Geschichte der Gartenkunst: Erster Band, Jena, Deutschland: Eugen Diederichs, 1926.

vor Kälte im Winter zu schützen, werden Arkaden ab Mitte des 16. Jahrhunderts mit Papier oder gewachstem Leinen bespannt. Der Vorgänger der „Orangerie“ ist geboren. Die erste Orangerie selbst, ein Gebäude mit massiven Mauern und kleinen Glasfenstern für Zitruspflanzen, wird 1658 in Frankreich errichtet. Als Ludwig XIV. einen Seitenflügel von Versailles als Orangerie (Abb. 6) erbaut, etabliert sich ein echter Trend im Adel des Hofes. Dank der südlichen Ausrichtung und der doppelten Fensterrahmen kann die Temperatur im Winter zwischen 5 und 8° C gehalten werden. Das erste Aufblühen der Innenraumbegrünung, wie wir sie heute kennen, beginnt im viktorianischen England im 19. Jahrhundert. Dank architektonischer Innovationen und Verbesserungen bei Baumaterialien aus Gusseisen und Stahl können Wintergärten und Gewächshäuser gebaut werden. Bisher sind nur sehr wenige Pflanzen in der Lage, die meist dunklen und schlecht beheizten Wohnräume zu überstehen. Die Bedingungen für den Transport empfindlicher Pflanzen verbesserten sich ebenfalls erheblich, als der englische Arzt und Naturforscher Nathaniel Ward 1830 den „Ward'schen Kasten“ (Abb. 7) erfindet. Es ist ein kleiner, vollständig geschlossener Glaskasten, der die Feuchtigkeit darin hält und bei Bedarf mit Öllampen erwärmt werden kann.²⁰

Während des Biedermeier (etwa 1815 bis 1848) beginnt die Haltung von Pflanzen in Wohnräumen auch in Deutschland, wo man sich möglichst exotische Exemplare in seine bürgerliche Bleibe holt. Mit Beginn des Ersten Weltkriegs wird in Europa die Sammelleidenschaft für exotische

²⁰ Vgl. Volm, Cristine: Innenraumbegrünung in Theorie und Praxis, Stuttgart, Deutschland: Eugen Ulmers, 2002, S. 10-20.

Pflanzen vorerst gebremst.²¹ Doch mit dem Aufkommen der Zentralheizung und in Verbindung mit größeren Fenstern wird ein weiterer Meilenstein für die Begrünung des Innenraums gelegt. Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs werden Pflanzen allmählich zu unverzichtbaren Elementen der Inneneinrichtung.²²

In den 1960er Jahren liefert der deutsch-amerikanische Psychoanalytiker und Philosoph Erich Fromm²³ den theoretischen Hintergrund zur Biophilie (Definition s. Annex). Weiters knüpft man wieder an die Glasarchitektur des Bauhauses an und man fixiert sich wegen der schlechten Wärmedämmeigenschaften des damaligen Isolierglases auf die thermische Trennung von Wohnbereich und Wintergarten. Der Fachverband Deutsche Hydrokultur wird 1977 gegründet und die Hydrokultur mit Blähton und dem dafür geschaffenen Gesamtsystem wächst in kurzer Zeit rasant. In den 1980er Jahren erhält die Begrünung von Innenräumen jedoch eine neue Funktion: Pflanzen werden nicht nur zu Entwurfszwecken, sondern auch aus klimatischen und gesundheitlichen Gründen verwendet. Begriffe wie „Sick-Building-Syndrom“ und „Healthy Building“ werden geprägt (Definition s. Annex), und

21 Vgl. Zluwa, Irene: Innenraumbegrünung: Untersuchung der Eignung unterschiedlicher Substratvarianten für die Innenraumbegrünung anhand eines Vegetationsmonitorings ausgewählter Indikatorpflanzen und spezifischer Laboruntersuchungen, Masterarbeit, Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur, 2013, [online] <https://epub.boku.ac.at/obvbkhs/content/titleinfo/1082686>, S. 17.

22 Vgl. Meyer-Dohm, Johannes: Geschichte der Innenraumbegrünung, in: P2 OBJEKT GRÜN, 24.06.2019, [online] <https://p2objektgruen.de/begrueunungskonzept/geschichte-der-innenraumbegrueunung/> [14.02.2021].

23 Vgl. Fromm, Erich: Anatomie der menschlichen Destruktivität, Hamburg, Deutschland: Rowohlt-Verlag, 2015, S. 23, S. 411



Abb. 8: Gärten im Commerzbank-Tower, Foster + Partner

Hydroponik mit Blähton in Pflanzentöpfen etabliert sich auch als Bürobegrünung.²⁴

In den 1990er Jahren bemühen sich Architekten um die eher architektonisch geprägte neue Gestaltung grüner Innenräume. Wintergärten werden im Bundeskanzleramt in Berlin und ebenda im Gebäude der Bundespressekonferenz mit freistehenden großen Solitärbäumen erbaut. 1997 wird in Frankfurt der Commerzbank Tower (**Abb. 8**) eingeweiht, damals das höchste Gebäude Europas mit integrierten Gärten auf mehreren Etagen. Im selben Jahr erscheint die erste Ausgabe der FLL Innenraumbegrünungsrichtlinien und 1998 das Handbuch zur Innenraumbegrünung von Renate Veth. Professionelle Innenraumbegrünung wird zunehmend als eigenständiger gärtnerischer Bereich gesehen.²⁵

Die Anforderungen an die Innenraumbegrünung steigen: von der Verbesserung der Luft, dem Schutz vor Lärm bis hin zu einer allgemeinen Leistungssteigerung. Gleichzeitig verbessern sich die Bedingungen für die Pflanzen nicht: Sonnenschutzgläser, automatische Beschattung und vor allem der begrenzte Platz, der mit dem Anstieg der Mietpreise einhergeht, prägen das zu begrünende Arbeitsumfeld von heute und beschränken die Pflanzenauswahl. Es werden schmale und schlanke Pflanzen oder kleine und kompakte Pflanzen in hohen Behältern sowie in die Möbel integrierte Begrünungslösungen verwendet.²⁶

24 Vgl. Meyer-Dohm, 2019..

25 Vgl. Meyer-Dohm, 2019..

26 Vgl. Meyer-Dohm, 2019..

Das Feld der Innenraumbegrünung bleibt jedoch weiter spannend. Neben standardisierter Begrünung werden zunehmend innovative Lösungen wie vertikale Begrünung und neue kreative Ansätze gesucht. Begriffe wie „Indoor Farming“ oder „Urban Jungle“ stehen für ein neues Design und hohe Anforderungen an die Innenraumbegrünung.²⁷

AUSWIRKUNGEN DER NATUR AUF DEN MENSCHEN IN BÜRORÄUMLICHKEITEN

Sauerstoff ist nicht der einzige Grund warum Menschen Pflanzen brauchen. Nahrung, Getränke, Gewürze und pharmazeutische Rohstoffe werden aus ihnen hergestellt. Pflanzen dienen der Energiegewinnung oder der Sanierung von Umweltschäden, um nur einige Beispiele zu nennen. Nicht nur dass Pflanzen das Dasein der Erdbevölkerung in seinen Grundzügen beeinflusst ein Leben ohne Pflanzen wäre auch äußerst freudlos. Sei es, dass Pflanzen ob ihrer Schönheit gefallen, ihres Dufts verzaubern oder ihres Schattens zu angenehmen Stunden zum Verweilen einladen. Wir begegnen Pflanzen in Literatur, Kunst und Kultur, Pflanzen sind allgegenwärtig. ²⁸

Die mannigfaltigen Einflüsse auf die Raumeigenschaften durch Pflanzen sind unter anderem die

- Produktion von Sauerstoff und Reduktion von CO₂,
- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit,

27 Vgl. Meyer-Dohm, 2019.

28 Vgl. Volm, 2002, S. 10-30.

- Aufnahme von Schadstoffen wie Formaldehyd, Benzol und Nikotin,
- Schallreduktion,
- Staubbindung,
- Schattierung, Kühlung und
- die Verbesserung des Geruchs.

Diese bewirken in weiterer Folge auch das Wohlbefinden des Menschen selbst, denn die positiven Auswirkungen durch die oben genannten Einflüsse tragen zum menschlichen Behaglichkeitsgefühl in Räumen bei. Außerdem schwächen Pflanzen das “Sick-Building-Syndrom” (Definition s. Annex) ab und können eine im Arbeitsleben ausbleibende Naturerfahrung bieten.²⁹

Zahllose Studien zeugen von der positiven Wirkung von Innenraumbegrünung auf den Menschen. So findet die University of Exeter heraus, dass durch die Einführung von Zimmerpflanzen in kargen Büroräumen die Produktivität um 15% gesteigert werden kann. Sie berichtet davon, dass sich bei nur einer Pflanze pro Quadratmeter die Mitarbeiterleistung bei einer Reihe grundlegender Tests erheblich verbessert.³⁰ Die Studie „Arbeitsmotivation 2019“ der ManpowerGroup Deutschland befragt rund 1.000 Deutsche, welche Faktoren sich positiv auf die Arbeitsmoral auswirken. Demnach sind sich 20 % der Befragten sicher, dass etwa Zimmerpflanzen die Optik und das Raumklima

29 Vgl. Volm, 2002, S. 10-30.

30 Vgl. Nieuwenhuis, Marlon/Craig Knight/Tom Postmes/S. Alexander Haslam: The relative benefits of green versus lean office space: Three field experiments., in: Journal of Experimental Psychology: Applied, Jg. 20, Nr. 3, 2014, doi: 10.1037/xap0000024, S. 199-214.

verbessern. 2016 lag dieser Wert bei 40%. Die Begründung: Das Grün vermittele ein Gefühl von Natur in Büros.³¹

Norwegische Forscher kommen im Jahr 2011 zu dem Ergebnis, dass Grün am Arbeitsplatz Konzentration und Produktivität erhöhe, weil Pflanzen Menschen auf andere Gedanken bringen, kurz Abschweifen lassen und somit die Konzentration wiederherstellen.³² Die Liste der publizierten Studien ist schier nicht enden wollend.

Die Vitra AG schaut in die Zukunft und nennt unter den vier Dingen, an denen es in künftigen Büros nicht mangeln dürften auch die Natur. So würden 2030 bis zu 60 % der Erdbevölkerung in Mega-Citys, also Städten mit über zehn Millionen Einwohnern, leben. Ein Respons auf diese Voraussage wäre das Biophilic Design (Definition s. Annex). Dies könne zu einem der maßgebendsten Trends in Anbetracht von Büros der Zukunft werden. Dadurch würden Pflanzen und weitere natürliche Komponenten in städtischen Firmen und Geschäften eingesetzt werden.³³ Der Nutzen sei groß: Es werden die Ergebnisse der Studie der

31 Vgl. Faktenkontor GmbH/Clemens Hoh/Christine Probst/Manpower GmbH & Co. KG: Bevölkerungsbefragung Arbeitsmotivation 2019, in: ManpowerGroup Deutschland, 12.2018, [online] https://www.manpowergroup.de/fileadmin/manpowergroup.de/Studien/MPG_190219_Quick_Survey_Arbeitsmotivation_2019.pdf [14.02.2021].

32 Vgl. Raanaas, Ruth K./Katinka Horgen Evensen/Debra Rich/Gunn Sjøström/Grete Patil: Benefits of indoor plants on attention capacity in an office setting, in: Journal of Environmental Psychology, Jg. 31, Nr. 1, 2011, doi: 10.1016/j.jenvp.2010.11.005, S. 99-105.

33 Vgl. Vitra AG: 4 Dinge, die im Büro der Zukunft nicht fehlen dürfen, in: Business Insider, 07.12.2020, [online] <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/gs-connect/vitra/buero-der-zukunft-innovation-vitra-2017-9538/> [14.02.2021].

University of Exeter (s. o.) genannt und weiters die Studie „Global Impact of Biophilic Design in the Workplace“. Diese ergibt, dass 47 % aller Arbeitnehmer ohne natürliches Licht und 58 % ohne Pflanzen auskommen müssen.³⁴

Abschließend sei erwähnt, dass die Vorteile von Innenraumbegrünung aus unternehmerischer Sicht durchwegs erwägenswert sind. Nicht zuletzt aus finanziellem Interesse: Innenraumbegrünungen machen sich in der Regel bezahlt, auch wenn sie mit Investitionen für Erwerb und Neuanlage verbunden sind und Pflegekosten anfallen. Hotels mit Begrünung berichten von höheren Nächtigungsraten, Einkaufszentren von einer längeren Verweildauer von durchschnittlich 20 Minuten und Büros von Einsparungen durch weniger Krankheitsfälle der Belegschaft.

GRUNDLAGEN VERTIKALER BEGRÜNUNGSSYSTEME IN INNENRÄUMEN

Anforderungen

Wichtige Kriterien für die Umsetzung von Begrünungssystemen in Innenräumen sind fachgerechte Planung, Bauausführung und Wartung sowie Wachstumsfaktoren (Licht, Temperatur, Sauerstoff, Kohlendioxid, Wasser, Nährstoffe oder durchwurzelbarer

34 Vgl. Interface, Inc.: The Global Impact of Biophilic Design in the Workplace, in: greenplantsforgreenbuildings.org, 2015, [online] https://greenplantsforgreenbuildings.org/wp-content/uploads/2015/08/Human-Spaces-Report-Biophilic-Global_Impact_Biophilic_Design.pdf [14.02.2021].

Raum). Dies bedeutet, dass die Anforderungen der Pflanzen und des Raumes kompatibel sein müssen.³⁵

Licht

Für das Pflanzenwachstum und die Photosynthese benötigt eine Pflanze je nach Art und Gattung unterschiedliches Licht. Darüber hinaus nimmt das Tageslicht in Abhängigkeit von der Tiefe des Raums ab. Mangelndes Licht kann dazu führen, dass die Pflanzen absterben. Aus diesem Grund können erforderliche pflanzenspezifische Lichtwerte durch zusätzliche Beleuchtung (z. B. Halogen-Metallampfen) erreicht werden. Zusätzlich müssen die Bestrahlungsdauer (Tag/Nacht) und die spektrale Zusammensetzung des Lichts berücksichtigt werden.³⁶

Nährstoffaufnahme

Um eine optimale Nährstoffversorgung zu erreichen, sollte ein Düngungsplan entwickelt werden, der den pH-Wert, den Salzgehalt des Substrats, die verfügbaren Nährstoffe, das Bewässerungswasser und den Nährstoffbedarf berücksichtigt (Hauptnährstoffe: Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Spurenelemente: Bor, Kupfer, Zink, Mangan, Eisen, Selen).³⁷

35 Vgl. Zluwa, 2013, S. 22-24.

36 Vgl. Zluwa, 2013, S. 22-24.

37 Vgl. Zluwa, 2013, S. 22-24.

Raumklima

Die Art oder Herkunft der Pflanzen und die klimatischen Bedingungen des Raumes hängen eng zusammen. Die klimatischen Faktoren des Raumes (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftzirkulation) sind entscheidend für das Pflanzenwachstum.³⁸

Boden und Substrat

Das Substrat ist nicht nur die Basis für den Pflanzenhalt und für das Nährstoffgleichgewicht im Begrünungssystem verantwortlich, sondern auch wichtig für eine ausreichende Wasser- und Sauerstoffversorgung der Pflanze. Es gibt zwei Hauptarten von Substraten und Mischformen:

- Organische Substrate (Kokosfasern, Rindenkompost, Ton und Holzfasern) mit einer hohen Anzahl luftführender Poren und einem hohen Wasserrückhaltevermögen. Bakterien und Keime können sich schneller auf dieser Art von Substrat absetzen, was sie für manche Räume (z. B. Krankenhäuser) ungeeignet macht.
- Mineralsubstrate (Bimsstein, Lava, gebrochener Blähton, Blähschiefer, Tongranulat, Zeolithe, Perlite oder Vermoculite), die eine schwache Pufferwirkung haben und daher eine regelmäßige Nährstoffversorgung erfordern (Düngung). Dies erhöht jedoch das Risiko einer Anfälligkeit für falsche Nährstoffzufuhr.³⁹

38 Vgl. Zluwa, 2013, S. 22-24.

39 Vgl. Zluwa, 2013, S. 22-24.

Bodenfeuchtigkeit

Die Anforderungen in diesem Bereich sind je nach Art der Pflanze sehr unterschiedlich. Es ist wichtig sicherzustellen, dass die Wurzeln genügend Sauerstoff erhalten und/oder nicht durch übermäßige Feuchtigkeit verrotten. Bei der manuellen oder automatischen Bewässerungssteuerung ist darauf zu achten, dass die Bewässerungsintervalle auf bestimmte Faktoren wie Pflanzentyp, Pflanzengröße, Menge, Raumtemperatur und Wasserqualität abgestimmt werden.⁴⁰

Systeme

Die Einteilung in die aufgezählten Systeme folgt hauptsächlich den 2011 veröffentlichten Innenraumbegrünungsrichtlinien der FLL.⁴¹

Sie wird geringfügig adaptiert, sodass auch die Einteilung vom Endbericht zum Forschungsprojekt GRÜNEzukunftSCHULEN⁴² miteinbezogen werden kann.

Regalsysteme

Bei diesen Systemen handelt es sich um Bepflanzungen,

40 Vgl. Zluwa, 2013, S. 22-24.

41 Vgl. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2011.

42 Vgl. Korjenic, Azra et al.: GRÜNEzukunftSCHULEN - publizierbarer Endbericht, in: grueneschulen.at, 31.03.2020b, [online] http://www.grueneschulen.at/wp-content/uploads/2020/04/GZS_Endbericht.pdf [14.02.2021].

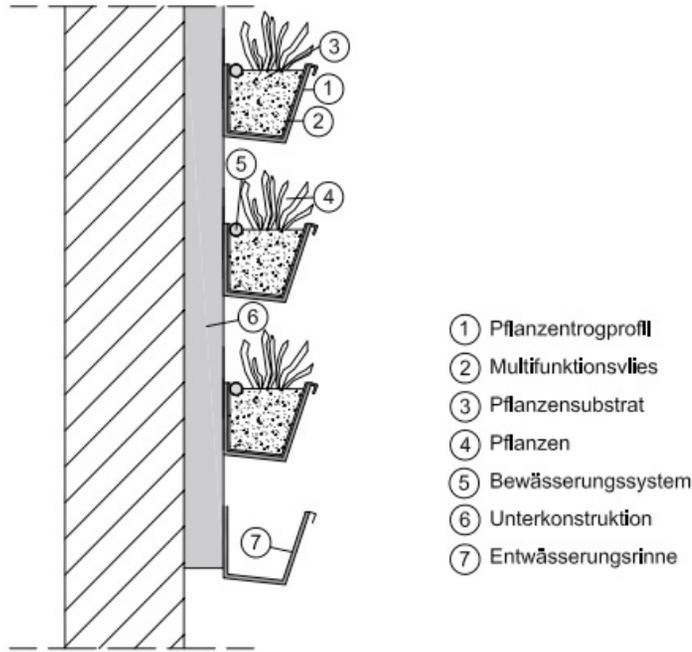


Abb. 9: Aufbau - Troggebundenes Begrünungssystem

die in ein Grundgerüst bzw. Regal (lat. riga "Reihe") "hineingehängt"⁴³ oder aufgestellt werden. Wegen der waagerechten unteren Fläche, die in eine senkrechte Stangenkonstruktion eingehängt oder direkt am Mauerwerk angeschraubt sind ist die Errichtung und Wartung zumeist simpel und kann ohne Gärtner von dem Nutzer selbst ausgetauscht werden.

43 Redl, Bernadette: Pflanzen im Büro: Grüne Freunde beim Arbeiten - derStandard.at, in: DER STANDARD, 05.07.2019, [online] <https://apps.derstandard.at/privacywall/story/2000105520298/pflanzen-im-buero-gruene-freunde-beim-arbeiten>.

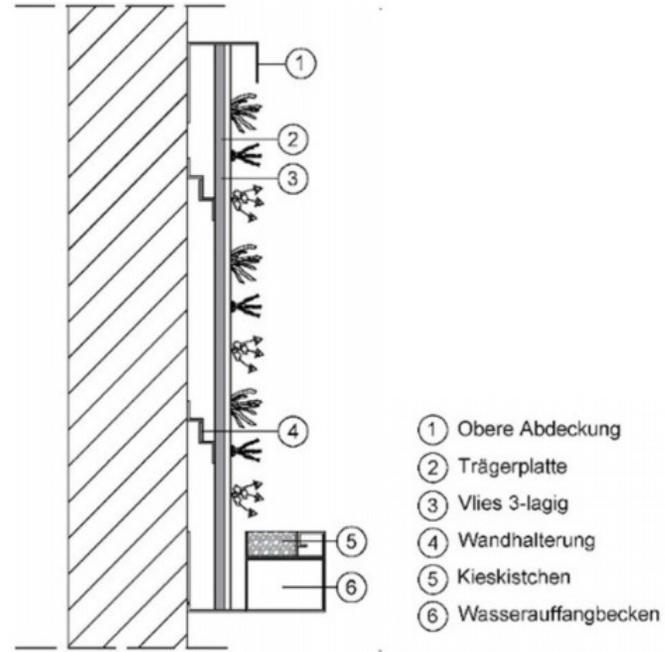


Abb. 10: Aufbau - Vliessystem

Trogssysteme können als Untersystem der Regalsysteme angesehen werden. Der eingangs erwähnte Boden wird jedoch mit Pflanzentrogen ersetzt, die in das Regal bzw. im Falle des Projekts GRÜNEzukunftSCHULEN auf die Unterkonstruktion montiert werden. **Abb. 9** zeigt in einer schematischen Darstellung den Aufbau des Trogsystems.

Die Basis dieses Systems ist eine trapezförmige Metallkonstruktion, die in Kaskaden an einer Wand angeordnet ist. Diese Metallkonstruktion (beispielsweise aus Aluminium) ist an der Unterkonstruktion befestigt und fungiert als Pflanzentrog, der mit einem Multifunktionsvlies

(Filter- und Speicherfunktion) ausgekleidet ist. Das Pflanzensubstrat bildet je nach Bedarf und Standort der verwendeten Pflanzen, eine Granulatzusammensetzung. Die Bewässerung wird in den Trögen durch Tropfschläuche verteilt und das überschüssige Wasser fließt durch die Schlitze an der Vorderseite der Tröge in die darunter liegenden ab. Pflanzen, die flächig, buschig oder überhängend wachsen und nicht zu hoch werden, eignen sich besonders gut für dieses System, da sie die metallenen Tröge verdecken können. Das Bewässerungssystem funktioniert einheitlich, weshalb die gewählten Pflanzen ungefähr den gleichen Wasserbedarf haben sollten. Am Boden des Begrünungssystems wird eine Entwässerungsrinne benötigt, um überschüssiges Wasser zu sammeln und abzuleiten.⁴⁴

Vliessysteme

Das Vliessystem basiert auf dem Prinzip der Hydrokultur und die Pflanzen werden wurzelnackt (ohne Erde) in Pflanzentaschen aus mehreren Vliesschichten gelegt. **Abb. 10** zeigt in einer schematischen Darstellung den Aufbau des Vliessystems. Substrat und Boden werden bei diesem System vollständig weggelassen, was bedeutet, dass die Wasserspeicherkapazität erheblich geringer ist als die von Systemen auf Substratbasis. Folglich ist der Wurzelraum von Pflanzen sehr begrenzt. Der Verzicht von Substrat und Erde hat den Vorteil, üble Gerüche und Schimmel zu reduzieren.

⁴⁴ Vgl. Korjenic, Azra et al.: GRÜNE ARCHITEKTUR IM SCHULBAU - Leitfaden, in: Smartcities.klimafonds.gv.at, 03.2020b, [online] https://smartcities.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/20200401_GZS_Leitfaden.pdf [14.02.2021].

Durch die Wandhalterung wird ein Luftraum zwischen Mauerwerk und Begrünungssystem geschaffen, der eine ausreichende Luftzirkulation gewährleistet und auch als Schutz gegen Staunässe dient. Das Vlies, in dem die Wurzeln festwachsen, sorgt für eine ausreichende Wasserverteilung und am Boden des Systems befindet sich ein Kiesbett mit einem Wasserauffangbecken. Wie auch beim Trogsystem kann die Bewässerung des Vliessystems mittels eines Zu- und Abflusses oder mit einer Umlaufpumpe und einem dazugehörigen Wassertank erfolgen. Das Vlies wird



Abb. 11: Beispiel eines Ranksystems

über einen Tropfschlauch von oben mit Wasser versorgt. Aufgrund der geringen Wasserspeicherkapazität des Vliessystems sind jene Pflanzen besonders geeignet, die kurzen Trockenperioden standhalten können. Pflanzen, die

sehr groß und schwer werden, kommen für dieses System hingegen nicht in Frage.⁴⁵

Ranksysteme

Bei Ranksystemen im Innenraum werden Topfpflanzen von einem an der Innenwand verankerten Gerüst getragen. Dieses Gitter kann aus Holz, Stahl oder Edelstahl bestehen und jede Form annehmen, um Pflanzen in eine bestimmte Richtung wachsen zu lassen. Ranksysteme eignen sich am ehesten in hohen Lobbys, Aulen und mehrstöckigen Räumlichkeiten (Abb. 11).

Modulare Systeme

Diese Systemkategorie zeichnet sich dadurch aus, dass ohne großen Aufwand und je nach Bedürfnis der Nutzer die Anordnung des Begrünungssystems verändert werden kann. Ebenso kann das System einfach vergrößert oder verkleinert

45 Vgl. Korjenic et al., 2020b.



Abb. 12: verschiedene modulare Systeme für den Balkongebrauch

werden. Das System ähnelt aus Sicht der Bewässerung dem Trogsystem, da die Pflanzen ebenso in Substrat wachsen und durch perforierte Tropfschläuche mit Wasser und Nährstoffen versorgt werden. Verschiedene Unternehmen vermarkten ihre modularen Produkte (Abb. 12) für den Innenraum- oder Balkongebrauch. Das entwickelte System aus der ersten Testperiode der vorliegenden Diplomarbeit ist ebenso ein modulares. Unter dem Kapitel “Entwurf” findet sich eine Mischung aus Trogsystem und modularem System.

Mobile Systeme

Mobile Systeme erlauben eine Ortsveränderung ohne großen Aufwand, da sich die Innenraumbegrünung entweder auf



Abb. 13: ein „Tower Garden“ für den Innenraumgebrauch

Rollen befindet oder sich durch das geringe Gewicht leicht verschieben lässt (Abb. 13). Es ist umstritten, ob ein häufiger Standortwechsel bei den Pflanzen Stress verursacht, da dies für sie einen unnatürlichen Prozess darstellt.

weitere Unterteilungsmöglichkeiten

Eine weitere mögliche Unterteilung ist die Einteilung in offene bzw. geschlossene Systeme.⁴⁶ Bei offenen Systemen sind die Pflanzgefäße unten nicht geschlossen und überschüssiges Bewässerungswasser kann somit frei abfließen, wodurch das System weniger anfällig für falsches Bewässern ist. Bei geschlossenen Systemen kann sich Wasser im Behälter ansammeln, jedoch wird bei organischen Substraten ein

46 Vgl. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, 2011.



Abb. 14: System der Fa. Naava

Aquaponik (Aquakultur und Hydroponik)

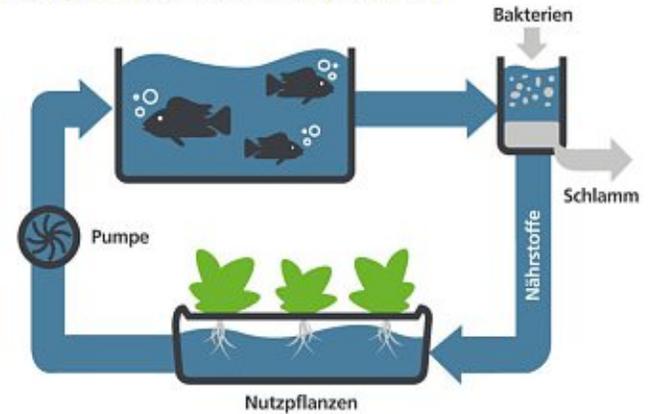


Abb. 15: Prinzip der Aquaponik erklärt: eine Verbindung von Aquakultur und Hydroponik



Abb. 16: Gemüseanbau für die Landwirtschaft mittels Fogponics der Fa. Aerofarms

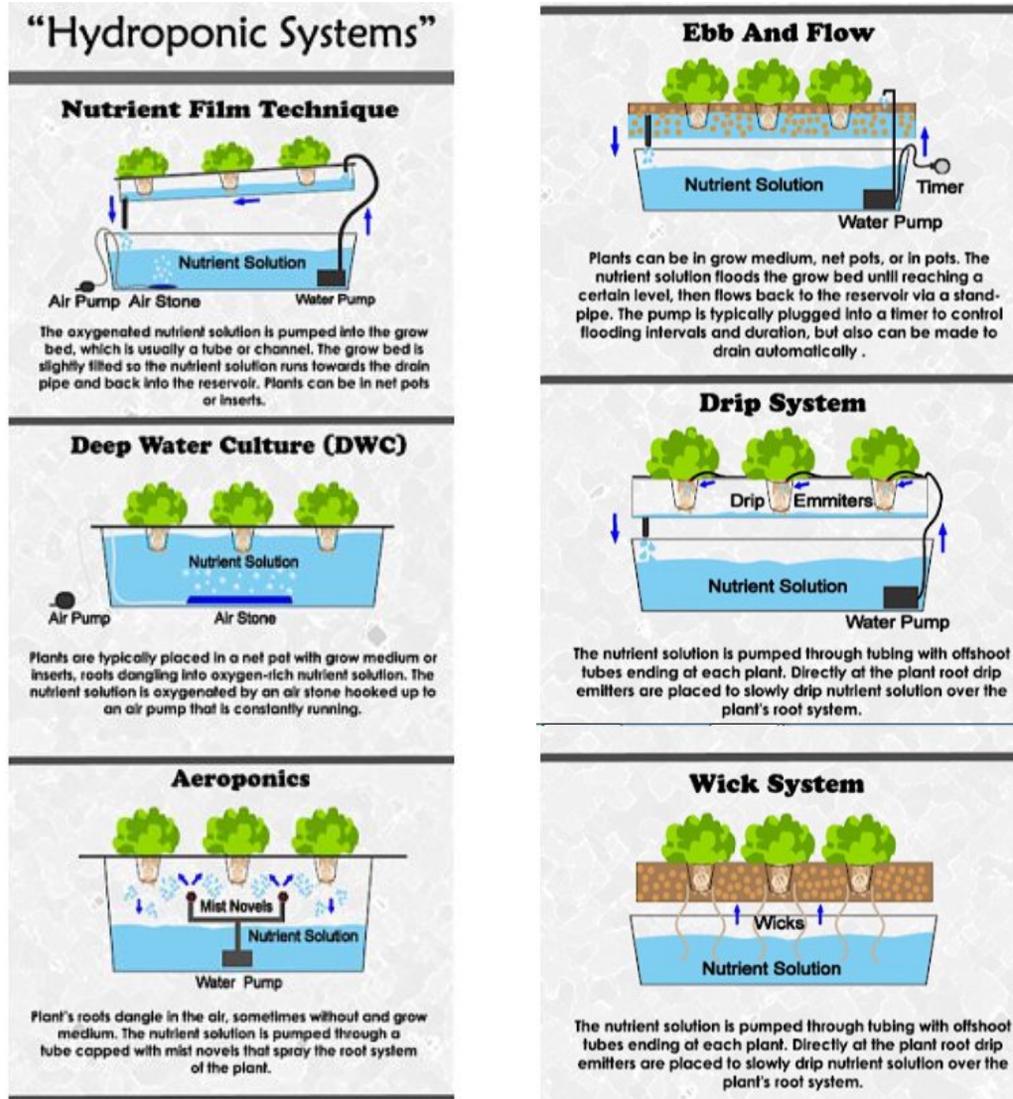


Abb. 17: schemenhafte Erklärung der verschiedenen Hydroponiksysteme

einschichtiger Substrataufbau aufgrund von Fäulnisgefahr nicht empfohlen. Der Substrataufbau in den Gefäßen kann grundsätzlich einschichtig oder mehrschichtig erfolgen. Im mehrschichtigen Aufbau sollte ein anorganisches Substrat in der wasserführenden Schicht verwendet werden. Die Vegetationstragschicht kann auch aus einem mineralisch-organischen oder rein organischen Material bestehen. Bei Bedarf muss eine Filterschicht installiert werden.⁴⁷

Die folgenden beiden Kategorien seien der Vollständigkeit halber erwähnt, auch wenn es sich dabei per se nicht um vertikale Begrünungssysteme im Innenraum und hauptsächlich um Formen des Gemüseanbaus handelt. Dennoch kommt das ein oder andere der genannten Systeme in Zukunft eventuell vermehrt für den Privat- bzw. Bürobereich statt vertikalen Begrünungssystemen in Frage.

Hydroponik (griechisch hydor = Wasser, pónos = Arbeit; auch Hydrokultur) ist das erdelose Kulturverfahren im Gemüsebau, welches mittlerweile auch als vertikales Begrünungssystem für zu Hause existiert (**Abb. 14**). Als Substrat dienen meist Blähtonkugeln und die Wurzeln erhalten Sauerstoff zur Wurzelatmung. Die dem Wasser zugesetzten Nährsalze werden dabei entweder von der Pflanze aufgenommen oder konzentrieren sich in einer Lösung. Unter diese Kategorie fallen auch Systeme wie Aeroponik oder Fogponics (Näheres s. **Abb. 15-17**). Der Prototyp des ersten Testaufbaus der vorliegenden Diplomarbeit kann auch in dieser Kategorie angesiedelt werden.

47 Vgl. Zluwa, 2013, S. 17-18.

Als Aquaponik versteht man wörtlich die Zusammensetzung aus den Wörtern Aquakultur und Hydroponik. Sie ist eine Vorgehensweise, die Methoden der Anzucht von Fischen in Aquakultur mit dem Anbau von Nutzpflanzen durch Hydrokultur vereinigt.⁴⁸ Für den Privatgebrauch oder im Büro bilden Aquaponiksysteme eindeutig die Ausnahme. Heutzutage werden sie für die Landwirtschaft konzipiert und punkten dort durch den Ansatz moderner Kreislaufwirtschaft.⁴⁹

48 Vgl. Dudenredaktion (Hrsg.): Aquaponik, Duden online, o. J., [online] <https://www.duden.de/rechtschreibung/Aquaponik>.

49 Vgl. Eichhorn, Theresa/Oliver Meixner: Factors Influencing the Willingness to Pay for Aquaponic Products in a Developed Food Market: A Structural Equation Modeling Approach, in: Sustainability, Jg. 12, Nr. 8, 2020, doi: 10.3390/su12083475, S. 3475.

TESTUNG

1. TESTAUFBAU: BAUPHYSIKALISCHE WIRKUNG

Einführung

Für den ersten Test wird ein bestimmter Prototyp entwickelt. Ziel ist es, ein einfaches modulares System zur automatisiert bewässerten Innenraumbegrünung zu entwickeln und zu testen (Abb. 26-28). Die Annahmen lauten wie folgt: In jenem Raum, in dem der Prototyp mit der Innenraumbegrünung errichtet wird,

- tritt ein Kühlungseffekt durch die Bepflanzung ein,
- ist eine erhöhte Luftfeuchtigkeit vorzufinden, die sich natürlich und selbstständig reguliert, und
- verbessern sich sowohl das Raumklima als auch die hygrothermische Behaglichkeit.

Die Prüfung, ob sich die Annahmen als richtig erweisen oder diese widerlegt werden müssen, wird in den folgenden Kapiteln durchgeführt.

Methodik des 1. Testaufbaus

Der Ort der Testung sind die Räumlichkeiten der Technischen Universität Wien am Standort Science Center Arsenal in der Franz-Grill-Straße 9/Objekt 214, 1030 Wien (Abb. 18-19). Die Grundrisse zeigen die Situierung im ersten Stock und innerhalb des Gebäudes (Abb. 20-21)

Während der ersten Testperiode ist Raum A mit dem Prototypen bestückt und Raum B gilt als Referenzraum. In der zweiten Testperiode wird der Prototyp in Raum B verschoben um ein mögliches Auftreten von Messungenauigkeiten der verwendeten Instrumente sowie einen möglichen Einfluss der unterschiedlichen Parameter des Raumes im Gebäude auszuschließen.

Raum A hat $19,58 \text{ m}^2$ und die Abmessungen $4,35 \text{ m} \times 4,50 \text{ m}$. Er ist auf der Fensterseite $4,70 \text{ m}$ und auf der Türseite $4,30 \text{ m}$ hoch und, wie in den Grundrissen (Abb. 20-21) ersichtlich, an der südwestlichen Gebäudeecke situiert. Im ersten Stock befindlich, ist er mit einer zweiteiligen Fensterfront Richtung Nordwesten orientiert. Die Netto-Glasfläche der Fenster beträgt, ebenso wie in Raum B, $6,65 \text{ m}^2$. Die Möglichkeiten der Raumlüftung sind begrenzt durch zwei öffnen- und kippbare Fenster sowie die Zimmertüre. Es ist



Abb. 18: Science Center Arsenal, TU Wien



Abb. 19: 3D Satelliten Aufnahme des Science Centers Arsenal; in Grün das Gebäude in dem die Tests durchgeführt wurden

also, wie auch in Raum B, keine eingebaute mechanische Lüftung vorhanden. Den Naturmaßen entsprechend umfassen die Räume ein Volumen von je etwa 88 m^3 .

Die räumlichen Gegebenheiten von TestRaum A und TestRaum B sind nahezu ident. Größter Unterschied ist, dass sich Raum B im Gegensatz zu Raum A nicht an einer

Gebäudeecke befindet, sondern von den angrenzenden Zimmern seitlich umschlossen wird (siehe Grundriss, **Abb. 20**). Die Grundfläche von Raum B ist mit $19,88 \text{ m}^2$ ($4,35 \text{ m} \times 4,57 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$) um nur $0,3 \text{ m}^2$ größer als Raum A. Die Fensterfront sorgt auch in diesem Zimmer für ausreichend Tageslicht für Mensch und Pflanze.

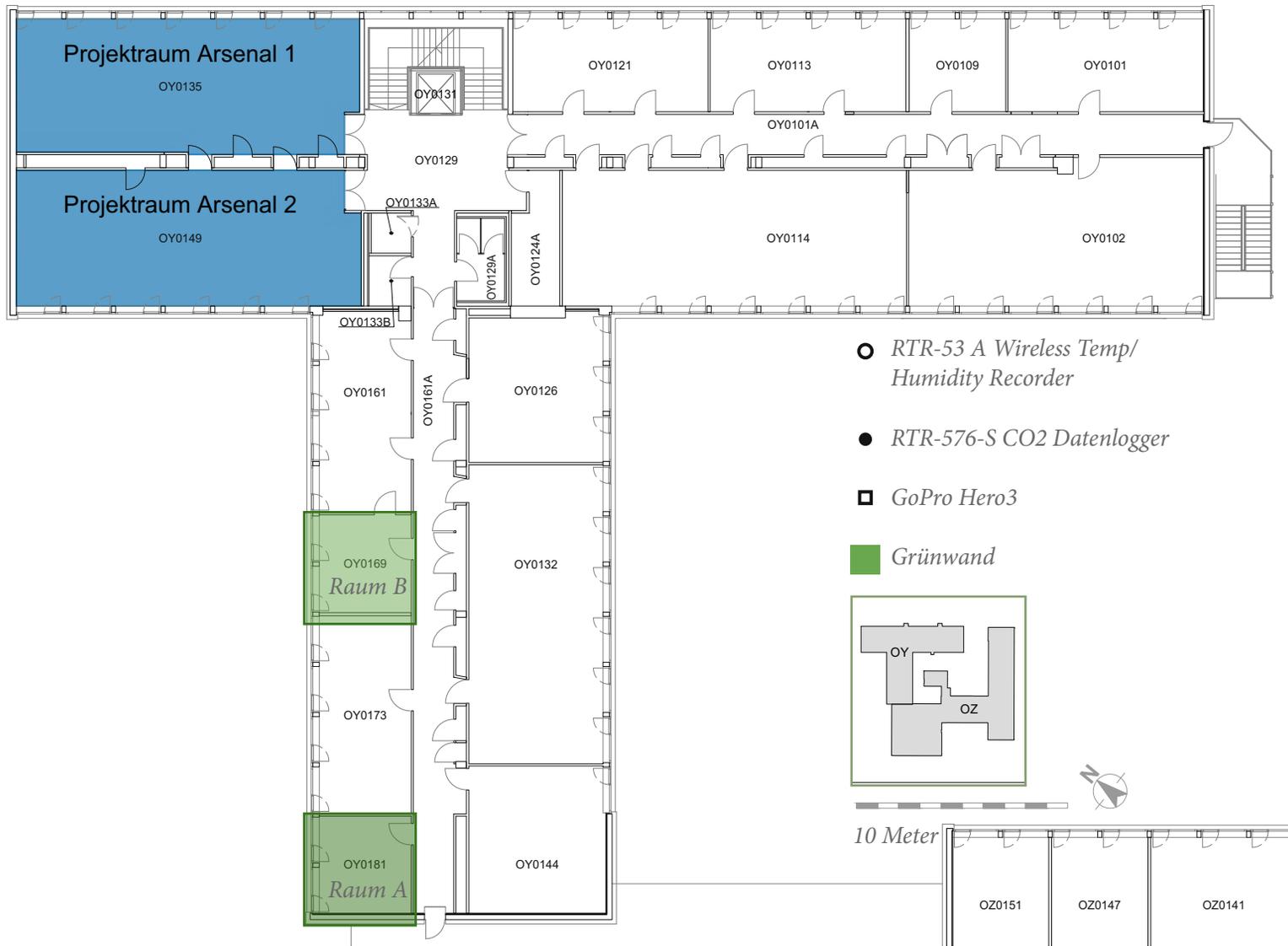
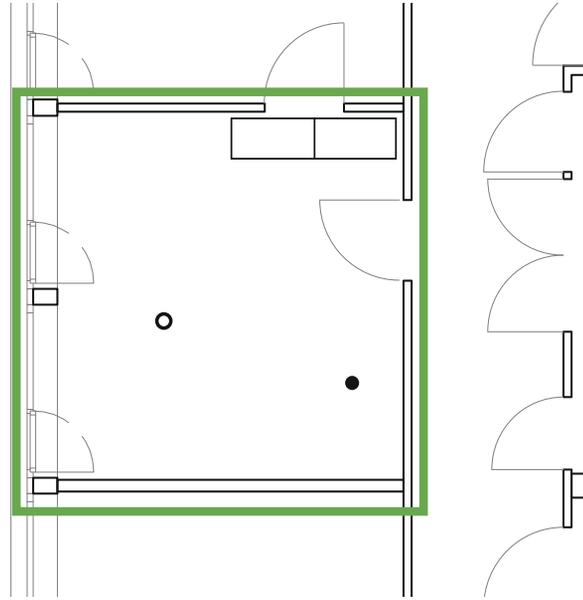


Abb. 20: Grundriss Trakt OY, 1.OG

5 Meter



TESTAUFBAU 1

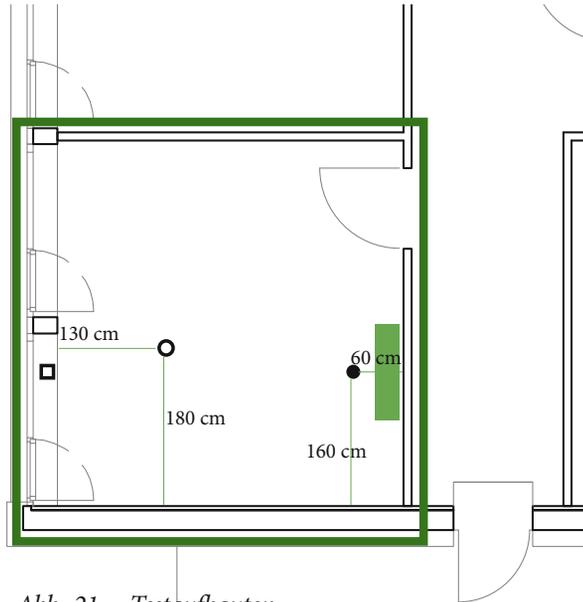
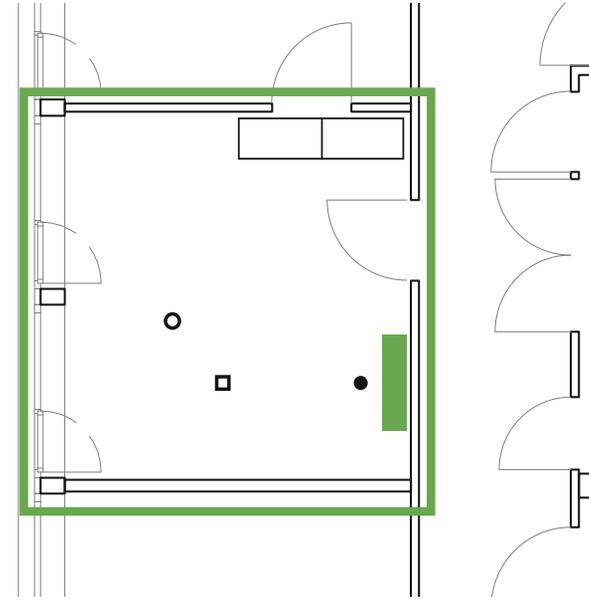


Abb. 21: Testaufbauten

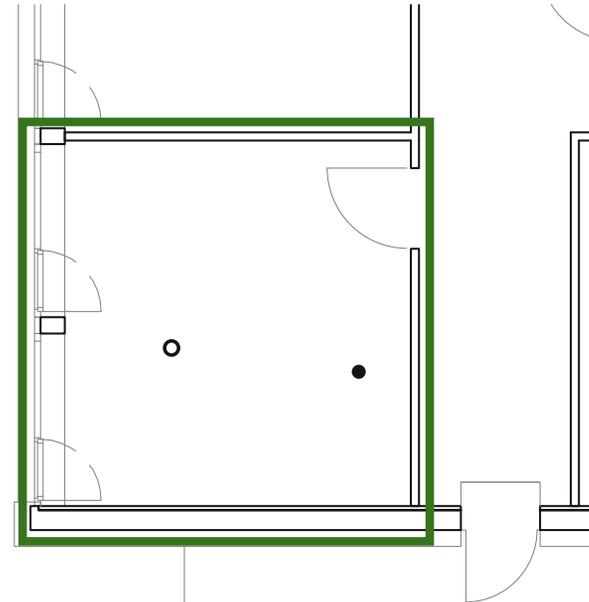


Raum B



TESTAUFBAU 2

Raum A



Während Testperiode 1 (21. August 2020 bis 30. September 2020) wird der Prototyp, wie eingangs erwähnt, im Raum A installiert. Die verwendeten Messgeräte werden wie folgt aufgestellt:

- 20 cm vor der Pflanzenwand auf 90 cm Höhe: Datenlogger zur Aufzeichnung von Temperatur und Feuchtigkeit.
- Sensor zur Aufzeichnung von Temperatur, Feuchtigkeit und CO₂-Gehalt in der Raummitte auf 200 cm Höhe gehängt.

Analog dazu ist Raum B ausgestattet (**Abb. 21**).

In der Testperiode 2 (1. Oktober 2020 bis 28. Oktober 2020) wird der Prototyp in Raum B aufgestellt und Raum A fungiert als Referenzraum.

Verwendete Messinstrumente

Für die Aufzeichnung der Messdaten werden folgende Instrumente gewählt:

- 1x T&D “RTR-500MBS Mobile Basisstation” zum Datenabruf der Aufzeichnungen (**Abb. 22.1**)
- 2x T&D “RTR-576 CO₂ Datenlogger” (je 1x in Raum A bzw. B) zur Aufzeichnung von Temperatur, Feuchtigkeit und CO₂-Gehalt (**Abb. 22.2**)
- 2x T&D “RTR-53 A Wireless Temp/Humidity Recorder” (je 1x in Raum A bzw. B) zur Aufzeichnung von Temperatur und Feuchtigkeit (**Abb. 22.3**)
- 1x GoPro “Hero3 black” zur Aufzeichnung von Bild-

und Videomaterial: Zeitpunkt der Öffnung der Türen, Entwicklung der Pflanzen über einen längeren Zeitraum etc. (**Abb. 22.4**)

Versuchsdurchführung

In **Abb. 23** ist die Versuchsdurchführung vereinfacht und übersichtlich dargestellt.

Die gesamte Testung dauert vom 21. August 2020 bis inklusive 28. Oktober 2020 und somit 69 Tage. Gestartet wurde im Hochsommer, als die Temperaturen noch deutlich höher lagen als im weiteren Verlauf der Testung. Herbstbeginn ist nach 32 Tagen (22. September 2020). Somit finden 46,4 % der Testung im Sommer und 53,6 % im Herbst statt. Der Außentemperaturverlauf über den gesamten Zeitraum ist in **Abb. 64** ersichtlich und wird von der “Wetterstation 1030 Wien - Rennweg/Aspanggründe” aufgenommen. Trotz der räumlichen Distanz von 1,35 km (**Abb. 24**) wird dies als weitere Referenz zur Betrachtung hinzugefügt, da die Entfernung zu der nächstgelegenen Messstation der ZAMG noch größer wäre. Die private Wetterstation befindet sich im 3. Wiener Gemeindebezirk unweit des Rennwegs auf den Aspanggründen in einer Höhe von rund 188 m ü. A. (ca. 9 m über Grund). Gemessen wird mit der Wetterstation “Vantage Pro2” der Firma Davis (**Abb. 25**). Bei längerfristiger Sonneneinstrahlung kann die Station aufgrund der nicht optimalen Positionierung in Gebäudenähe unter Umständen eine Temperaturabweichung von ca. +2°C oder +3°C anzeigen.⁵⁰

⁵⁰ Vgl. Müller, Chris: Wetterstation 1030 Wien / Aspanggründe, in: wetter1030.at, [online] <http://www.wetter1030.at> [14.02.2021].



Abb. 22: die verwendeten Messgeräte

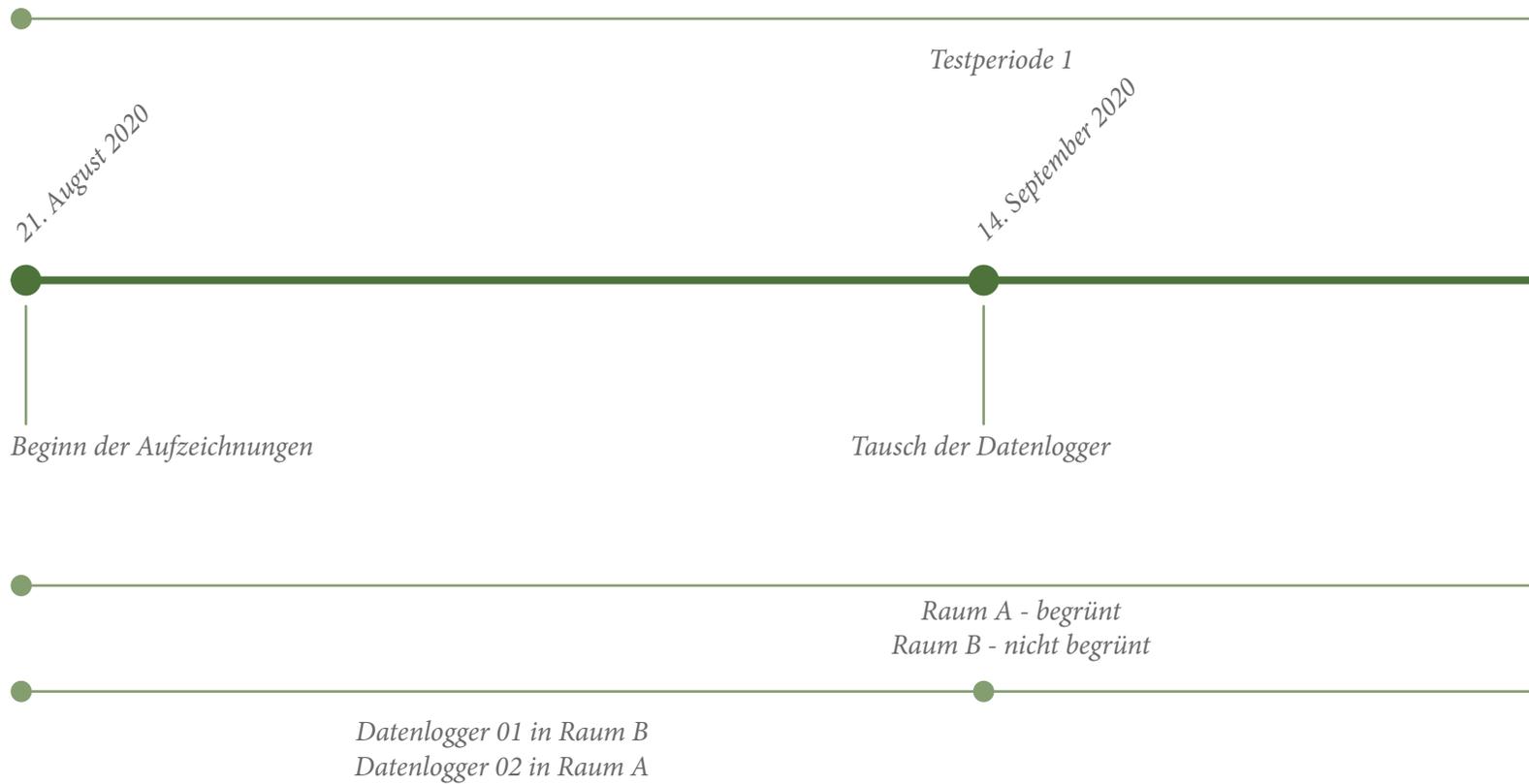


Abb. 23: Zeitstrahl der Testabfolgen

24. September 2020

Pflanzentausch
und Änderung der
Bewässerungs-
häufigkeit

30. September 2020

Raumtausch

Fehler Datenlogger 02
(Raum B)

5. Oktober 2020

21. Oktober 2020

Personen in
Räumen

28. Oktober 2020

Ende der
Aufzeichnungen

Testperiode 2

Raum A - nicht begrünt
Raum B - begrünt

Datenlogger 01 in Raum A
Datenlogger 02 in Raum B



Abb. 24: in Grün die Distanz zwischen der Hobbymessstation von Chris Müller (links) und dem Science Center Arsenal

Zu einem großen Teil sind die Raumtemperaturen innerhalb des Gebäudes von den Außentemperaturen abhängig, da zu jedem gemessenen Zeitpunkt bis zum 15. Oktober die Heizkörper nicht in Betrieb sind. Eine schlüssige Relation zu Außenraum- und Innenraumtemperatur ist im Kapitel „Vergleich Testperiode 1 und Testperiode 2“ zu finden. Die Testperiode 1, in der sich der Prototyp in Raum A befindet und Raum B der Referenzraum ist, beginnt am 21. August und endet am 30. September 2020. Die Testperiode 2 (Raum A als Referenzraum und Raum B als begrünter Prototypraum) dauert vom 1. Oktober bis zum 28. Oktober 2020. Prozentuell betrachtet ist die Innenraumbegrünung also zu 58 % der Zeit im Raum A und zu 42 % der Zeit in Raum B. Es erfolgt über die gesamte

Testperiode hinweg keine Raumlüftung. Das bedeutet, dass alle Fenster sowohl in Raum A (begrünt) als auch Raum B (nicht begrünt) zu jedem Zeitpunkt verschlossen sind, lediglich die Zimmertüre wird zur Raumreinigung und Überprüfung der Testung geöffnet. Dies entspricht, entgegen der Empfehlung von **Tab. 2**, bewusst dem “Worst Case”-Nutzerverhalten, wie man es jedoch in Büros häufig vorfindet. Die einzige Ausnahme bildet der Zeitraum zwischen dem 21. und 24. September. Hier werden die Fenster in beiden Räumen gleichzeitig händisch geöffnet. Die generierten Messdaten dieser Periode führen jedoch zu nicht verwertbaren Schwankungen, werden daher im Nachhinein gelöscht und nicht näher betrachtet. Der T&D “RTR-576 CO₂ Datenlogger 01” ist vom Teststart bis zum

14. September 2020 in Raum B und im Anschluss daran in Raum A aufgestellt. Analog dazu befindet sich der T&D “RTR-576 CO₂ Datenlogger 02” bis zum 14. September in Raum A und ab diesem Datum bis zum Testende in Raum B. Der Tausch der Datenlogger wird vorgenommen um ein mögliches Auftreten von Messungenauigkeiten der verwendeten Instrumente sowie einen möglichen Einfluss der unterschiedlichen Parameter des Raumes im Gebäude auszuschließen.

Am 24. September, 35 Tage nach Testbeginn, wird die Bepflanzung erneuert. Zwei Bergpalmen (*Chamaedorea elegans*), sieben Stück des Gemeinen Efeus (*Hedera helix*) und zwei Efeutute (*Epipremnum aureum*) der insgesamt 36 Pflanzen sind abgestorben. Dies entspricht etwa 30,56 % der Gesamtbepflanzung. Aufgrund dieser Tatsache und der Vermutung einer Überwässerung wird ebenfalls nach 35 Tagen die Bewässerungsintensität verringert. Wird bis zum 24. September noch drei Mal täglich automatisiert bewässert (morgens, mittags, abends), wird dies ab dem genannten Tag nur noch montags, mittwochs und freitags (drei Mal pro Woche) jeweils um 8.30 Uhr morgens vorgenommen.



Abb. 25: Wetterstation Aspanggründe: „Vantage Pro2“

Im Zuge des Raumtausches am 20. September 2020 und des damit einhergehenden Wiederaufbaus des Prototypen werden auch die Verbindungsstücke zwischen den einzelnen Modulen ausgetauscht und verbessert (s. Kapitel „Fotodokumentation“). Die neuen 3D gedruckten Kappen sind präziser hergestellt und ermöglichen ein einheitliches Verteilen des Wassers von Pflanze zu Pflanze. Am

	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 ²]	0,2***	0,1***	0,08***	Umsetzung problematisch

* 8-10 Stoßlüftungen pro Tag - ** weniger als 8 Stoßlüftungen pro Tag - *** pro m² Klassenfläche

Tab. 2: Dimensionierung Innenraumbegrünung - Lüftung;

21. Oktober 2020 wird in etwa zeitgleich in Raum A (nicht begrünt) und Raum B (begrünt) getestet, inwieweit sich die Messergebnisse verändern, wenn sich jeweils eine Person über einen Zeitraum von zwei Stunden im Raum mit und ohne dem Prototypen aufhält. Näheres dazu findet sich in der Diplomarbeit meines Kollegen „Innenraumbegrünung: Systemdesign und seine Auswirkungen auf die CO₂ Konzentration“ von Marko Marisavljevic. Am 28. Oktober 2020 werden nach 117.708 erfassten Datenpunkten die Messungen gegen 13.30 Uhr beendet.

Hauptbestandteil und Herzstück zur Testauswertung sind die beiden T&D “RTR-576 CO₂ Datenlogger”. Aufgestellt auf 90 cm Höhe nehmen sie über den gesamten Zeitraum im Fünfminutentakt CO₂-Gehalt [ppm] (vgl. dazu auch die Diplomarbeit meines Kollegen Marko Marisavljevic), Temperatur [°C] und Feuchtigkeit [% RH] auf. Mit einem Temperaturmessbereich von -25° bis 70°C und einem Feuchtemessbereich von 0 bis 99 % RH sind die Geräte für die gegebenen Bedingungen mehr als ausreichend. Die Temperatur wird auf eine Kommastelle (0,1 °C) und die Feuchte auf 1 % RH genau gemessen. Weil die Datenlogger bis zu 8.000 Messwerte (CO₂, Temperatur, Feuchte) aufzeichnen können und wie erwähnt alle fünf Minuten ein Messwert gespeichert wird, muss die Messung in Etappen erfolgen.

Mit dem gewählten Zeitintervall könnte eine durchgehende Aufzeichnung für max. 27,78 Tage erfolgen (8.000 * 5 min / 60 min / 24 h). In unregelmäßigen Abständen werden die gesammelten Daten via Funk an die T&D “RTR-500MBS Mobile Basisstation” gesendet und im Anschluss auf

dem PC gespeichert. Die Messgenauigkeit des RTR-576 liegt bei der Temperaturmessung bei $\pm 0,3$ °C und bei der Feuchtemessung bei $\pm 2,5$ %RH [bei 25 °C, 50 %RH].⁵¹

Um die gesammelten Daten übersichtlich darzustellen und zu analysieren, werden verschiedene Methoden gewählt. Die Aussagekraft der Messwerte soll mittels verschiedener Darstellungsmethoden das Größtmögliche an Information bringen, dadurch legitime Vergleiche zwischen den Räumen erlauben und letztendlich zu plausiblen Schlussfolgerungen führen. Zuerst wird mit deskriptiver Statistik gearbeitet um sich im Anschluss daran mit verschiedenen Diagrammdarstellungen zu befassen.

Die deskriptive (auch: beschreibende) Statistik hat zum Ziel, empirische Daten (in dem Fall die Daten der Messungen) durch Tabellen, Kennzahlen bzw. Parameter und Grafiken erfassbar wiederzugeben. Kenngrößen sind hierbei verschiedene Lage-, Streuungs- und Zusammenhangsmaße. Einfache Parameter sind etwa der Mittelwert, komplexere etwa die Streuung, die Standardabweichung oder der Korrelationskoeffizient. Das entscheidende Charakteristikum der deskriptiven Statistik ist es, dass ausschließlich Aussagen zum Datensatz selbst gemacht werden.⁵²

51 Vgl. Datenlogger-Store - Christoph Waller: T&D RTR-576-S CO₂ Datenlogger, in: Datenlogger-Store - Christoph Waller, [online] <https://www.datenlogger-store.de/rtr-576-s-datenlogger-co2-feuchte-temperatur.html> [15.02.2021].

52 Vgl. Statista: Deskriptive Statistik - Statista Definition, in: Statista Lexikon, [online] https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/49/deskriptive_statistik/ [15.02.2021].

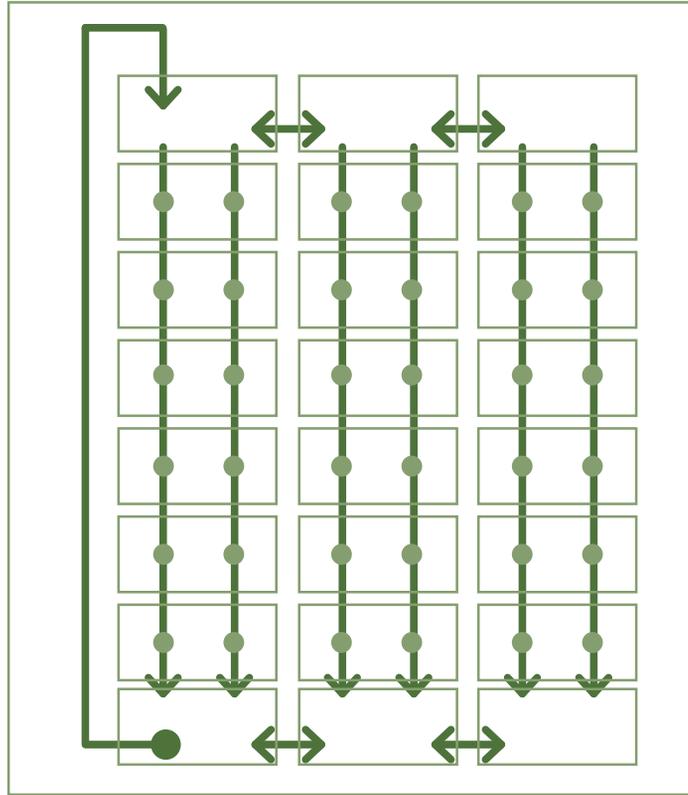


Abb. 26: Wasserflussdiagramm des ersten Prototypen



Abb. 27: der unbestückte Prototyp inkl. Wassertank und Pumpe

Weiters wird dazu eine Diagrammdarstellung mit Temperatur in °C bzw. Feuchtigkeit in % RH auf der x-Achse und der verstrichenen Zeit auf der y-Achse gewählt. Ebenso kommen Darstellungen als Histogramme, Boxplot-Diagramme oder als Behaglichkeitsdiagramme zur Verwendung.

Die gewählten Darstellungsmethoden lauten:

- Temperatur-Zeit-Diagramm
- Feuchtigkeit-Zeit-Diagramm
- Histogramm
- Boxplot-Diagramm
- Behaglichkeitsdiagramm

Ein Histogramm ist eine ungefähre Darstellung der Häufigkeitsverteilung numerischer Daten. Um ein Histogramm zu erstellen, muss zunächst der Wertebereich der sogenannten Klassen unterteilt und dann gezählt werden, wie viele Werte in jedes Intervall fallen. Die Klassen werden normalerweise als aufeinanderfolgende, nicht überlappende Intervalle einer Variablen angegeben. Die Klassen (Intervalle) müssen benachbart sein und sind meistens (aber nicht unbedingt) gleich groß. Wenn die Klassen gleich groß sind, wird über der Klasse ein Rechteck mit einer Höhe errichtet, die proportional zur Häufigkeit, der Anzahl der Fälle in jeder Klasse, ist. Finden sich also viele Messpunkte in einer Klasse, hat diese eine größere Häufigkeit und somit einen höheren Wert auf der y-Achse. Histogramme geben somit einen ersten Überblick von der Dichte der gegebenen Datenverteilung.

Ein Histogramm ist eine Darstellung proportional zur Fläche der vorliegenden Häufigkeiten. Wenn genau die relativen Klassenhäufigkeiten zur Erstellung des Histogramms verwendet werden, wird das Histogramm als relativ oder normiert bezeichnet. Da die Flächen der Rechtecke nun der relativen Klassenhäufigkeit entsprechen, addieren sich die Flächen in diesem Fall zu 1. In einem Histogramm sind die Rechtecke im Gegensatz zum Säulendiagramm direkt nebeneinander, das heißt es gibt keinen Abstand zwischen ihnen. Denn die Breite der Rechtecke entspricht den gebildeten Intervallen (Klassen), die auch direkt nebeneinander liegen. Im Gegensatz zu einem Balkendiagramm muss die x-Achse eines Histogramms immer eine Skala mit geordneten und äquidistanten Werten sein.

Drei Merkmale eines Histogramms können verwendet werden, um die angegebene Verteilung zu bewerten: der allgemeine Kurvenverlauf, die Streuung und die Zentrierung mit ihren Lageparametern.

Die Normalverteilung ist ein wichtiger Typ aus der Stochastik, um Streuungen optisch darzustellen. In der Wahrscheinlichkeitstheorie und -statistik gehört die Normalverteilung zu den am häufigsten verwendeten Wahrscheinlichkeitsgesetzen zur Modellierung natürlicher Phänomene, die aus mehreren zufälligen Ereignissen resultieren. Sie beziehen sich auf viele mathematische oder auch naturwissenschaftliche Objekte, wie zum Beispiel Körpergröße, Länge von Haaren, Armen, Blutdruck usw.). Formal gesehen ist eine Normalverteilung ein absolut kontinuierliches Wahrscheinlichkeitsgesetz, das von zwei

Parametern abhängt: seiner Erwartung, einer reellen Zahl μ , und seiner Standardabweichung, einer positiven reellen Zahl σ . Die Normalverteilung stellt also die Häufigkeit dar und die normierte Funktion $f(x, \mu, \sigma)$ beschreibt eine streng symmetrische Kurve, die bekannterweise durch die Gauß'sche Glockenkurve dargestellt wird. Durch die Normierung ergibt die Fläche unterhalb der Kurve immer den Wert Eins (Integral). Die Normalverteilung des Mittelwerts Null und der Standardabweichung wird als reduzierte zentrierte Normalverteilung oder Standardnormalverteilung bezeichnet. Der Erwartungswert μ entspricht dem Maximum entlang der Abszissenachse und lässt sich vereinfacht als Mittelwert (arithmetisches Mittel) beschreiben. Die Standardabweichung σ gibt die Breite der Kurve an. Verläuft ein Graph also flach ist die Standardabweichung σ groß und damit auch die Streuung der Messwerte. Befinden sich die Messwerte nahe am Erwartungswert μ (die Standardabweichung σ ist klein), so ist die Kurve schmal und spitz. Die empirische 68-95-99.7 Regel besagt unter anderem, dass sich 68 % der Messwerte im Streuintervall von " $\mu - \sigma$ " und " $\mu + \sigma$ " befinden.

Der Boxplot vereinigt unterschiedliche robuste Streuungsmaße sowie Lagemaße in einer Übersicht. Er gibt ein rasches Verständnis darüber wieder, in welchem Rahmen sich die Werte befinden und wie sie sich über diesen aufteilen. Darum werden alle Daten in der sogenannten Fünf-Punkte-Zusammenfassung, also dem Median, der zwei Quartile und den beiden Extremwerten, repräsentiert. Die gemessenen Werte werden nach ihrer Größe sortiert, dadurch ergeben sich ein Minimum und ein Maximum, die



Abb. 28: der begrünte Prototyp

sogenannten Ausreißer. Im Anschluss werden das untere, und das obere Quartil sowie der Median ermittelt. Diese sind auch als 25 %-, 50 %- bzw. 75 %-Quantil benannt. Der Median, oder auch der Zentralwert, ist der tatsächliche Wert, der die Messreihe halbiert, und somit nicht mit dem arithmetischen Mittel zu verwechseln. Er wird im Diagramm üblicherweise mit einem Strich innerhalb der Box gekennzeichnet.

Der Bereich zwischen dem 25 %- und dem 75 %-Quantil heißt Interquartilbereich, umfasst ca. 50 % der Messwerte und um ihn wird ein Rechteck (die "Box") gezeichnet. Je länger die Box ist, desto größer ist die Streuung. Die Zonen links bzw. rechts der Box bilden die sogenannten Antennen (engl. "Whiskers") und liegen zwischen dem Minimalwert und dem ersten Quartil bzw. zwischen dem oberen Quartil und dem Maximalwert.

Die beiden beschriebenen Zonen sowie die Zone zwischen unterem bzw. oberem Quartil und Median umfassen jeweils 25 % der Messwerte. Sind die vier Abschnitte alle gleich groß, spricht man von einem normalverteilten Boxplot. Wahrscheinlicher jedoch ist eine sogenannte Schiefe, bei der die Antennen ungleich lang sind. Für Vergleiche werden Medianlage und Streubreite verschiedener Messungen herangezogen. Normalerweise ist das rechte Ende der Antenne der Maximalwert, jedoch gibt es verschiedene Ansichten, ob das Antennenende das tatsächliche Maximum ist oder ob es beispielsweise 90 % der Verteilung abdeckt und die anderen 10 % (das rechte 10 %-Quantil) separat mit Punkten oberhalb der Antenne als Ausreißer angezeigt werden. Bei vorliegender Auswertung entspricht

das rechte Antennenende 90 % der Verteilung und die verbleibenden 10 % werden separat vom Whisker als Ausreißer aufgetragen.

Die Darstellung der Behaglichkeit kann auf unterschiedliche Arten erfolgen.

"Behaglichkeitsgrenzen können [...] durch den PMV-Index und den PPD-Index angegeben werden."⁵³

Im Falle der vorliegenden Diplomarbeit werden die Behaglichkeitsdiagramme als Streudiagramme angeführt, wobei auf der y-Achse die relative Luftfeuchte in % und auf der x-Achse die Temperatur in °C aufgetragen werden. Als Unterstützung wurden Kreisdiagramme ergänzt, welche die drei Unterteilungen ("behaglich", "noch behaglich", "unbehaglich", hierbei: unbehaglich trocken bzw. unbehaglich feucht) des Behaglichkeitsdiagramms deutlicher machen.

Mit Hilfe all der erklärten Darstellungsmethoden werden eine qualitative Analyse und mögliche Zusammenhänge zwischen den untersuchten Parametern sichergestellt.

53 Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN ISO 7730, Ausgabe 2006-05-01: Ergonomie der thermischen Umgebung: Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit, Wien, Österreich: Österreichisches Normungsinstitut, 2006, S. 4.

Auswertung

Testperiode 1

Datenbereinigung

Betrachtet man die Daten im Testzeitraum von 21. August bis 30. September (erste Testperiode), erkennt man einige Ausreißer und Unstimmigkeiten in den Werten. Um die Aussagekraft zu der erfolgten Messung zu erhöhen, müssen diese Messwerte bereinigt werden. Im oberen Diagramm der **Abb. 29** sind die sieben Bereiche markiert, welche Unstimmigkeiten beinhalten. Diese sind:

1. 21. Aug. 11:40 Uhr bis 21. Aug. 21:30 Uhr → Direkt am Anfang der Datenaufzeichnungen befinden sich für eine längere Zeit Personen im Raum A (begrünt) und Raum B (unbegrünt). Dies hat die gemessene erhöhte Luftfeuchtigkeit zur Folge (Ausreißer in die positive Y-Richtung).
2. 23. Aug. 08:50 Uhr bis 23. Aug. 11:20 Uhr → Einzelner Ausreißer der Feuchtigkeit im Raum B in die positive Y-Richtung.
3. 26. Aug. 18:00 Uhr bis 26. Aug. 18:05 Uhr → Einzelner Ausreißer der Feuchtigkeit im Raum A in die negative Y-Richtung.
4. 21. Sep. 00:00 Uhr bis 24. Sep. 17:15 Uhr → Zeitraum, in dem in Raum A (begrünt) die Fenster geöffnet sind und somit die Raumtemperaturen erhöhten Schwankungen unterliegen, die letztendlich zur Auswertung keine bzw. geringe Aussagekraft haben.
5. 25. Sep. 14:05 Uhr bis 25. Sep. 18:15 Uhr

6. 26. Sep. 15:05 Uhr bis 26. Sep. 21:25 Uhr
7. 28. Sep. 12:55 Uhr bis 28. Sep. 17:05 Uhr

Bereiche 5-7: Raum A (begrünt) und Raum B (nicht begrünt) werden nacheinander betreten und die Türen sind geöffnet. Dies hat den gemessenen Temperaturabfall zur Folge (Ausreißer in die negative Y-Richtung). Das untere Diagramm (**Abb. 29**) zeigt den Verlauf nach der Datenbereinigung. Eine detailliertere Analyse zum Temperatur-Feuchte-Zeit-Diagramm in der ersten Testperiode beider Räume findet sich in Kapitel „Zeit-Diagramme“. Die beschriebene Datenbereinigung hat zur Folge, dass die ursprünglichen 11.378 Datenpunkte der ersten Testperiode auf 10.151 Datenpunkte reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion um 10,78 %; gleichzeitig erhöht dies aber die Aussagekraft der Erhebung.

Besonders in den Kastendiagrammen ist die erhöhte Aussagekraft ablesbar. Vergleicht man zum Beispiel das Kastendiagramm der Feuchtigkeit in Raum A (begrünt) vor und nach der Bereinigung, erkennt man, dass die einzelnen Ausreißer, die die oberen 10 % beschreiben, wegfallen (**Abb. 30-31**). Somit verringert sich in diesem Fall ebenfalls die gemessene Spannweite vom Minimum zum Maximum von 34 % auf 16 % und die Standardabweichung von 4,29 % auf 3,12 % (um 1,17 %).

Deskriptive Statistik

Über die erste Testperiode hinweg liegt der Mittelwert (arithmetisches Mittel) der Temperatur im Raum A (begrünt) bei 24,61 °C und im Raum B (nicht begrünt)

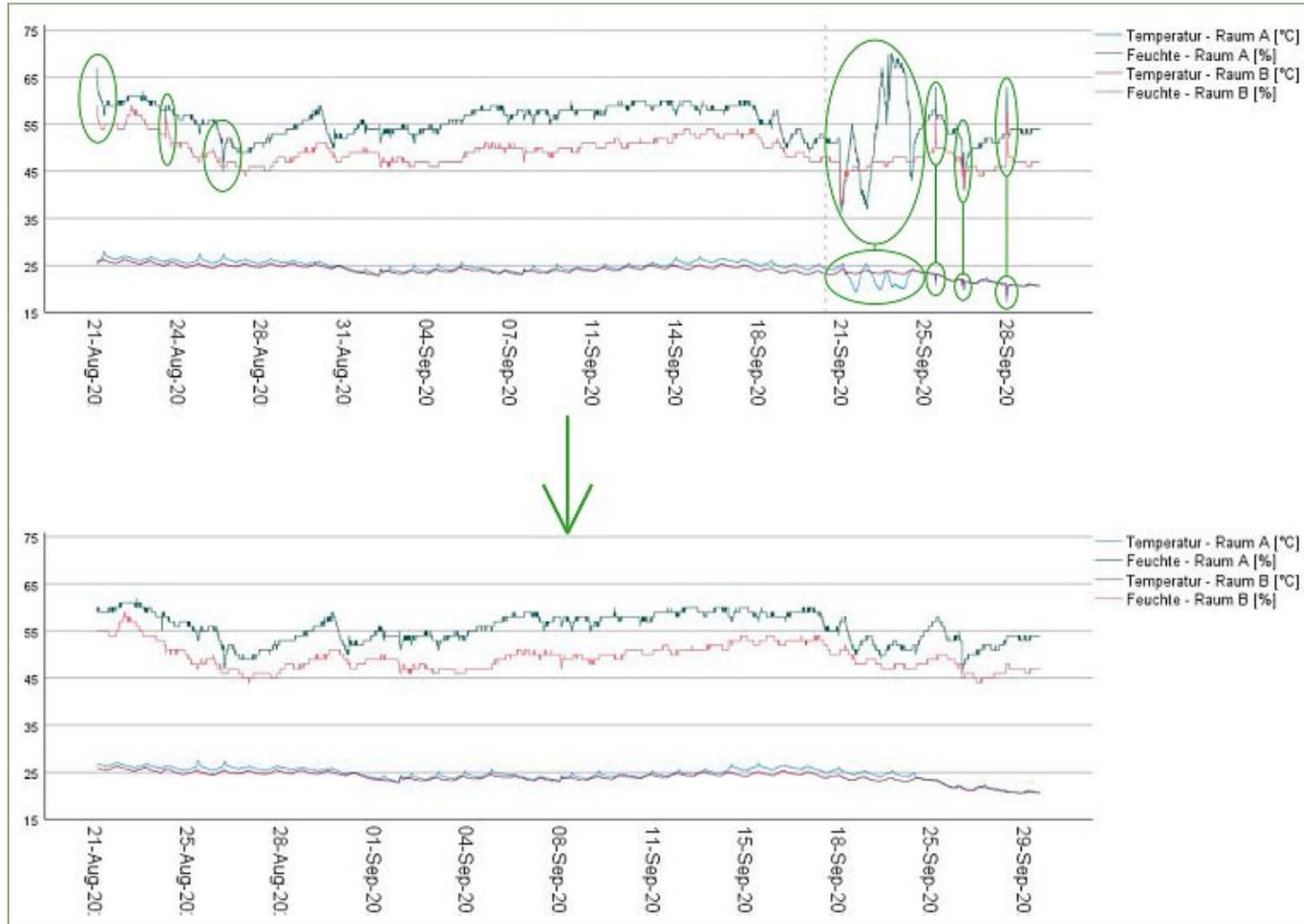


Abb. 29: Datenbereinigung bezogen auf Temperatur, Feuchte und Zeit der ersten Testperiode

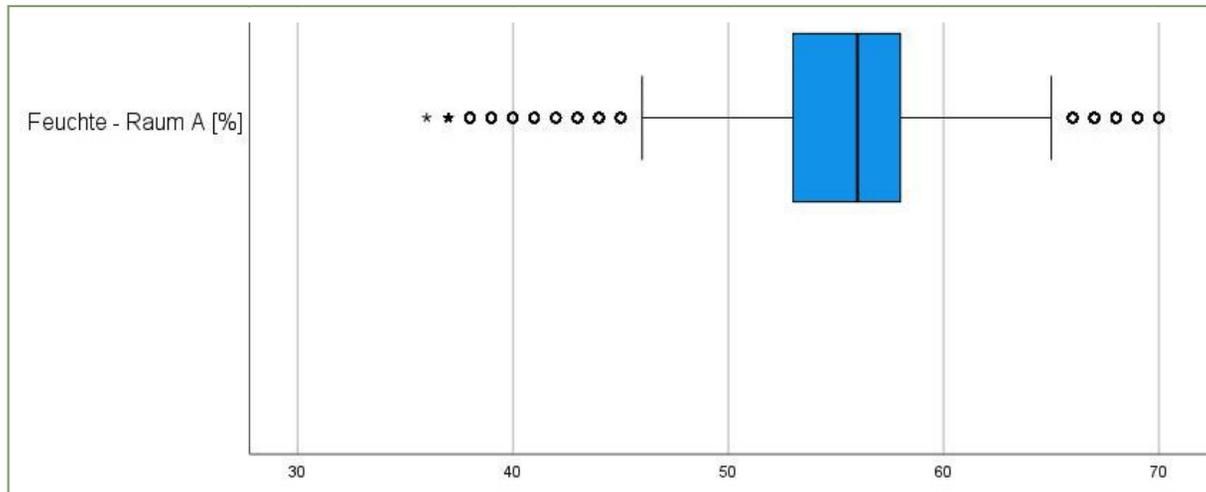


Abb. 30: Boxplot Feuchte - Raum A (begrünt), vor der Datenbereinigung

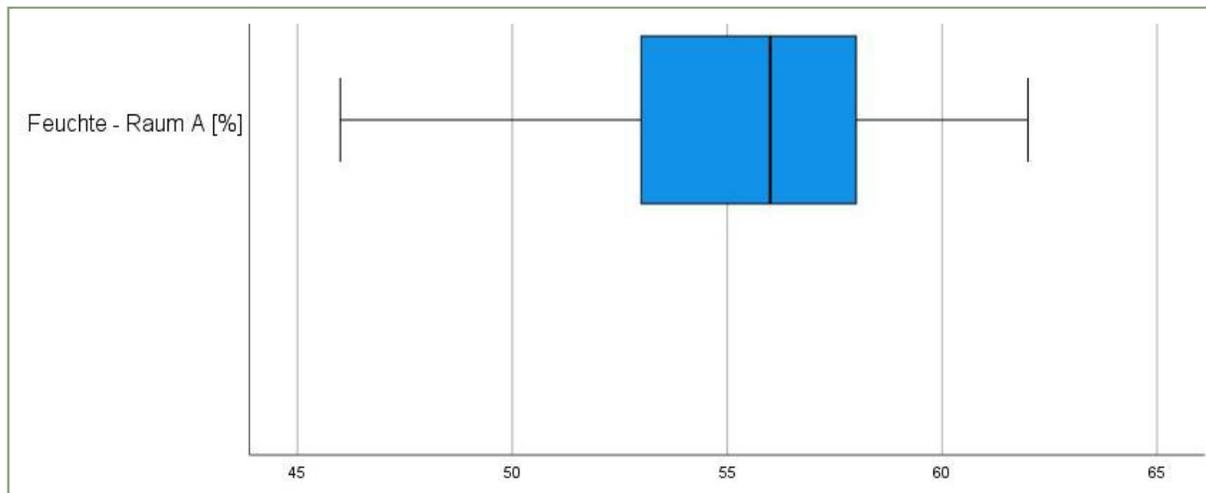


Abb. 31: Boxplot Feuchte - Raum A (begrünt), nach der Datenbereinigung

bei 23,99 °C (mittlere Temperaturdifferenz = 0,62 °C). Die mittlere Feuchte ist mit 55,60 % in Raum A (begrünt) um 6,16 % höher als in Raum B (nicht begrünt), in dem sich der Wert auf 49,44 % belief. Aus der Betrachtung der Extremwerte im ausgewählten Zeitraum gehen die Minima (Raum A, begrünt: 20,60 °C bzw. 46 %; Raum B, nicht begrünt: 20,60 °C bzw. 44 %) und Maxima (Raum A, begrünt: 27,5 °C bzw. 62 %; Raum B, nicht begrünt: 26,3 °C bzw. 59 %) hervor.

Die grafischen Darstellungen als Boxplots (**Abb. 32-35**) geben eine gute Übersicht, in welchem Rahmen sich die entsprechenden Werte befinden und wie sie sich darin genau gliedern. Die Begrifflichkeiten von Boxplots sind im Kapitel "Versuchsdurchführung" genauer erläutert. Vergleicht man beispielsweise die Temperatur in Raum A (begrünt) mit Raum B (nicht begrünt) in der ersten Testperiode (**Abb. 32-33**), so erkennt man, dass der Zentralwert bzw. Median der Raumtemperatur im Raum A (begrünt, 24,7 °C) höher ist als im ReferenzRaum B (nicht begrünt, 24,1 °C). Dies widerspricht der ersten der am Anfang des Kapitels getroffenen Annahmen: trotz Begrünung ist Raum A (begrünt) wärmer als Raum B (nicht begrünt). Die Vermutung liegt nahe, dass dies auf die Exposition von Raum A an der Gebäudekante zurückzuführen sein könnte (vgl. Kapitel "Testaufbau"). In der Testphase 2 wird die Begrünung in Raum B gesetzt, um diese Vermutung weiter zu untersuchen.

An dieser Stelle ist auch festzuhalten, dass mit dem Mittelwert von Raum A eine Standardabweichung von 1,44 °C einhergeht, welcher somit weniger repräsentativ

als der Mittelwert in Raum B ist, denn hier lag die Standardabweichung bei 1,17 °C. Ebenfalls belegt dies der höhere Interquartilbereich von Raum A (begrünt, 1,70 °C) verglichen mit Raum B (nicht begrünt, 1,30 °C).

Bei näherer Betrachtung der Feuchtigkeits-Boxplots in den beiden Räumen erkennt man gut, dass der Zentralwert bzw. Median der Feuchte im ReferenzRaum B (nicht begrünt, 49 %) niedriger ist als im Raum A (begrünt, 56 %). Dies spricht genau für die zweite Annahme der Einführung am Anfang des Kapitels: Dank der Begrünung ist Raum A feuchter als Raum B (nicht begrünt). In der Testphase 2 wird die Begrünung in Raum B gesetzt, um diesen Effekt weiter zu untersuchen. Jedoch darf man hierbei nicht die Korrelation mit der Temperatur außer Acht lassen und voreilige Schlüsse ziehen. Näheres dazu wird im Kapitel "Behaglichkeit" behandelt.

Passend dazu sei erwähnt, dass mit dem Mittelwert von Raum A eine Standardabweichung von 3,12 % einhergeht, welcher somit weniger repräsentativ als der Mittelwert in Raum B ist, denn hier liegt die Standardabweichung bei 2,71 %. Ebenfalls belegt dies der höhere Interquartilbereich von Raum A (begrünt, 5 %) verglichen mit Raum B (nicht begrünt, 4 %).

Betrachtet man erneut die Kastendiagramme (**Abb. 32-35**) sieht man, dass in keinem Diagramm alle vier Bereiche (linke Antenne, Zone links vom Median, Zone rechts vom Median und rechte Antenne) gleich lang sind. Nachdem zusätzlich dazu der Kolmogorov-Smirnov-Test in allen Fällen (Temperatur - Raum A, Feuchte - Raum A, Temperatur -

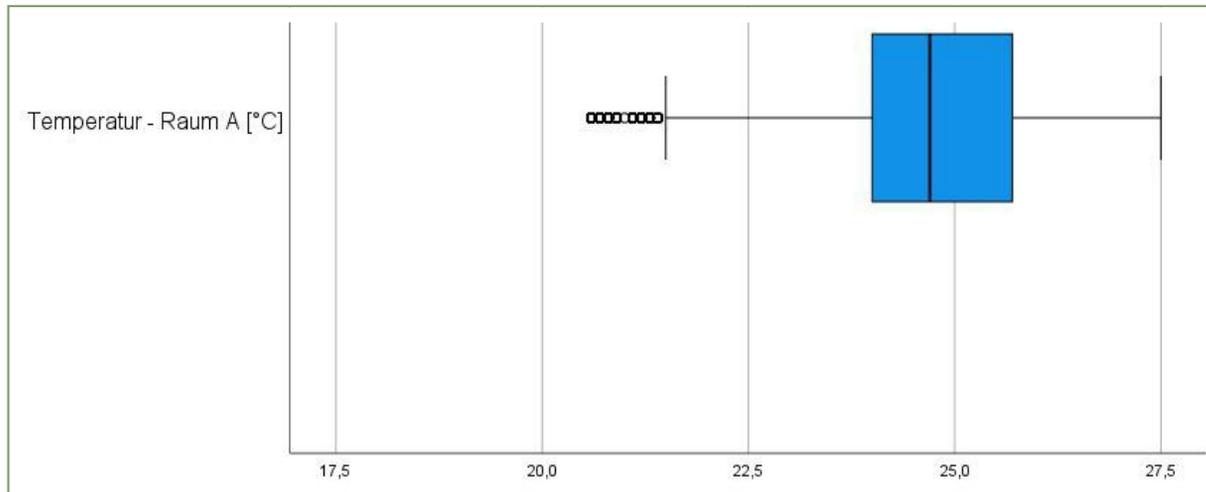


Abb. 32: Boxplot Temperatur - Raum A (begrünt)

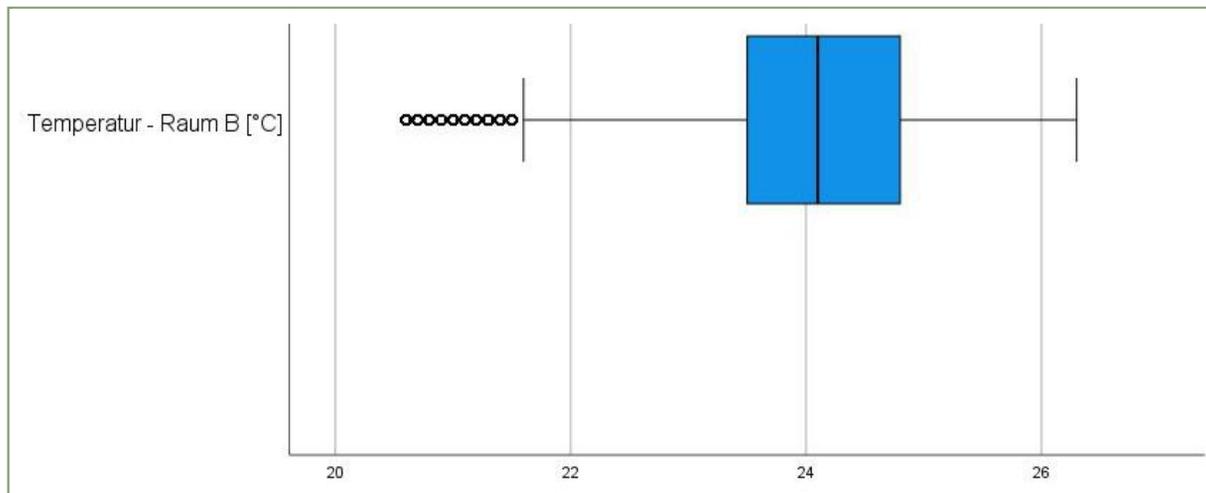


Abb. 33: Boxplot Temperatur - Raum B (nicht begrünt)

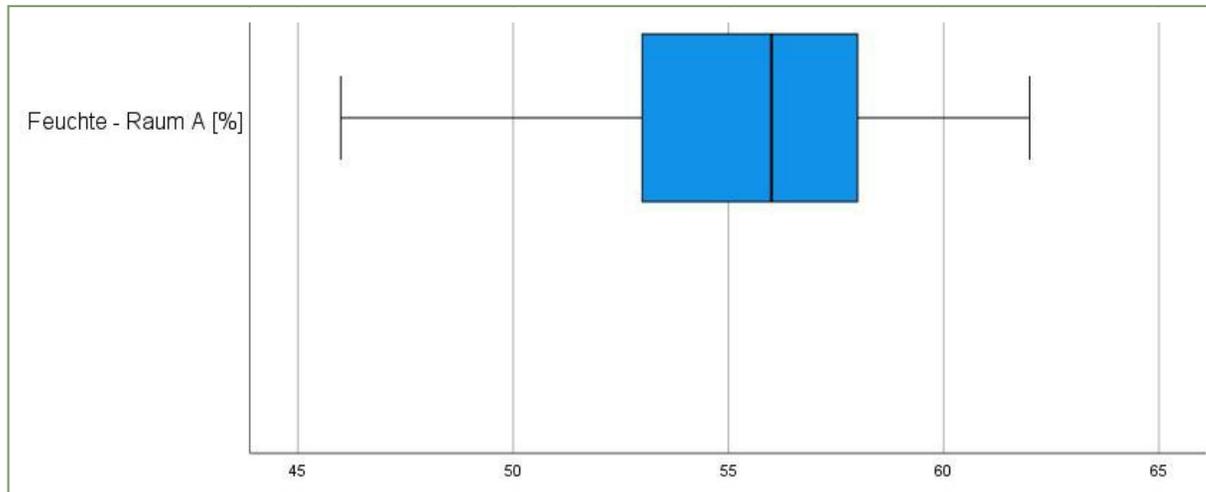


Abb. 34: Boxplot Feuchte - Raum A (begrünt)

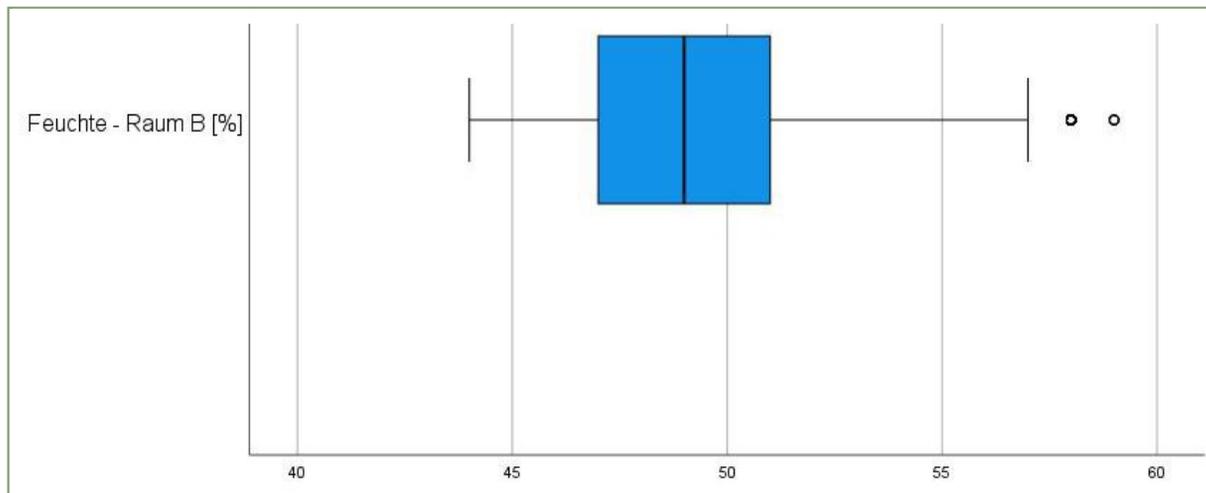
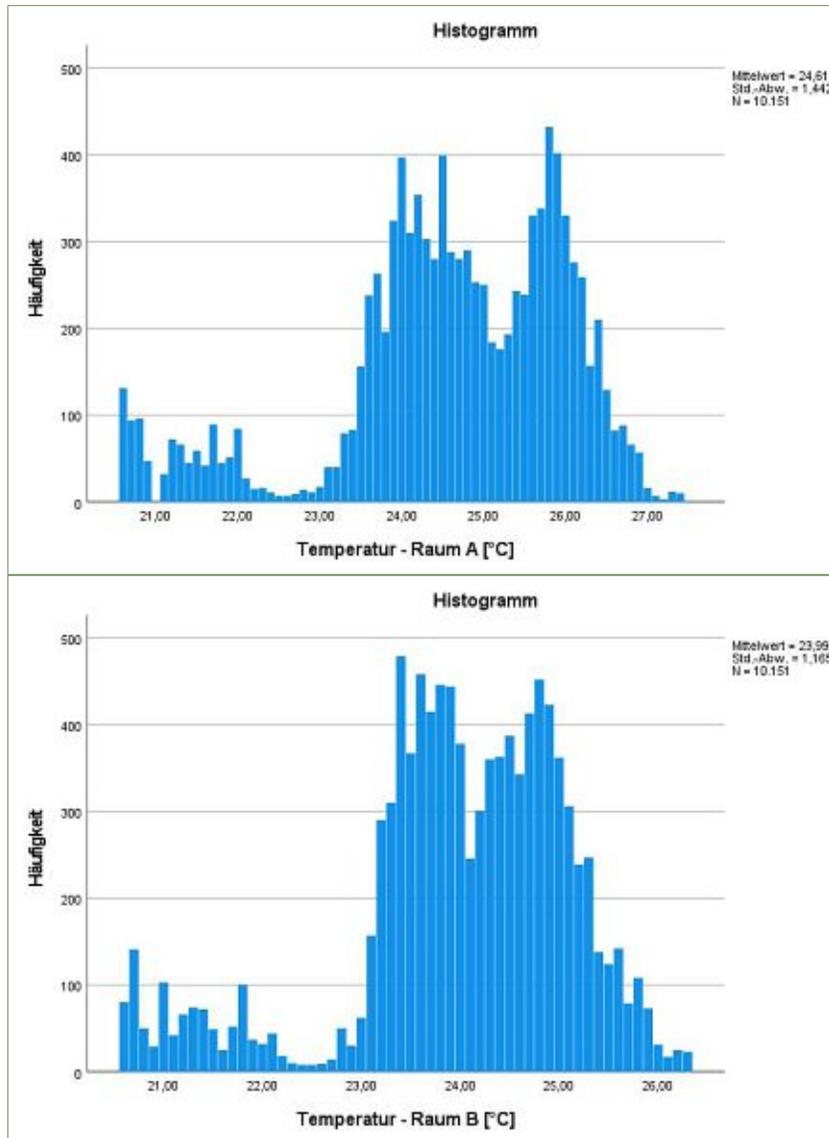


Abb. 35: Boxplot Feuchte - Raum B (nicht begrünt)



Raum B, Feuchte - Raum B) eine Signifikanz von unter 0,05 ergibt, liegt in keinem der Fälle eine Normalverteilung vor. Die Schiefen betragen -0,972 (Temperatur - Raum A), -0,294 (Feuchte - Raum A), -1,022 (Temperatur - Raum B) und 0,566 (Feuchte - Raum B). Sie sind auch in den Histogrammen (Abb. 36-39) bemerkbar - so zum Beispiel die Linksschiefe im Histogramm für die Feuchtigkeit in Raum B (vgl. Abb. 39). Alle genauen Werte der deskriptiven Statistik finden sich auch gesammelt in Kapitel „Statistische Kenngrößen - Testperiode 1“ im Anhang.

Abb. 36: oben: Histogramm Temperatur - Raum A (begrünt)

Abb. 37: unten: Histogramm Temperatur - Raum B (nicht begrünt)

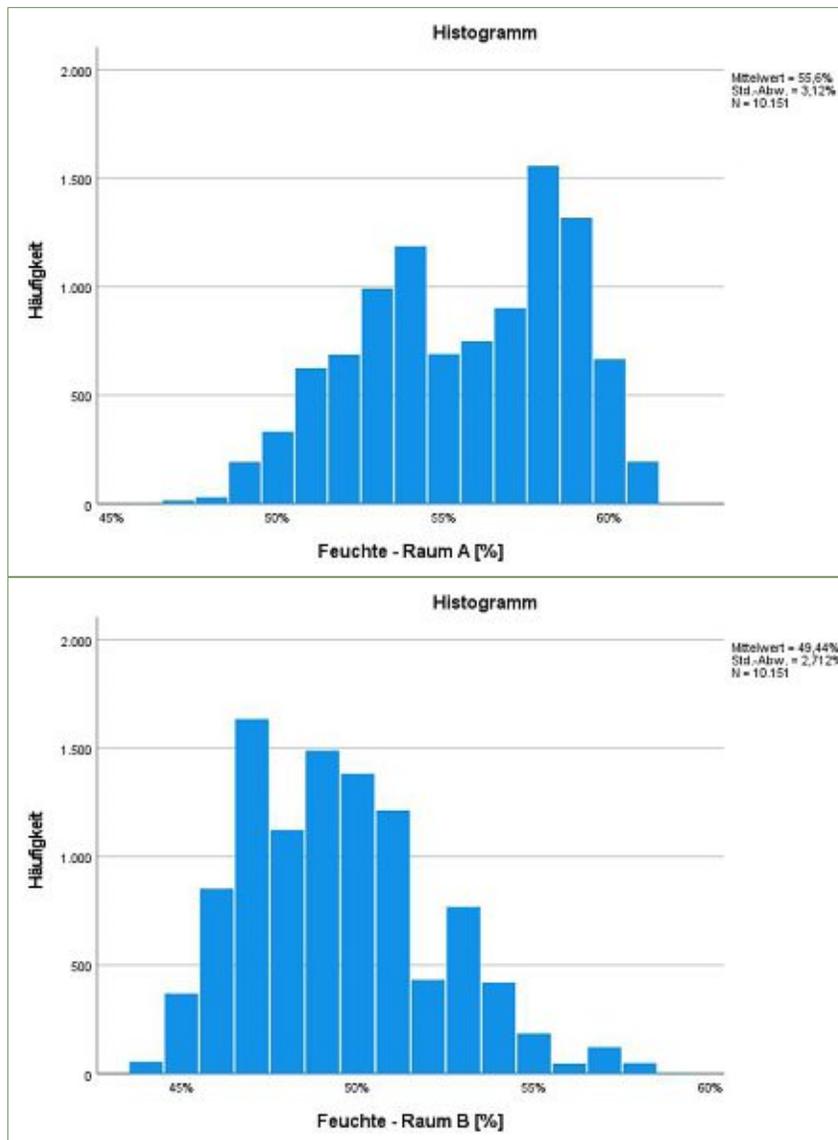


Abb. 38: oben: Histogramm Feuchtigkeit - Raum A (begrünt)

Abb. 39: unten: Histogramm Feuchtigkeit - Raum B (nicht begrünt)

Zeit-Diagramme

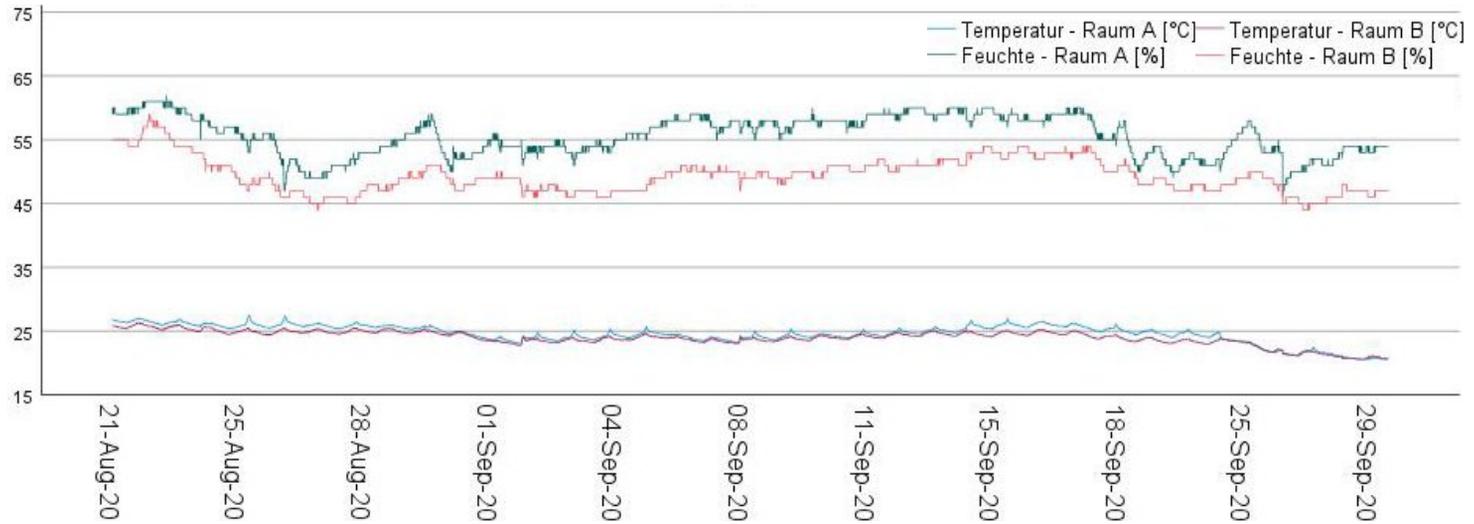


Abb. 40: Überblick über Temperatur und Feuchtigkeit in Raum A (begrünt) und Raum B (nicht begrünt) der ersten Testperiode. Die Ordinatenachse entspricht °C bzw. %.

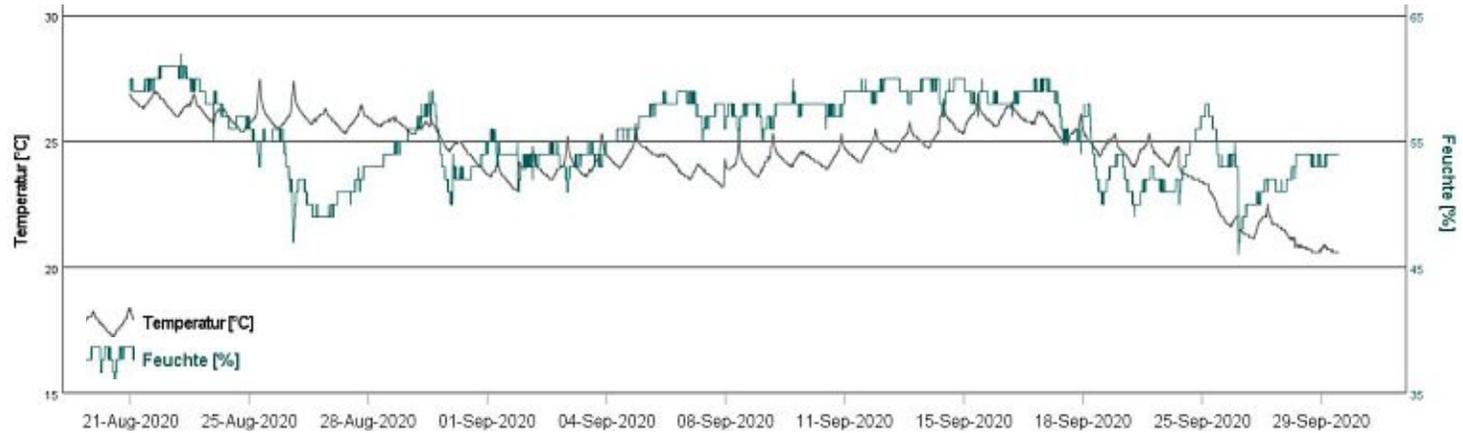


Abb. 41: Raum A (begrünt) - Temperatur in Relation zur Feuchtigkeit. Auf der x-Achse ist die zeitliche Komponente aufgetragen.

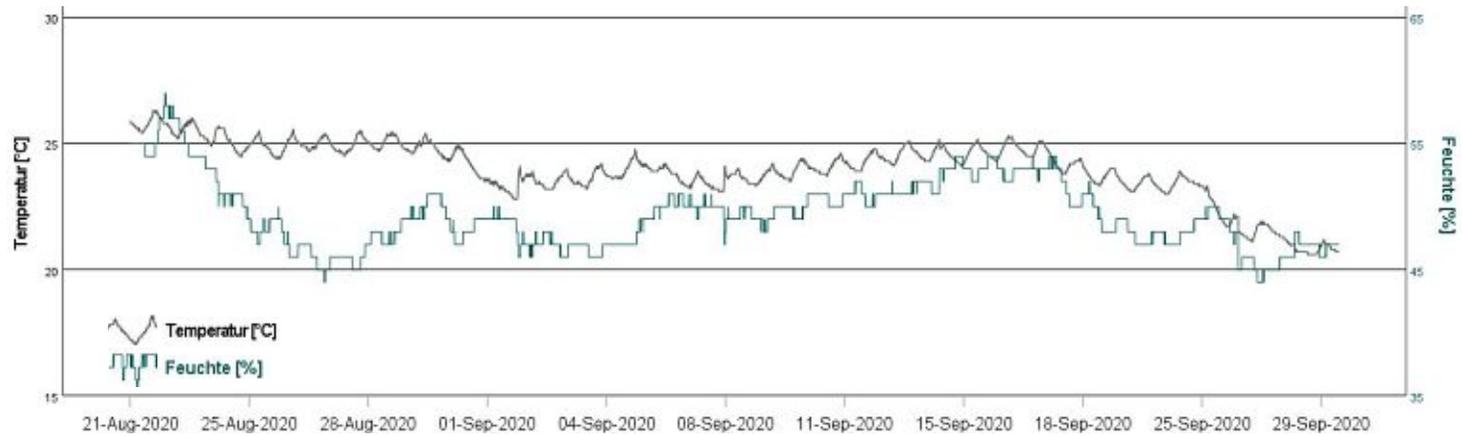


Abb. 42: Raum B (nicht begrünt) - Temperatur in Relation mit Feuchtigkeit. Auf der x-Achse die zeitliche Komponente aufgetragen.

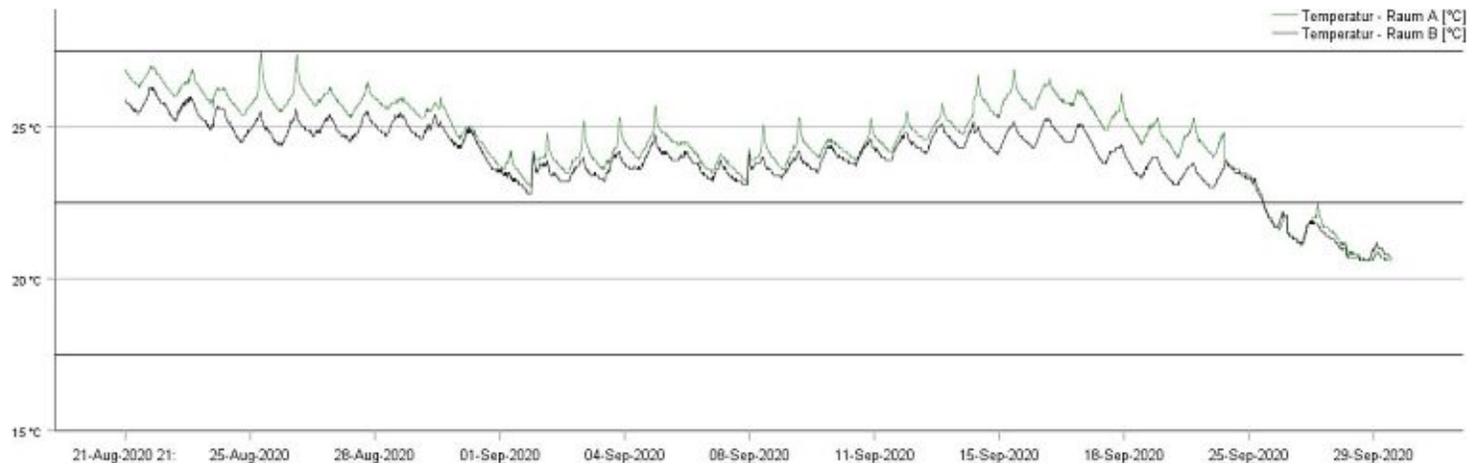


Abb. 43: Temperaturverlauf von Raum A (begrünt) verglichen mit dem Temperaturverlauf von Raum B (nicht begrünt).

Wie bereits im Kapitel “deskriptive Statistik” behandelt, wird auch hier noch einmal im Detail deutlich, dass in den ersten 40 Tagen des Versuchsaufbaus die Temperatur im Raum A mit der Innenraumbegrünung fast durchwegs höher ist als im Referenzraum B (nicht begrünt).



Abb. 44: Feuchtigkeitsverlauf von Raum A (begrünt) verglichen mit Feuchtigkeitsverlauf von Raum B (nicht begrünt).

Wie bereits im Kapitel “deskriptive Statistik” behandelt, wird auch hier noch einmal im Detail deutlich, dass in den ersten 40 Tagen des Versuchsaufbaus die Feuchtigkeit im Raum A mit der Innenraumbegrünung fast durchwegs höher ist als im ReferenzRaum B (nicht begrünt).

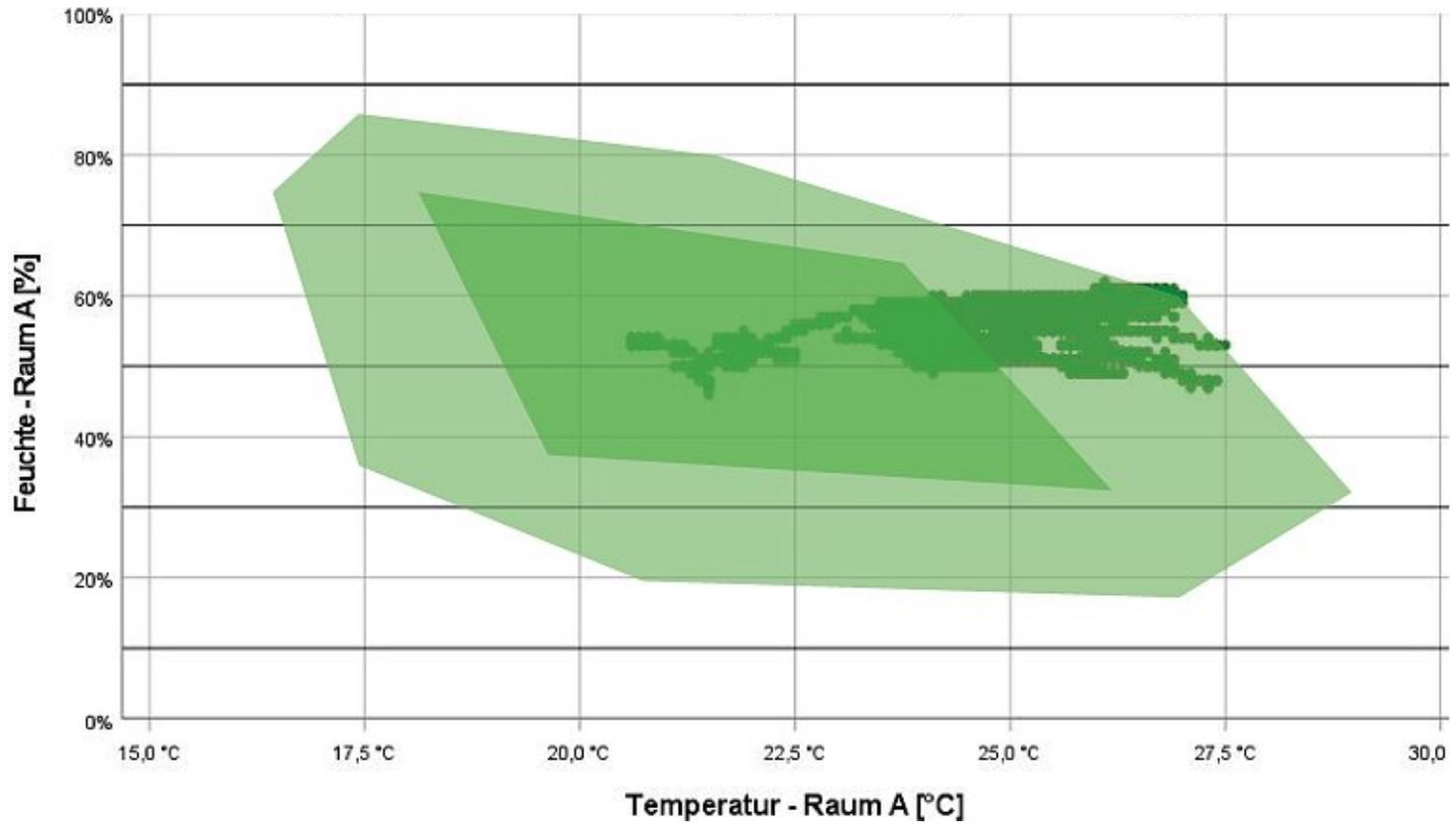


Abb. 45: Behaglichkeitsdiagramm - Raum A (begrünt), Testperiode 1

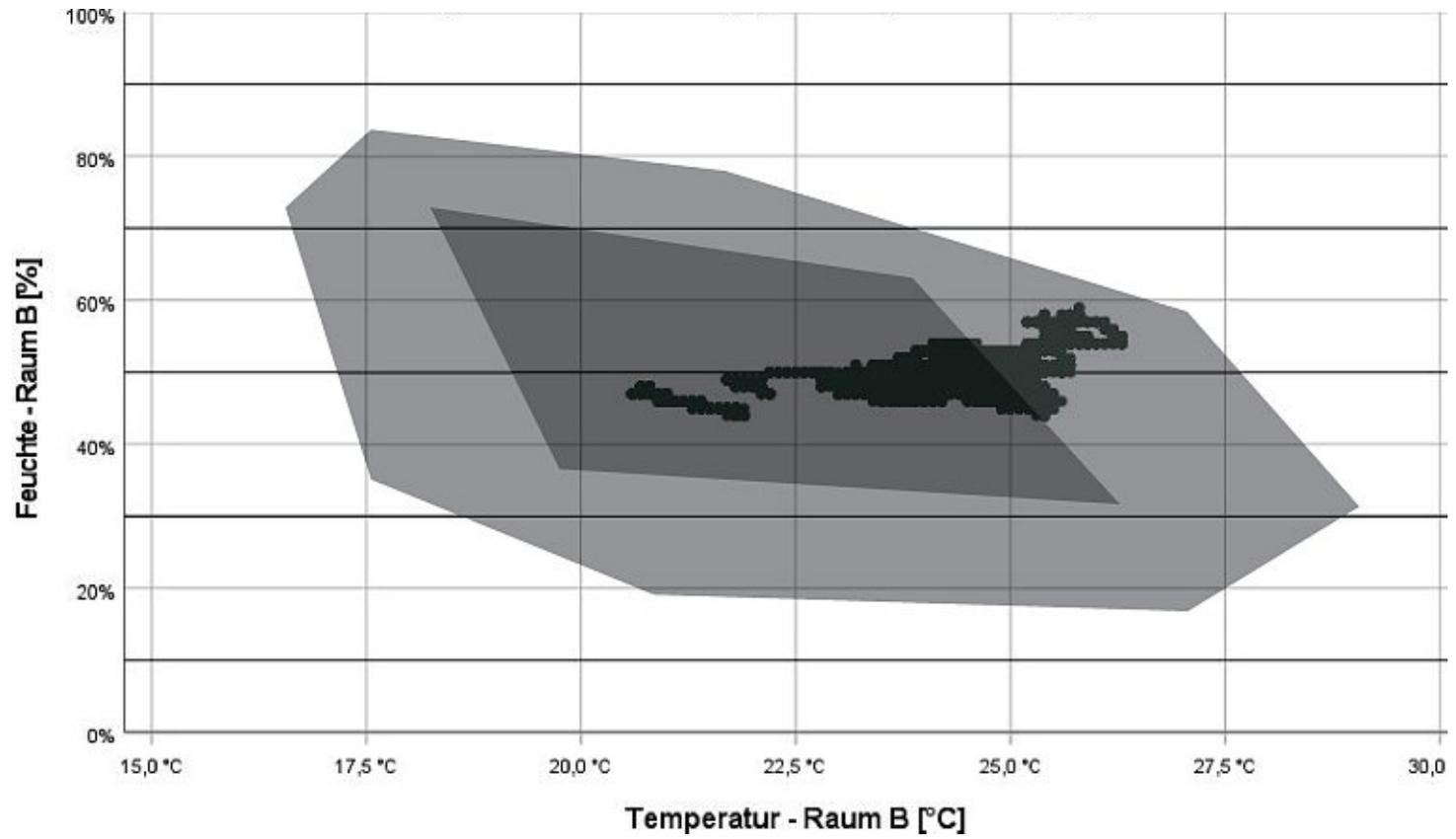


Abb. 46: Behaglichkeitsdiagramm - Raum B (nicht begrünt), Testperiode 1

Behaglichkeit

Wie im Kapitel „Fachbegriffe“ erklärt, beschreibt thermische Behaglichkeit das menschliche Wohlbefinden in Abhängigkeit von der Temperatur und Feuchtigkeit. Wirft man einen Blick auf die Behaglichkeitsdiagramme der ersten Testperiode (**Abb. 45-46**), erkennt man deutlich die Unterschiede zwischen der Behaglichkeit von Raum A (begrünt) und Raum B (nicht begrünt). In Raum A sind weniger als die Hälfte der Messpunkte im behaglichen Bereich und die Mehrheit im noch behaglichen Bereich, der in Richtung „unbehaglich feucht“ wandert. Die wenigen Fälle, die sich im unbehaglichen Bereich befinden, liegen mit rund 60 % Luftfeuchtigkeit auf der Seite zu hoher Feuchtigkeit (rechts oben).

Betrachtet man hingegen die Behaglichkeit im unbegrünten Raum fällt auf, dass keine Messwerte im unbehaglichen Bereich liegen (weder zu trocken, noch zu feucht) und etwas mehr als die Hälfte der aufgezeichneten Punkte in der behaglichen Zone sind. Im Vergleich zu Raum A (begrünt) erscheint die Punktwolke auch mehr gestaucht und etwas weiter links unten. Dies bedeutet, dass Temperatur und Raumfeuchte konstanter sind und es zur gleichen Zeit eher trockener und kühler ist als im Raum A. Die Durchschnittstemperatur und -feuchte belegen dies (vgl. Kapitel „Vergleich Testperiode 1 und Testperiode 2“). Für Testphase 1 kann man also festhalten, dass die Innenraumbegrünung den Raum wie angenommen feuchter macht, aber dass durch die sommerlich hohe Raumtemperatur dies zu einem unerwünschten Effekt führt – einem nicht optimal thermisch behaglichen Raum. Hinzu

kommt, dass durch ausbleibende Belüftung (vgl. „Worst Case“-Nutzerverhalten, wie man es jedoch in Büros häufig vorfindet, beschrieben in Kapitel „Versuchsdurchführung“) die Feuchte im Raum bleibt, was in einem anderen Szenario mit einem anderen Lüftungsverhalten vermutlich anders ausfallen würde.

Testperiode 2

Datenbereinigung

Betrachtet man die Daten im Testzeitraum von 1. Oktober bis 28. Oktober (zweite Testperiode), erkennt man, wie auch in Testperiode 1, einige Ausreißer und Unstimmigkeiten in den Werten. Um die Aussagekraft zu der erfolgten Messung zu erhöhen müssen diese Messwerte bereinigt werden. In den jeweils oberen Diagrammen der **Abb. 47-48** sind die vier Bereiche markiert, welche Unstimmigkeiten beinhalten. Diese sind:

1. 01. Okt. 14:45 Uhr bis 16:20 Uhr → kurzfristiger Temperaturabfall im Raum A (nicht begrünt), da die Türe geöffnet ist.
2. 05. Okt. 17:00 Uhr bis 18:20 Uhr → Einzelner Ausreißer der Temperatur im Raum A (nicht begrünt) in die positive Y-Richtung.
3. 14. Okt. 09:20 Uhr bis 09:45 Uhr → kurzfristiger Temperaturabfall im Raum A (nicht begrünt), da die Türe geöffnet ist.
4. 27. Okt. 12:50 Uhr bis 13:45 Uhr → kurzfristiger Temperaturabfall im Raum A (nicht begrünt), da die Türe geöffnet ist.

Das jeweils untere Diagramm (**Abb. 47-48**) zeigt den Verlauf nach der Datenbereinigung. Eine detailliertere Analyse zum Temperatur-Feuchte-Zeit-Diagramm in der zweiten Testperiode beider Räume findet sich in Kapitel „Zeit-Diagramme“.

Die beschriebene Datenbereinigung hat zur Folge, dass die ursprünglichen 8.239 Datenpunkte der zweiten Testperiode auf 8.189 Datenpunkte reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion um 0,61 %; gleichzeitig erhöht dies aber die Aussagekraft der Erhebung.

Im Unterschied zur Testperiode 1 müssen in der kürzer andauernden Testperiode 2 weniger Daten bereinigt werden. Spannweiten, Mittelwerte, Standardabweichungen und andere Kennwerte der deskriptiven Statistik sind geringfügig niedriger (s. Kapitel „Statistische Kenngrößen - Testperiode 2“ im Anhang), da die Reduktion der Daten unter 1 % liegt. In der Testperiode 1 sind es hingegen knapp 11 %.

Deskriptive Statistik

Über die zweite Testperiode hinweg liegt der Mittelwert (arithmetisches Mittel) der Temperatur im Raum A (nicht begrünt) bei 21,58 °C und im Raum B (begrünt) bei 21,69 °C (mittlere Temperaturdifferenz = 0,11 °C). Die mittlere Feuchte ist mit 46,35 % in Raum A (nicht begrünt) um 4,83 % niedriger als in Raum B (begrünt), in dem sich der Wert auf 51,18 % beläuft. Aus der Betrachtung der Extremwerte im ausgewählten Zeitraum gehen die Minima (Raum A, nicht begrünt: 15,9 °C bzw. 39 %; Raum B, begrünt: 15,5 °C bzw. 44 %) und Maxima (Raum A, nicht begrünt: 24,7 °C bzw. 56 %; Raum B, begrünt: 24,3 °C bzw. 57 %) hervor.

Die grafischen Darstellungen als Boxplots (**Abb. 49-52**) geben eine gute Übersicht, in welchem Rahmen sich die



Abb. 47: Datenbereinigung bezogen auf Temperatur, Feuchte und Zeit der zweiten Testperiode

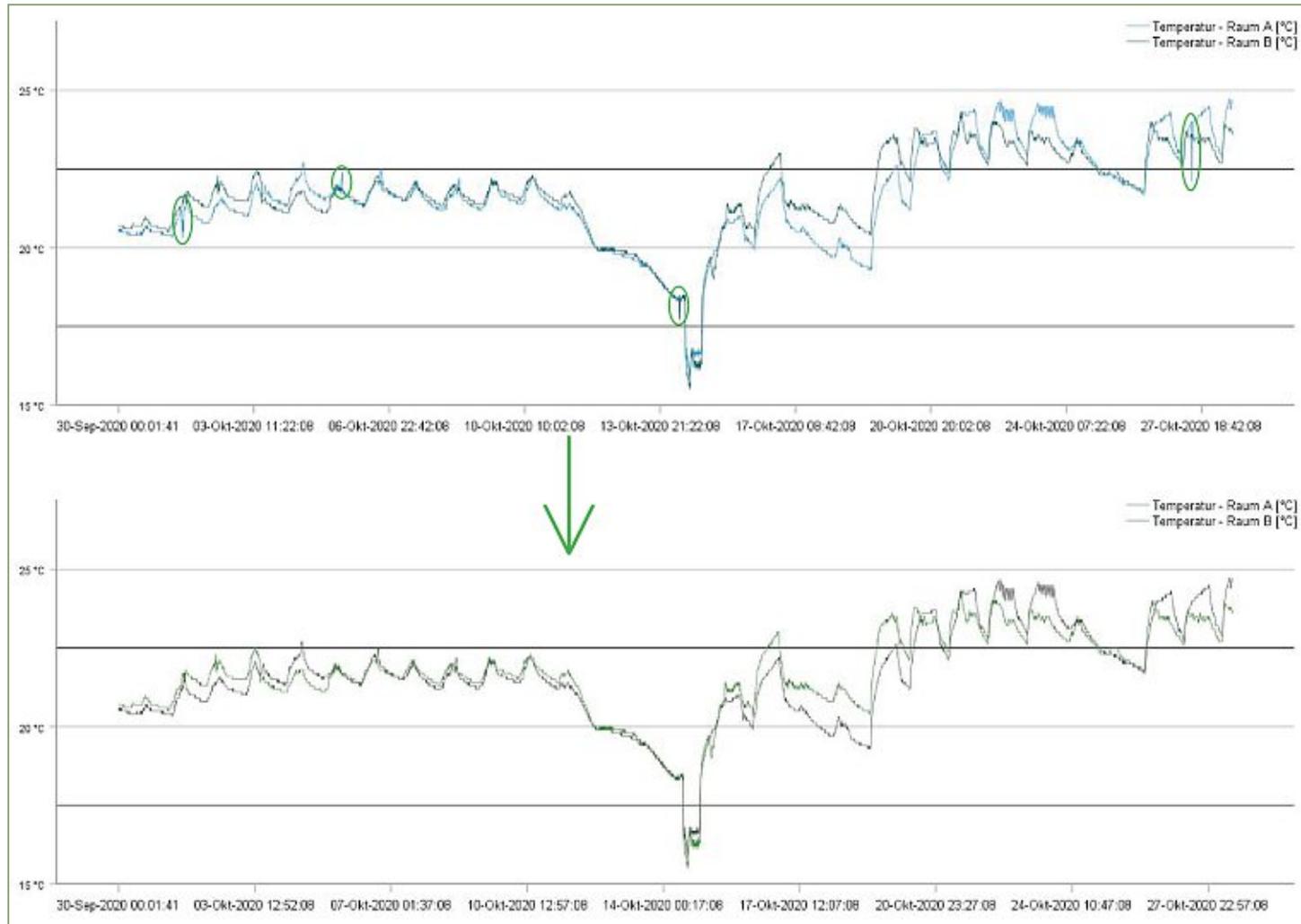


Abb. 48: Datenbereinigung bezogen auf Temperatur und Zeit der zweiten Testperiode

entsprechenden Werte befinden und wie sie sich darin genau gliedern. Die Begrifflichkeit von Boxplots ist im Kapitel „Versuchsdurchführung“ genauer erläutert. Vergleicht man zum Beispiel die Temperatur in Raum A (nicht begrünt) mit Raum B (begrünt) in der zweiten Testperiode (**Abb. 49-50**), so erkennt man, dass der Zentralwert bzw. Median der Raumtemperatur im Raum A (nicht begrünt, 21,5 °C) niedriger ist als im Referenzraum B (begrünt, 21,7 °C). Dies widerspricht, wie auch schon in der ersten Testperiode, der ersten der am Anfang des Kapitels getroffenen Annahme „Im Raum mit Begrünung ist die Temperatur kühler als im Raum ohne Begrünung“.

An dieser Stelle ist auch festzuhalten, dass mit dem Mittelwert von Raum A eine Standardabweichung von 1,55 °C einhergeht, welcher somit weniger repräsentativ als der Mittelwert in Raum B ist, denn hier liegt die Standardabweichung bei 1,38 °C. Ebenfalls belegt dies der höhere Interquartilbereich von Raum A (nicht begrünt, 1,80 °C) verglichen mit Raum B (begrünt, 1,60 °C).

Bei näherer Betrachtung der Feuchtigkeits-Boxplots in den beiden Räumen erkennt man gut, dass der Zentralwert bzw. Median der Feuchte im Raum B (begrünt, 51 %) höher ist als im Referenzraum A (nicht begrünt, 46 %). Dies spricht genau für die zweite Annahme der Einführung am Anfang des Kapitels: Dank der Begrünung ist Raum B feuchter als Raum A (nicht begrünt).

Passend dazu sei erwähnt, dass mit dem Mittelwert von Raum A eine Standardabweichung von 4,27 % einhergeht, welcher somit weniger repräsentativ als der Mittelwert in

Raum B ist, denn hier liegt die Standardabweichung bei 3,01 %. Ebenfalls belegt dies der höhere Interquartilbereich von Raum A (nicht begrünt, 6 %) verglichen mit Raum B (begrünt, 5 %).

Die Ursache dafür ist vermutlich, dass Raum A am Eck des Gebäudes situiert ist und nicht, wie anfangs gedacht, dass das automatisierte Gießen einen bedeutenden Einfluss darauf nimmt. Es ist also anzunehmen, dass die höheren Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen in Raum A (verglichen mit Raum B) darauf zurückzuführen sind, dass der Anteil an Außenwand größer ist als der Anteil an Innenwand und somit in derselben Zeitspanne mehr Wärme und Feuchtigkeit an den Außenraum abgegeben wird als in Raum B.

Betrachtet man erneut die Kastendiagramme (**Abb. 49-52**) sieht man, dass in keinem Diagramm alle vier Bereiche (linke Antenne, Zone links vom Median, Zone rechts vom Median und rechte Antenne) gleich lang sind. Nachdem zusätzlich dazu der Kolmogorov-Smirnov-Test in allen Fällen (Temperatur - Raum A, Feuchte - Raum A, Temperatur - Raum B, Feuchte - Raum B) eine Signifikanz von unter 0,05 ergibt, liegt in keinem der Fälle eine Normalverteilung vor. Die Schiefen betragen -0,271 (Temperatur - Raum A), 0,436 (Feuchte - Raum A), -1,037 (Temperatur - Raum B) und 0,061 (Feuchte - Raum B). Sie sind auch in den Histogrammen (**Abb. 53-56**) bemerkbar - so zum Beispiel die Linksschiefe im Histogramm für die Feuchtigkeit in Raum A (**Abb. 55**). Alle genauen Werte der deskriptiven Statistik finden sich auch gesammelt in Kapitel „Statistische Kenngrößen - Testperiode 2“ im Anhang.

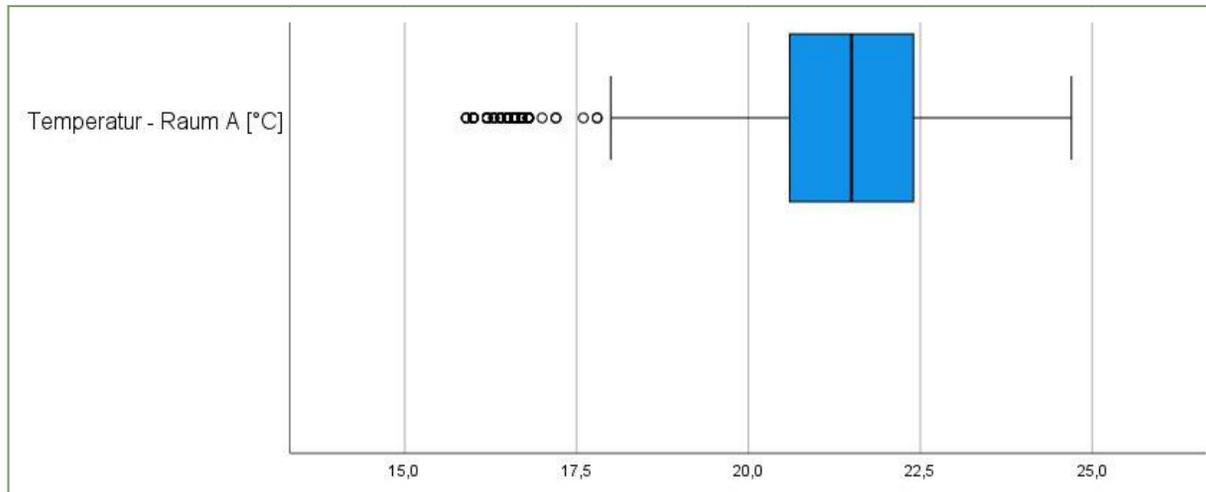


Abb. 49: Boxplot Temperatur - Raum A (nicht begrünt)

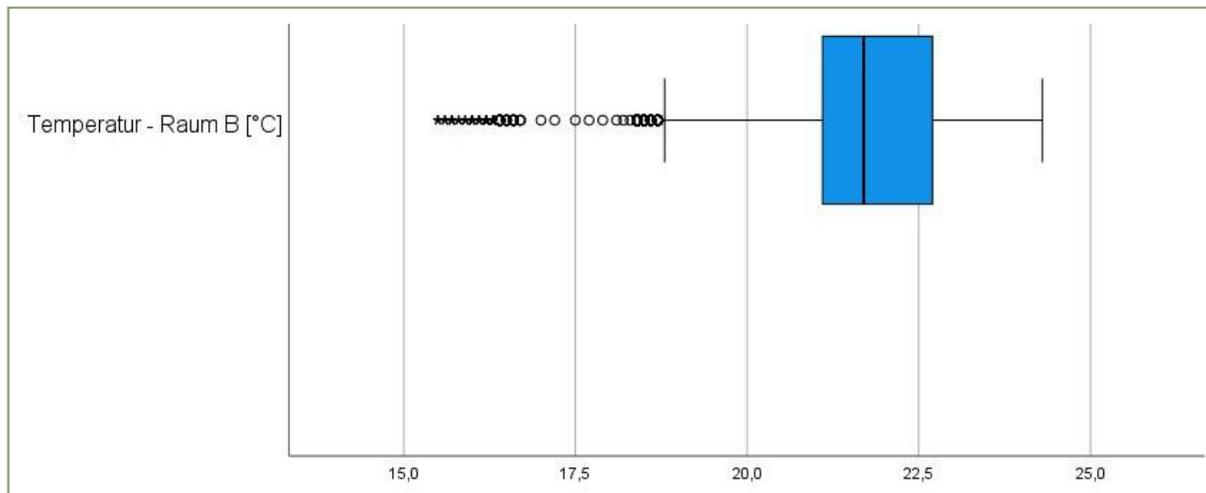


Abb. 50: Boxplot Temperatur - Raum B (begrünt)

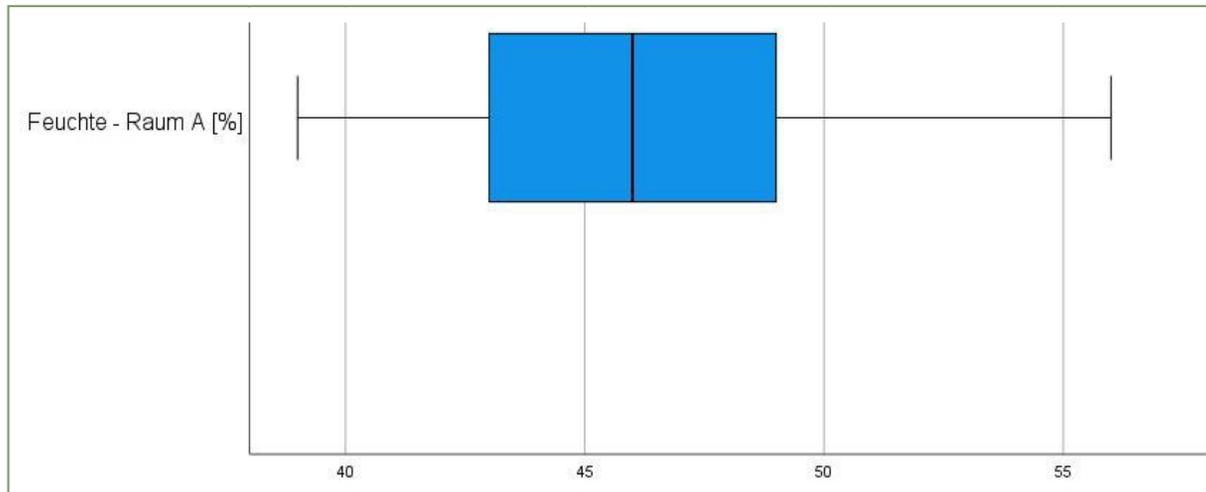


Abb. 51: Boxplot Feuchte - Raum A (nicht begrünt)

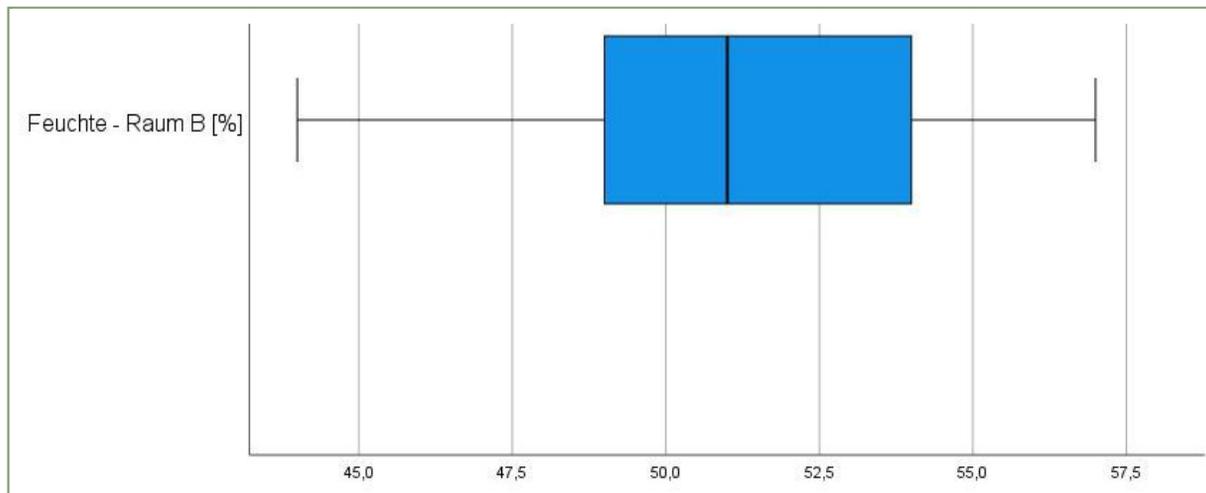


Abb. 52: Boxplot Feuchte - Raum B (begrünt)

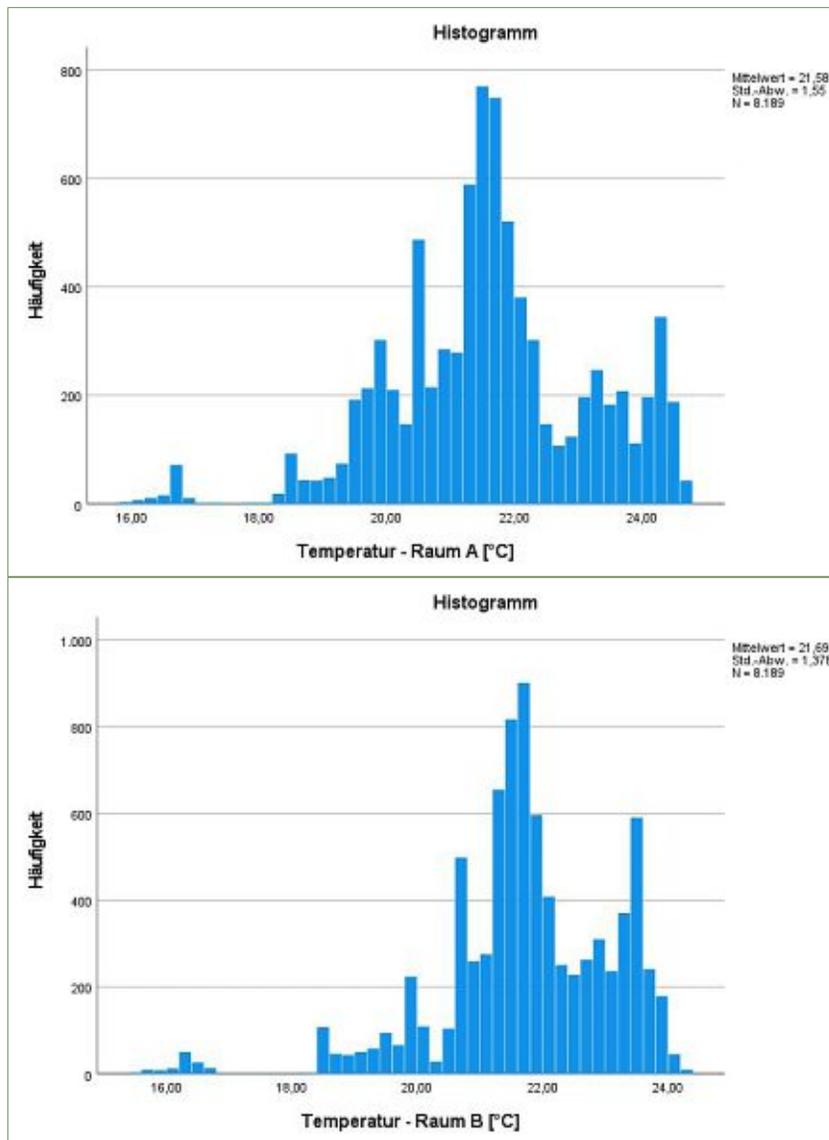


Abb. 53: oben: Histogramm Temperatur - Raum A (nicht begrünt)

Abb. 54: unten: Histogramm Temperatur - Raum B (begrünt)

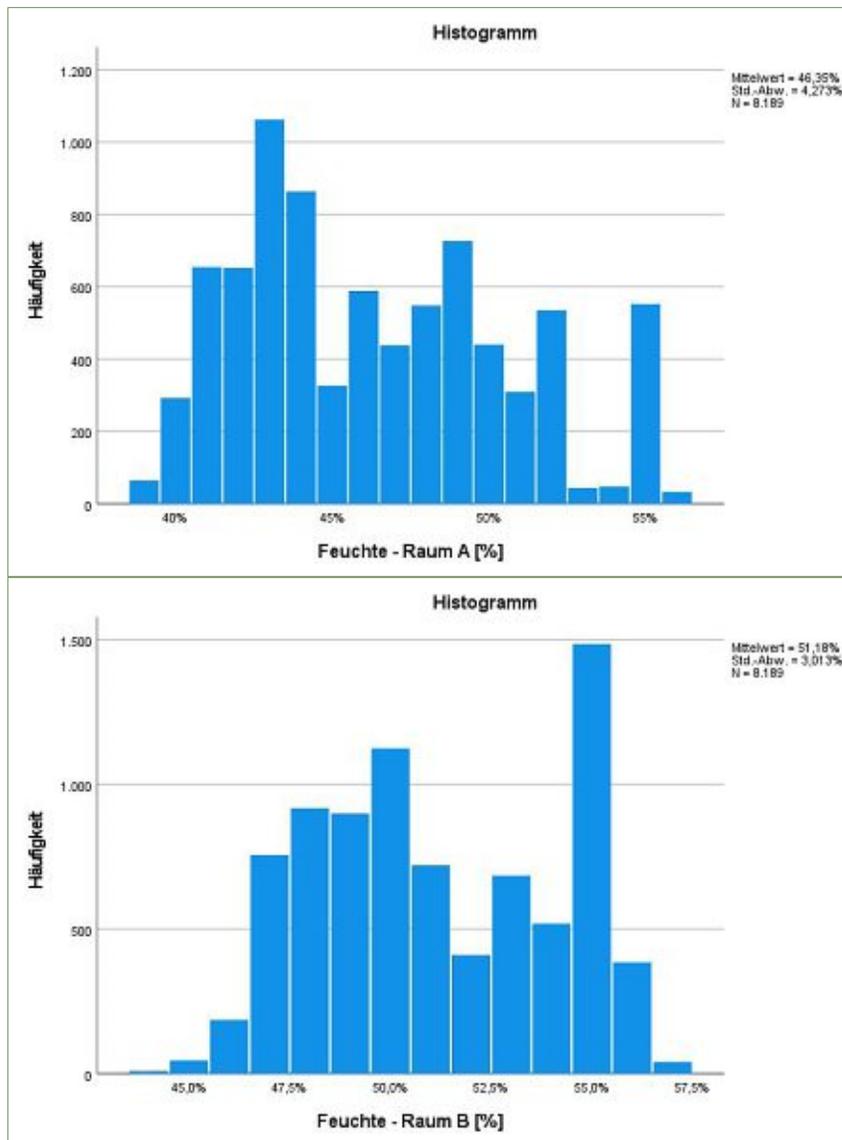


Abb. 55: oben: Histogramm Feuchtigkeit - Raum A (nicht begrünt)

Abb. 56: unten: Histogramm Feuchtigkeit - Raum B (begrünt)

Zeit-Diagramme



Abb. 57: Überblick über Temperatur und Feuchtigkeit in Raum A (nicht begrünt) und Raum B (begrünt) der zweiten Testperiode. Die Ordinatenachse entspricht °C bzw. %.

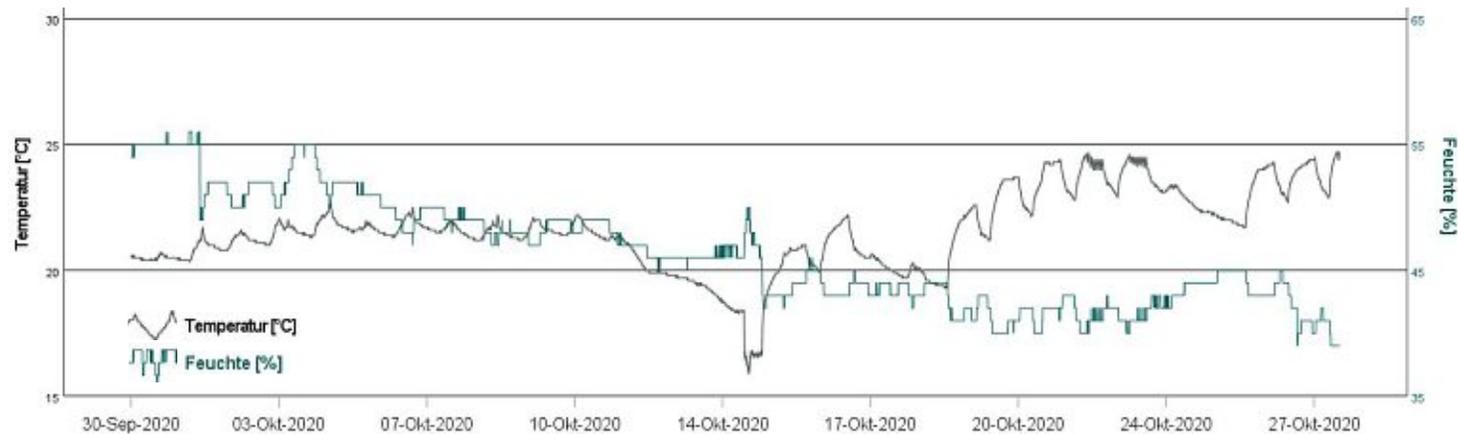


Abb. 58: Raum A (nicht begrünt) - Temperatur in Relation zur Feuchtigkeit. Auf der x-Achse ist die zeitliche Komponente aufgetragen.

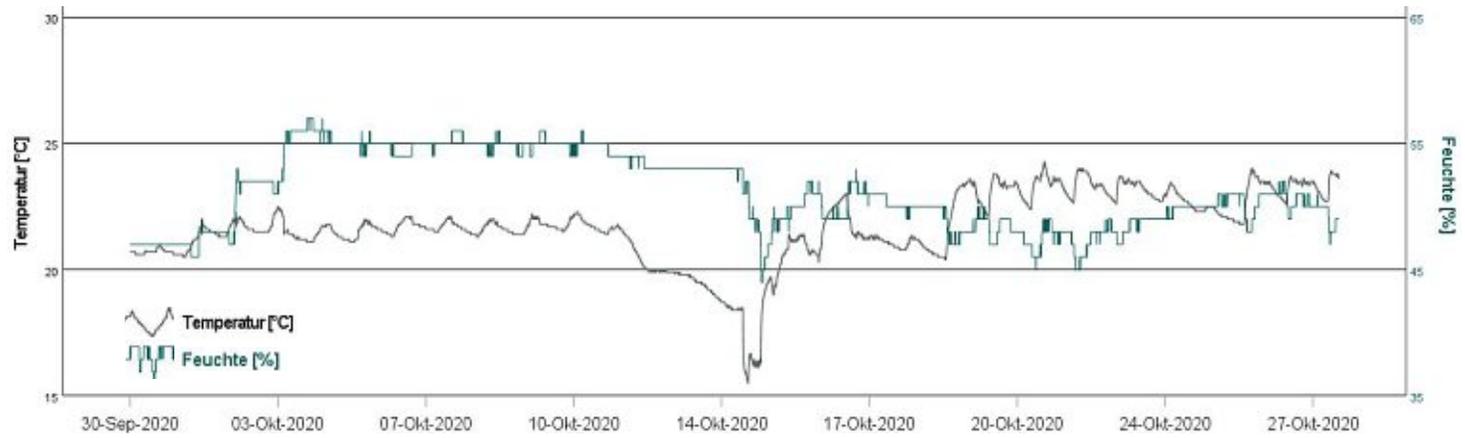


Abb. 59: Raum B (begrünt) - Temperatur in Relation mit Feuchtigkeit. Auf der x-Achse die zeitliche Komponente aufgetragen.



Abb. 60: Temperaturverlauf von Raum A (nicht begrünt) verglichen mit dem Temperaturverlauf von Raum B (begrünt).



Abb. 61: Feuchtigkeitsverlauf von Raum A (nicht begrünt) verglichen mit Feuchtigkeitsverlauf von Raum B (begrünt).

In **Abb. 60** ist besonders der Verlauf der Linien vom ca. 11. Oktober bis zum ca. 18. Oktober zu hervorzuheben. Vom 11. bis zum 14. Oktober ist ein erheblicher Temperatursturz auf unter 10 °C im Außenraum zu verzeichnen, der sich auch im Temperatur-Feuchtigkeits-Diagramm vom Außenraum ablesen lässt (vgl. **Abb. 64** im Kapitel “Vergleich”). Das Einschalten der Zentralheizung im gesamten Gebäude ab etwa 16 °C führt dazu, dass die beiden Linien ab dem 15. Oktober wieder stark ansteigen. Dass sich die grüne Linie (Raum B, begrünt) in der Heizperiode bis zum 18. Oktober fast durchgängig höher auf der y-Achse befindet, belegt einmal mehr, dass Raum A (graue Linie) mehr Wärme, durch seinen größeren Anteil an Außenwandfläche, nach außen hin abgibt.

Die anfängliche Höhe der Feuchtigkeit im Raum A (nicht begrünt, **Abb. 61**) ist darauf zurückzuführen, dass sich die

Räume nach der Umstellung von begrünt in nicht begrünt und umgekehrt erst akklimatisieren müssen. Raum A war schließlich unmittelbar vor dem 30. September noch begrünt und die Restfeuchtigkeit blieb dadurch erhalten. Nach dem 2. Oktober beginnt die Innenraumbegrünung in Raum B zu wirken und die Feuchtigkeit nimmt zu, zur selben Zeit nimmt sie in Raum A (nicht begrünt) ab. Innerhalb dieser Zeitspanne bemerkt man besonders den Effekt auf die Feuchtigkeit durch den Prototypen.

Das abrupte Gefälle der Feuchtigkeit in Raum B (begrünt) um den 14. Oktober korreliert mit dem Ausmessen des Raumes, das am selben Tag stattgefunden hat. Wie bereits im Kapitel “deskriptive Statistik” behandelt, wird in der beschriebenen Abbildung noch einmal im Detail deutlich, dass in den letzten 29 Tagen des Versuchsaufbaus die Feuchtigkeit im Raum B mit der Innenraumbegrünung

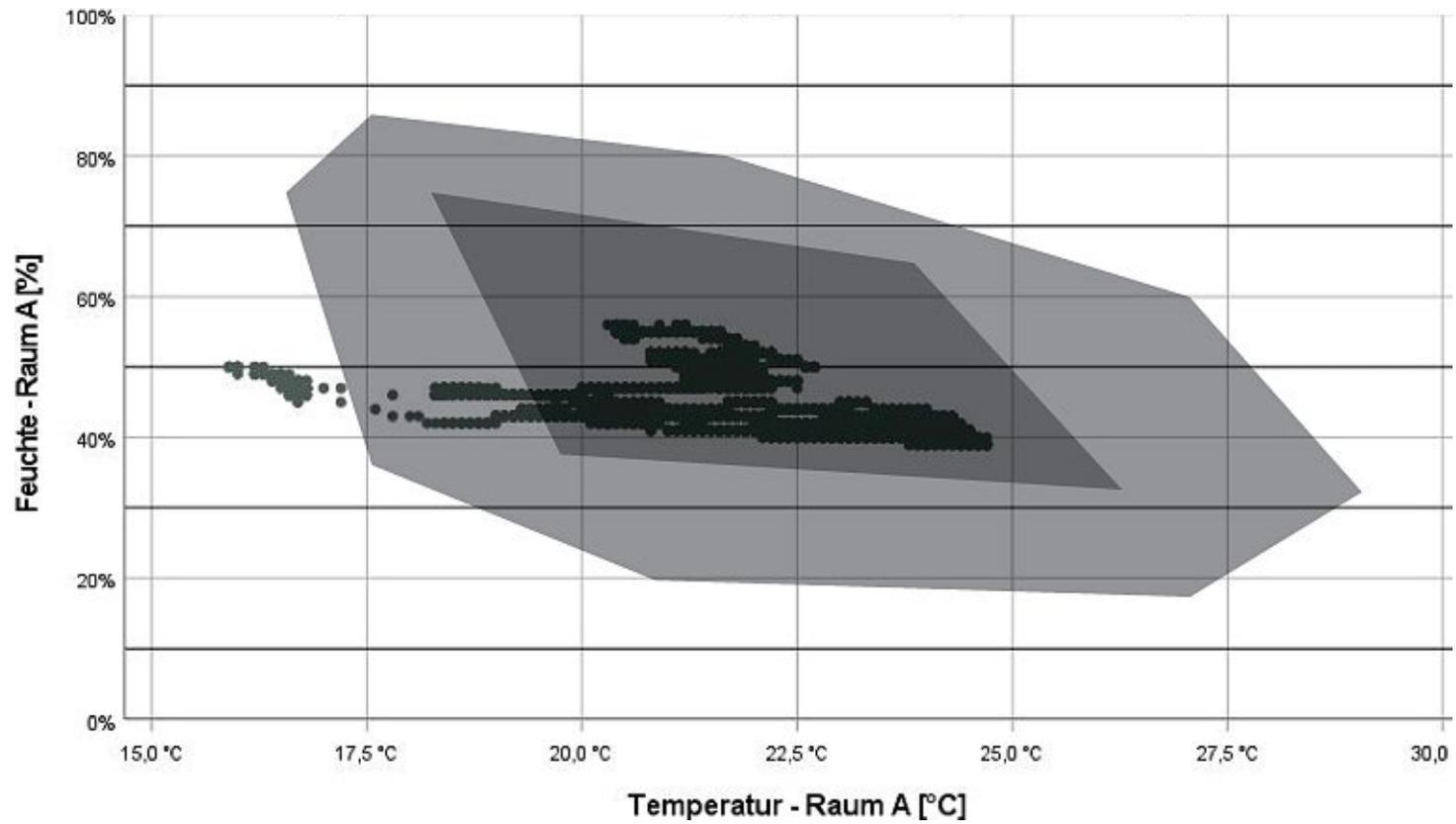


Abb. 62: Behaglichkeitsdiagramm - Raum A (nicht begrünt), Testperiode 2

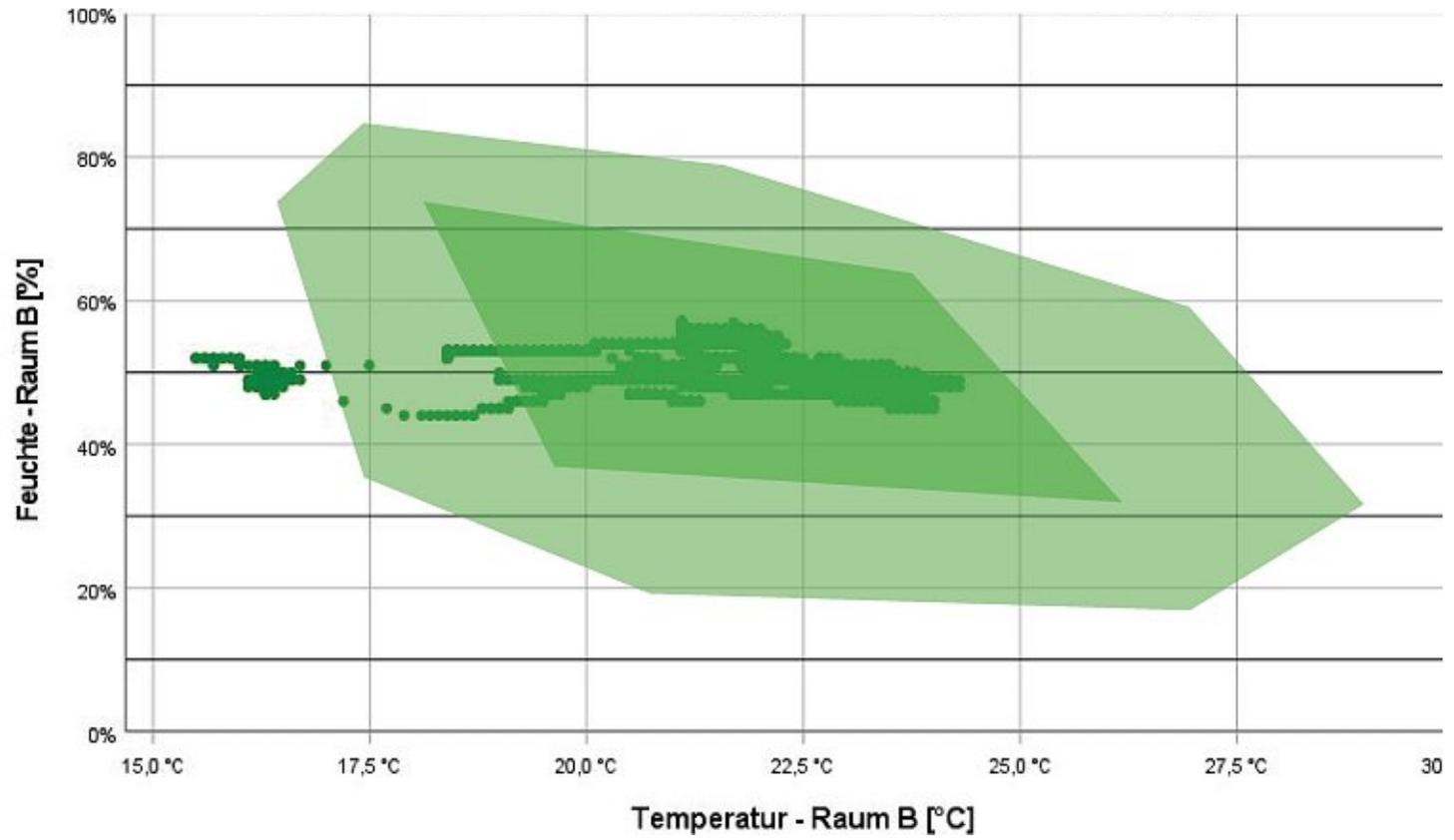


Abb. 63: Behaglichkeitsdiagramm - Raum B (begrünt), Testperiode 2

fast durchwegs höher ist als im ReferenzRaum A (nicht begrünt).

Behaglichkeit

Betrachtet man die beiden Behaglichkeitsdiagramme der zweiten Testperiode (**Abb. 62-63**), wirken sie auf den ersten Blick recht ähnlich. Bei näherer Betrachtung erkennt man, dass die Punktwolke von Raum A (nicht begrünt, **Abb. 62**) im Vergleich zur Punktwolke von Raum B (begrünt, **Abb. 63**) auf der y-Achse weiter unten liegt. Wie bereits im vorigen Kapitel erörtert, ist die Feuchtigkeit im begrüntem Raum fast durchwegs höher. Zum Zeitpunkt x der gemessenen Werte befinden sich also die Messpunkte in Raum B (begrünt) jeweils höher auf der y-Achse als der Messwerte desselben Zeitpunktes x in Raum A (nicht begrünt).

Der Großteil beider Punktwolken befindet sich im Behaglichkeitsbereich (dunkelgrau bzw. dunkelgrün). Die wenigen Messpunkte im Bereich “noch behaglich” (hellgrau bzw. hellgrün) und die Messwerte im weißen Bereich (in diesem Fall “unbehaglich kühl”) bei beiden Diagrammen sind auf den bereits beschriebenen Temperatursturz ab dem 11. Oktober zurückzuführen (**Abb. 60**). Die im Vergleich zu Raum A (nicht begrünt) niedrigeren Werte der Standardabweichung, der Spannweite und des Interquartilbereichs im Raum B (begrünt, vgl. Kapitel “Deskriptive Statistik”) sieht man in der Form, dass die Punktwolke von Raum B vertikal kompakter erscheint und die Punkte vertikal weniger gestreut sind als in Raum A.

Vergleich

Vergleich Testperiode 1 und Testperiode 2

Der Hauptunterschied beider Testperioden betrifft die zeitlich-klimatische Komponente. Denn auf die Gesamtdauer der Auswertung findet 46,4 % der Testung im Sommer und 53,6 % im Herbst statt. Gestartet wurde im Hochsommer, als die Temperaturen noch deutlich höher liegen als im weiteren Verlauf der Testung. Herbstbeginn ist nach 32 Tagen (22. September 2020). Dies hat zur Folge, dass die Temperaturen in beiden Räumen (unabhängig der Begrünung) in der ersten Testperiode höher liegen als in der zweiten Testperiode (**Tab. 3**). Die durchschnittliche Temperatur der gesamten Testung (Testperiode 1 und Testperiode 2, unabhängig der Begrünung) in Raum A liegt bei 23,09 °C und in Raum B bei 22,84 °C.

Abb. 64 beschreibt den Tagesschnitt von Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf außen. Anhand dieser wird vor allem das Abnehmen der Temperatur mit Fortschreiten der Tage in Richtung Testende ersichtlich.

In **Abb. 65** wird die Korrelation der Außentemperaturen und der Temperaturen von Raum A und Raum B erkennbar. So wird zum Beispiel Anfang September ersichtlich, dass der Sturz der Außentemperatur auf etwa 15°C eine unmittelbare Auswirkung auf beide Räumlichkeiten hat. Denn zur selben Zeit ist gedämpft ein leichtes Abfallen der Temperaturen sowohl in Raum A als auch in Raum B auffallend. Mit Anstieg der Außentemperaturen wird es auch in den beiden Räumen wieder wärmer (ca. 1. bis

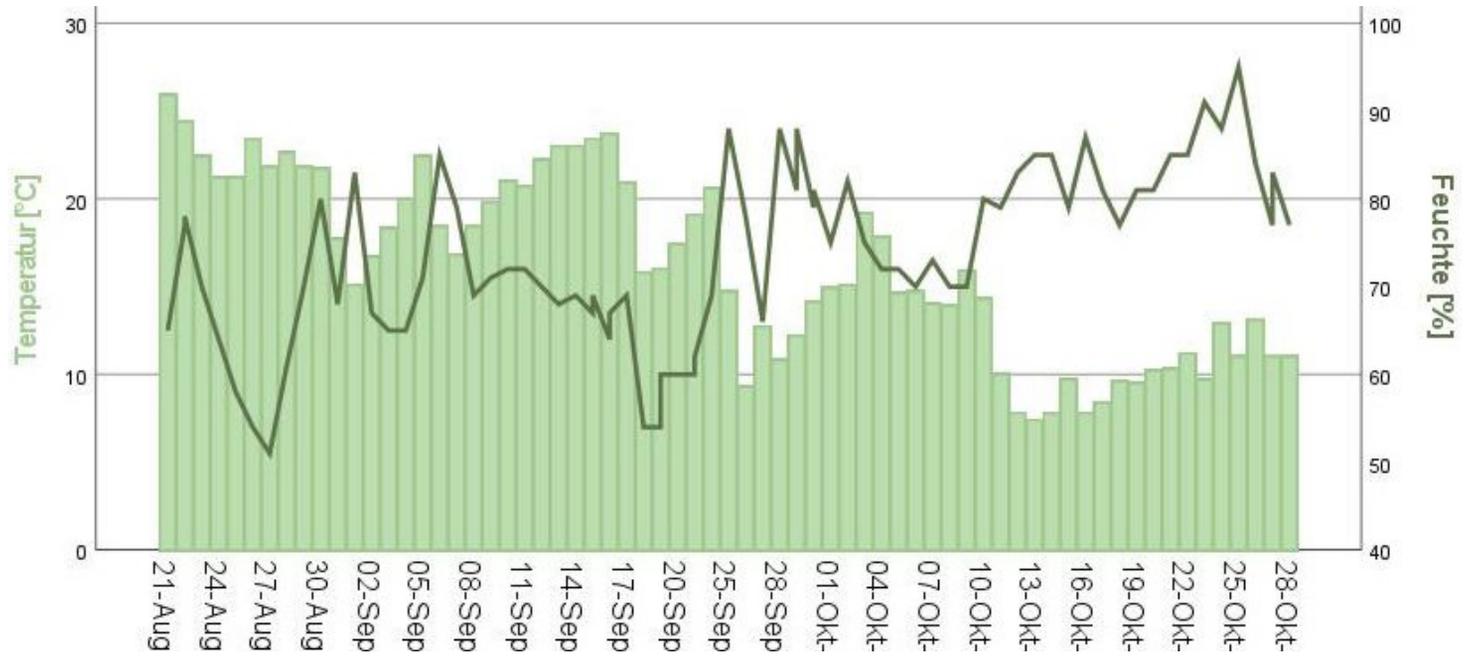


Abb. 64: Temperatur und Feuchtigkeit (Tagesschnitt) - Außen

Mittelwerte		Testperiode 1	Testperiode 2	Gesamt
°C	Raum A	24,61 °C	21,57 °C	23,09 °C
	Raum B	23,99 °C	21,69 °C	22,84 °C
% RH	Raum A	55,6 %	46,35 %	50,98 %
	Raum B	49,44 %	51,18 %	50,31 %

Tab. 3: Vergleich der Durchschnittswerte bezogen auf Raum A bzw. Raum B

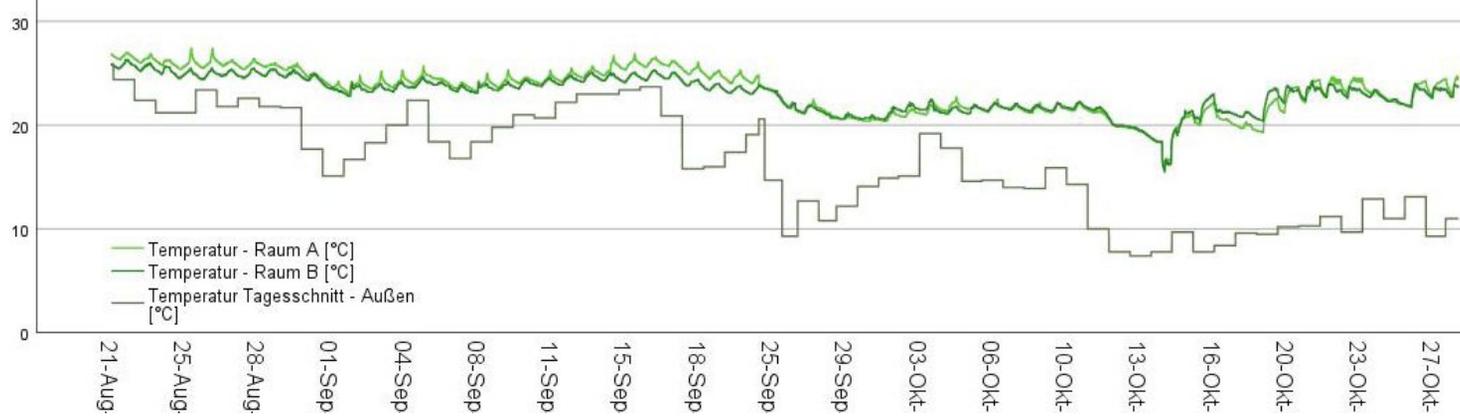


Abb. 65: Raumtemperaturen im Vergleich mit Außentemperatur (Tagesschnitt)

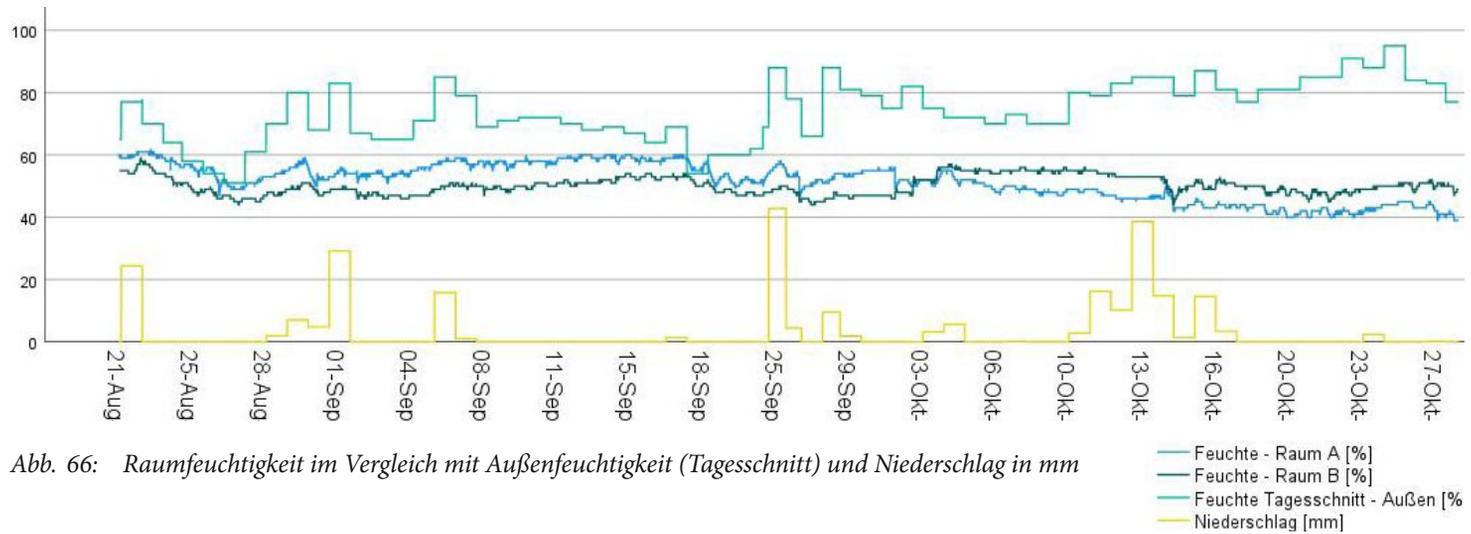


Abb. 66: Raumfeuchtigkeit im Vergleich mit Außenfeuchtigkeit (Tagesschnitt) und Niederschlag in mm

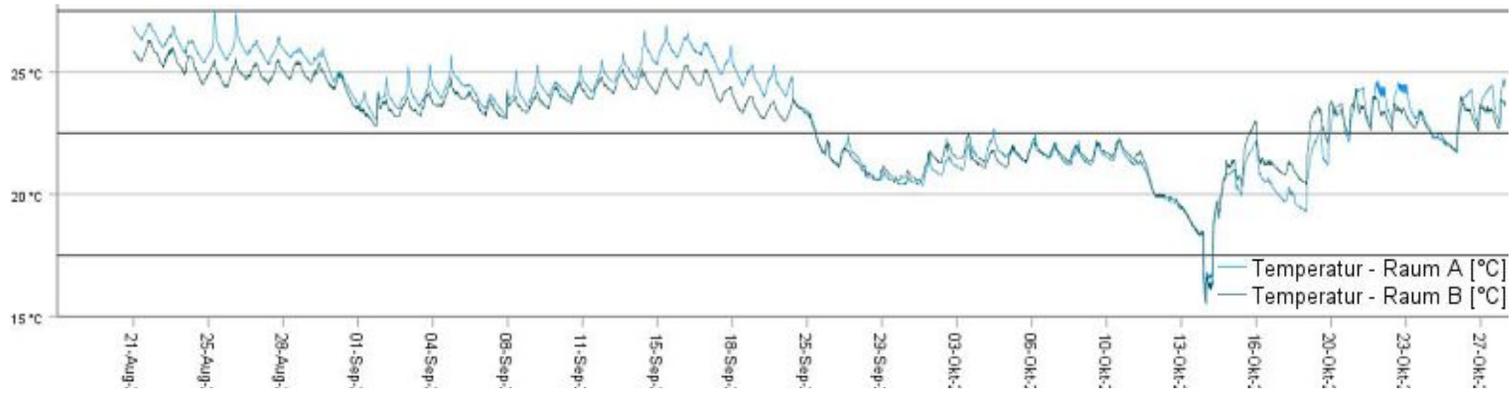


Abb. 67: Temperaturverlauf beider Räume über beide Testperioden hinweg

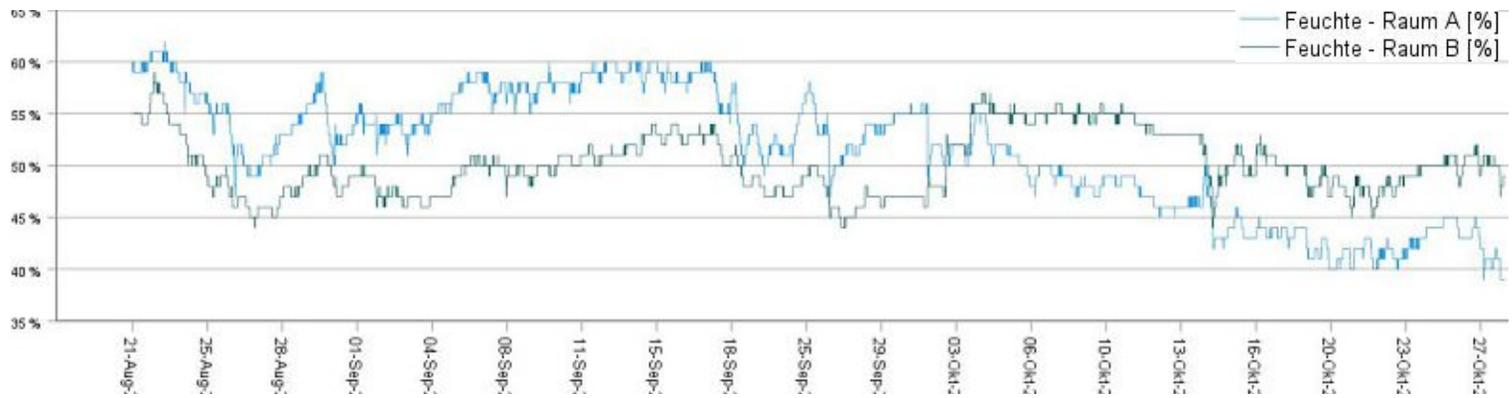


Abb. 68: Feuchtigkeitsverlauf beider Räume über beide Testperioden hinweg

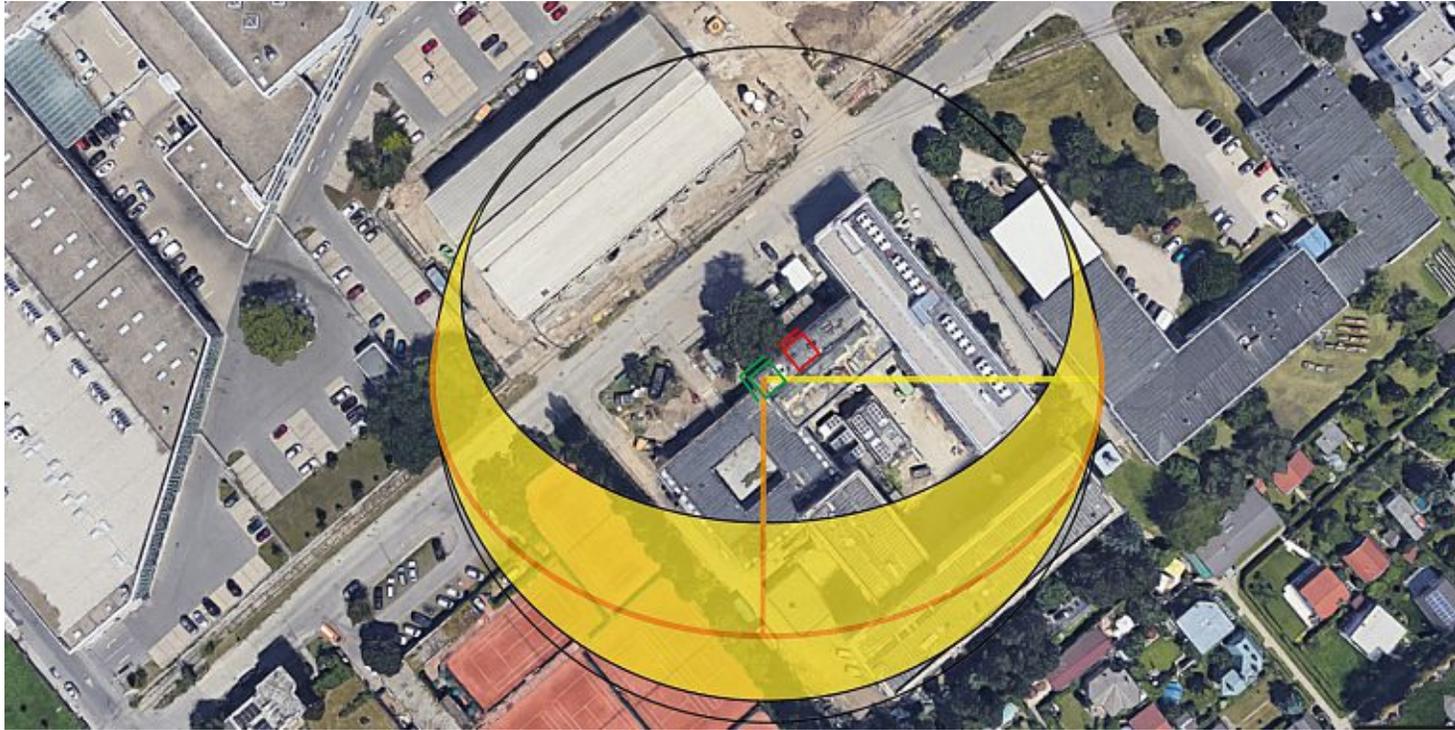


Abb. 69: Sonnenstandsdiagramm am 24. September 2020, in der Hälfte des Testungszeitraumes; 6:45 Sonnenaufgang (gelb), 12:47 Sonnenhöchststand (orange), 18:49 Sonnenuntergang

4. September). Analog dazu wird in **Abb. 66** versucht, die Korrelation der Außenfeuchtigkeit und des Niederschlags auf die Feuchtigkeit in Raum A und Raum B darzustellen. Abgesehen von der Abhängigkeit der Außenfeuchtigkeit und des Niederschlags, ist keine besondere Beeinflussung der eben genannten Außenfaktoren auf die Innenräume zu bemerken.

Der Vollständigkeit halber wird in **Abb. 67-68** die

Temperatur bzw. die Feuchtigkeit in Raum A und Raum B (unabhängig der Raumbegrünung) über die gesamte Testdauer hinweg dargestellt. Besonders in **Abb. 68** erkennt man anhand der Feuchtigkeit, dass der Raumtausch an der Grenze von September zu Oktober stattgefunden hat.

Das Sonnenstanddiagramm (**Abb. 69**) verdeutlicht, dass Raum A (grün) im Laufe eines Tages mehr von der Sonne erfasst wird (grüne L-förmige Kontur) und somit

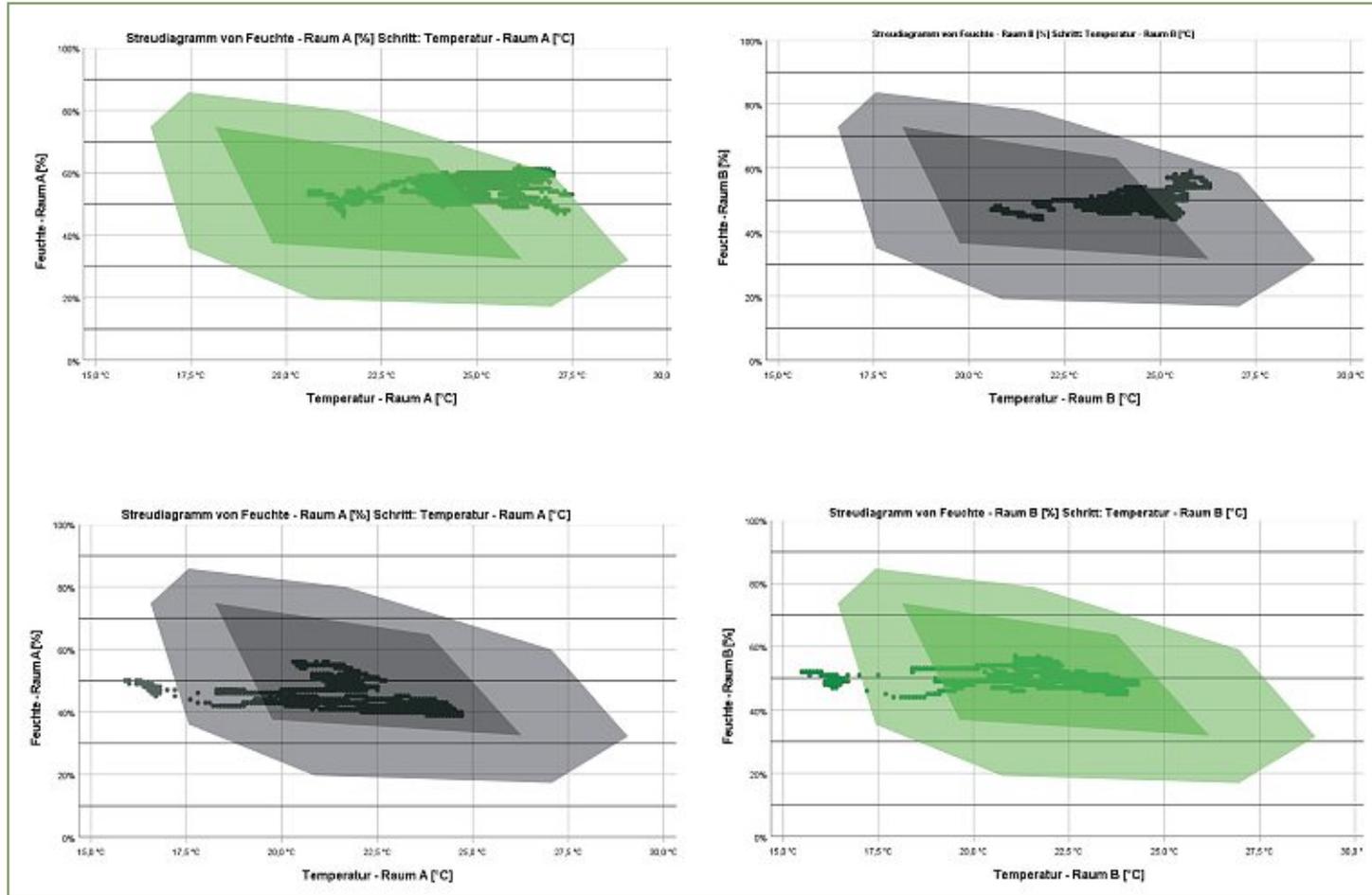


Abb. 70: Alle vier Behaglichkeitsdiagramme im Vergleich

stärker aufgeheizt wird als Raum B (rot), der nur indirekte Sonneneinstrahlung erhält (rote I-förmige Kontur), dies betrifft vor allem die Nachmittags- und Abendstunden. Wenn die Sonne früher untergeht, verringert sich dieser Effekt und es zählt nur noch, dass Raum A (grün) einen höheren Anteil an Außenwandfläche besitzt und so mehr Wärme abgegeben wird. Dies würde auch erklären, dass in Testperiode 2 Raum B (rot) im Schnitt um 0,12 °C wärmer ist als Raum A (grün) und hat aller Wahrscheinlichkeit nichts bzw. bedeutend wenig mit dem Effekt der in Raum B platzierten Innenraumbegrünung zu tun (**Tab. 3**).

In **Abb. 70** werden alle vier Behaglichkeitsdiagramme der beiden Testperioden gegenübergestellt. Während in jenem Kapitel zur selben Testperiode Raum A und Raum B miteinander verglichen wurden, wird nun versucht, jeweils denselben Raum in den verschiedenen Testperioden miteinander zu vergleichen. Betrachtet man nun also jeweils Raum A bzw. Raum B im begrünten und nicht begrünten Zustand, sind erhebliche Unterschiede zu verzeichnen. Diese betreffen jedoch hauptsächlich die Verschiebung auf der x-Achse, also die Temperatur, die mit Fortschreiten der Testungen immer kühler wurde.

Der erhöhte Feuchtigkeitsgehalt in der Luft (höhere Werte auf der y-Achse) während die Innenraumbegrünung installiert ist, wurde bereits in den jeweiligen Kapiteln „Behaglichkeit“ beschrieben und ist ebenfalls ablesbar.

Vergleich zu anderen durchgeführten Studien

Es wurden einige andere Studien durchgeführt, die Auswirkungen auf Räumlichkeiten durch Innenraumbegrünung untersuchen. In diesem Kapitel wird versucht, Parallelen zwischen diesen Studien und vorliegender Diplomarbeit aufzuzeigen und erkennbare Unterschiede darzulegen.

Das Unternehmen Florawall GmbH ließ im Jahre 2012 eine „Wissenschaftliche Studie zur Wirkanalyse einer Florawall (vertikalen Begrünung)“⁵⁴ durchführen und beschreibt die Erkenntnisse der durchgeführten Diplomarbeit „Beeinflussung des Raumklimas in Bürogebäuden durch vertikale Begrünung“ von DI Dietmar Schreiner an der FH Burgenland für ebendiese Firma so:

„Aus der in der Diplomarbeit durchgeführten Befindlichkeitsbefragung geht hervor, dass das subjektive Wohlbefinden, die Luftfeuchtigkeit und die Akustik im Innenraum positiv durch das vertikale Pflanzensystem beeinflusst wurden. Damit zeigen die Befindlichkeitsdaten, dass die subjektive Wahrnehmung der Raumnutzer die Ergebnisse der physikalischen Messergebnisse im Wesentlichen widerspiegeln konnten. Während die Raumtemperatur von den Nutzern, sowohl im begrünten Messraum als auch im Referenzraum, als gleichwertig

54 Vgl. Florawall GmbH: Wissenschaftliche Studie zur Wirkanalyse einer Florawall (vertikalen Begrünung), in: Florawall, 2015, [online] http://www.florawall.at/wp-content/uploads/2015/02/FlorawallGmbH_Studie.pdf [15.02.2021].

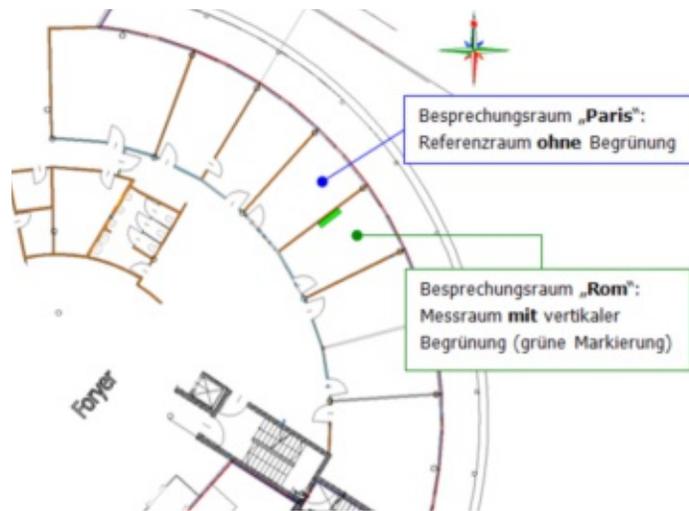


Abb. 72: Ausschnitt vom Grundrissplan, Florawall



Abb. 71: Versuchsraum mit einer Florawall

empfunden wurde, stellten die Nutzer subjektive Wahrnehmungsunterschiede in der Raumakustik bzw. in der Geräuschentwicklung im Besprechungsraum, der Luftfeuchtigkeit sowie der Luftqualität fest. Eine positive Beeinflussung der subjektiven Befindlichkeit von Raumnutzern in einem vertikal begrünten Raum konnte somit gefunden werden. Auch über ein gesteigertes allgemeines Wohlbefinden wurde von den Raumnutzern im begrünten Raum berichtet. Unabhängig von Geschlecht, Alter, Besprechungsdauer oder Personenanzahl im Raum, zeigt sich ein positiv beeinflusstes allgemeines Wohlbefinden in einem begrünten Besprechungsraum.⁵⁵

Die bedeutendsten Unterschiede zur vorliegenden Diplomarbeit sind, dass Schreiner und die FH Burgenland die Messungen in künstlich belüfteten Räumen durchführten und die verschiedene Leistungsvarianten (mit mechanischer Lüftung, ohne mechanische Lüftung und freie Lüftung) simulierten. Die Gemeinsamkeiten sind der ähnliche Versuchsaufbau (zwei Räume, wobei einer der beiden als Referenzraum dient und die Sensoren für Temperatur, Feuchte und CO₂, **Abb. 71-72**) und die gewonnenen Erkenntnisse: Sowohl diese Diplomarbeit als auch der Artikel von Florawall beschreiben, dass kein bemerkbarer Unterschied der Temperatur durch die Innenraumbegrünung, jedoch ein Anstieg der Feuchtigkeit zu verzeichnen ist.

Eine weitere wichtige Erkenntnis am Rande scheint

55 Florawall GmbH, 2015, S. 7.

in diesem Zusammenhang ebenfalls erwähnenswert: Die Autoren fanden heraus, dass umso mehr Feuchte im Raum bleibt, je geringer der Luftwechsel im Raum ist und dass optimalerweise die technischen Geräte (Lüftung) so eingestellt werden sollten, dass der Effekt der Luftbefeuchtung der Pflanzen nicht durch hohe Luftwechselrate zerstört wird.

Weiters beschreiben sie ihre Resultate so:

“Mit mechanischer Lüftung ist die relative Raumluftfeuchteerhöhung mit ca. 4 % sehr gering. Ein Maximum an Feuchteerhöhung mit ca. 15 % stellt der Messaufbau ohne mechanische Lüftung dar. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch

der Wärmeabtransport nicht mehr gegeben ist und die Raumluft dadurch stickig und schwül wird. Ein optimales Ergebnis wurde mit der freien Lüftung erzielt, bei der eine Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit im Raum von ca. 12 % erreicht wurde”⁵⁶

2016 wurden an der Universität von Sevilla (Spanien) ebenfalls Versuche einer Innenraumbegrünung im Rahmen des publizierten Papers “Einfluss einer Active Living Wall (ALW) auf Innentemperatur und Luftfeuchtigkeit”⁵⁷

56 Florawall GmbH, 2015, S. 6.

57 Vgl. Pérez-Urrestarazu, L./R. Fernández-Cañero/A. Franco/G. Egea: Influence of an active living wall on indoor temperature and humidity conditions, in: Ecological Engineering, Jg. 90, 2016, doi: 10.1016/j.

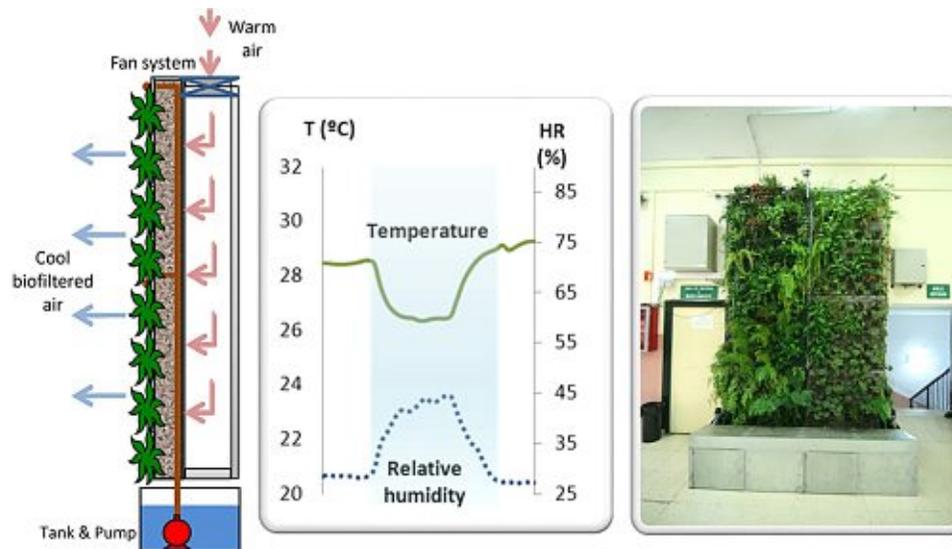


Abb. 73: Darstellung der Innenraumbegrünung der Universität von Sevilla

durchgeführt. Sowohl der Versuchsaufbau als auch die Betrachtung von Raumtemperatur und -feuchtigkeit sind ähnlich zur Testung dieser Diplomarbeit.

Ein hervorzuhebender Unterschied ist jedoch, dass der spanische Prototyp eine eingebaute Lüftung besitzt, die warme Luft ansaugt und vereinfacht formuliert durch die Pflanzen bläst (**Abb. 73**), so soll die warme Luft abgekühlt werden und sommerlicher Überhitzung entgegenwirken. Gerade durch diese Adaptierung kann der in der vorliegenden Diplomarbeit ausgebliebene Kühlungseffekt herbeigeführt werden. Als mögliche Erklärung wird angeführt, dass dies möglicherweise auf die kühlende Wirkung der Vegetationstranspiration und der Wasserverdunstung aus dem unter der Active Living Wall befindlichen Tank zurückzuführen ist. In der Studie werden Temperaturabfälle zwischen 0,8 und 4,8 °C gemessen. Während der Testung tritt die Temperatursenkung hauptsächlich während der ersten 15 bis 20 Minuten auf, danach erreicht die Temperatur ein Plateau, bis das Lüftersystem wieder abgeschaltet wird. Dieses Ergebnis legt nahe, dass längere Betriebsperioden keine höheren Temperaturabfälle bedeuten, obwohl dies von anderen Faktoren wie der Active Living Wall-Größe oder dem zu behandelnden Luftvolumen abhängen kann.

Ein im Jahre 2017 von Dr. David Tudiwer und Dr. Azra Korjenic veröffentlichtes Paper am Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie der TU Wien⁵⁸ zeigt die Untersuchung einer Innenraumbegrünung

ecoleng.2016.01.050, S. 120-124.

58 Vgl. Tudiwer, David/Azra Korjenic: The effect of an indoor living wall system on humidity, mould spores and CO₂-concentration, in: Energy and

in einem Klassenzimmer. Luftfeuchtigkeit, Temperatur und CO₂-Konzentration werden in zwei Klassenräumen mit gleichem Volumen gemessen. Wie auch in dieser Diplomarbeit, wird im Paper beschrieben, dass einer der Räume als Referenzraum dient. Ein eklatanter Unterschied ist, dass die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit über 10 Monate lang einschließlich Sommer- und Wintermonaten untersucht wurden, also um etwa 7,5 Monate länger als die Testperioden dieser Diplomarbeit. Im Winter verbessert die erhöhte relative Luftfeuchtigkeit des begrünten Klassenzimmers den Komfort. Genau wie in der vorliegenden Arbeit konnte im Paper ebensowenig gesagt werden, ob die Begrünung in Innenräumen die Innentemperatur des Raums im Sommer senken kann, jedoch zeigen die Untersuchungen auch hier, dass die relative Luftfeuchtigkeit im begrünten Raum höher ist als im nicht begrünten Klassenzimmer. Dies führt in den Wintermonaten zu einem höheren Komfort. Da Trockenheit in Innenräumen im Sommer nicht so häufig ist wie im Winter, wirkt sich die Begrünung im Sommer nicht so stark auf das Raumklima aus wie im Winter.

Die Diplomarbeit “Vergleich raumklimarelevanter physikalischer Größen zweier Schulgebäude mit unterschiedlicher Belüftung, jeweils ausgestattet mit zwei verschiedenen Innenwandbegrünungssystemen”⁵⁹ von Dipl.-Ing. Simon Strübing befasst sich mit demselben

Buildings, Jg. 146, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.048, S. 73-86.

59 Vgl. Strübing, Simon: Vergleich raumklimarelevanter physikalischer Größen zweier Schulgebäude mit unterschiedlicher Belüftung, jeweils ausgestattet mit zwei verschiedenen Innenwandbegrünungssystemen, Diplomarbeit, Bauingenieurwesen, 2019, [online] <https://repositum.tuwien.at/retrieve/20949>.

Forschungsprojekt wie jenes aus dem zuvor genannten Paper von Dr. Tudiwer und Dr. Korjenic. Er kommt zu folgendem Schluss: "In Bezug auf die Lufttemperatur tragen die Pflanzen ganz offensichtlich zu einer Kühlung der Umgebungsluft bei. Diese reicht dennoch nicht im Sommer aus, um für die angepeilte Behaglichkeit zu sorgen. Eventuell würde eine Klimaanlage einen vorteilhaften Synergieeffekt in beiden Klassen zustande bringen." Es wurde postuliert, dass eine effiziente Kühlung durch die Bepflanzung allein nicht zu bewerkstelligen sei.

In der vorliegenden Diplomarbeit wird je einer der 88 m³ großen Räume durch ein lebendes Wandsystem von 0,437 m³ (eine Kiste mit den Maßen 37 * 26 * 18,7 cm; 24 Kisten gesamt) begrünt. Dies bedeutet, dass das Volumen

des Wohnwandsystems etwa 0,5 % des Raumvolumens beträgt. Nachdem das Volumen des Wohnwandsystems im Forschungsprojekt von Dipl.-Ing. Strübing etwa 1% des Raumvolumens beträgt, ist anzunehmen, dass selbst eine Vergrößerung um 0,5 % keine bedeutenden Auswirkungen auf die Raumtemperatur bei der in dieser Diplomarbeit durchgeführten Testung gehabt hätte.



Abb. 74: Links: Grünwand im begrüntem Klassenzimmer. Mitte: Messung im begrüntem Klassenzimmer. Rechts: Messung im nicht begrüntem Klassenzimmer.

Fotodokumentation

Die folgenden Bilder dienen zur besseren Übersicht des Prototypen und seines Zusammenbaus. Eine vollständige Bauanleitung findet sich in der Diplomarbeit meines Kollegen: „Innenraumbegrünung: Systemdesign und seine Auswirkungen auf die CO₂ Konzentration“ von Marko Marisavljevic (Matrikelnr.: 1650760).



Abb. 75: Der Datenlogger mit dem Prototypen



Abb. 76: Prototyp zu Testbeginn



Abb. 77: Prototyp direkt nach dem Probeaufbau



Abb. 78: Herstellung der einzelnen Module



Abb. 79: Pflanzen an der TU Wien



Abb. 80: eingetopfte Pflanzen in den Modulen



Abb. 81: bearbeitete Plastikbecher als Pflanzgefäße



Abb. 82: kleiner Systemcheck des Wasserlaufs mit sechs Modulen

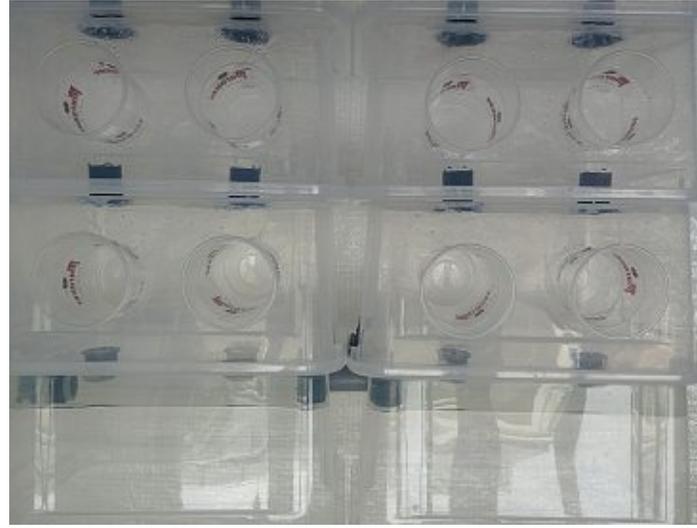


Abb. 83: Modul mit Pflanzgefäßen und Verbinderstücken

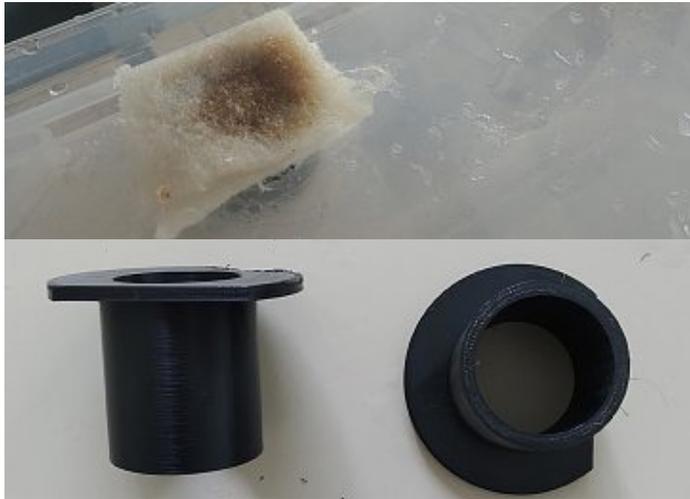


Abb. 84: altes vs. 3D-gedrucktes Verbinderstück



Abb. 85: das alte Verbinderstück war ein zersägtes Rohr



Abb. 86: Wasserfärbung durch Zugabe von Flüssigdünger



Abb. 87: vertrocknete Pflanze beim Tausch



Abb. 88: intakte Pflanzen zu Testbeginn

2. TESTAUFBAU: SOZIALE WIRKUNG

Einführung

Zeitlich betrachtet wird vor dem ersten Testaufbau ein anderer Testaufbau (**Abb. 90**) vorgenommen, der die soziale Wirkung von Innenraumbegrünung auf Menschen im Büro betrachtet. Dieser findet vom 14. Jänner bis zum 17. Februar 2020 (5 Wochen) statt und ist weniger umfangreich ausgestaltet als der erste Testaufbau, welcher den Fokus auf die bauphysikalische Wirkung legt und den Schwerpunkt dieser Diplomarbeit bildet.

Ziel ist es, in den Büroräumlichkeiten eines Consultingunternehmens einen künstlich angelegten begrünten Pausenraum in Form einer 5 m² großen, begehbaren Box gefüllt mit Pflanzen zu entwickeln und zu testen.

Die Annahmen lauten wie folgt:

- Durch die geschaffene begrünte Pausenzone verbessern sich die Erholung und das Wohlbefinden der Angestellten.
- In weiterer Folge erhöhen sich dadurch die Konzentration und die Effizienz der darauffolgenden Arbeitseinheiten.

Außerdem wird untersucht:

- wie oft pro Arbeitstag,
- wie lange pro Verwendung und
- wofür der begrünte Pausenraum verwendet wird.



Abb. 89: Straßenansicht Mariahilfer Straße 99

In den folgenden Kapiteln wird unter anderem geprüft, ob sich die Annahmen als richtig erweisen oder diese widerlegt werden müssen.

Methodik des 2. Testaufbaus

Der Ort der Testung sind die Räumlichkeiten der Otago Online Consulting GmbH am Standort Mariahilfer Straße 99, 1060 Wien (**Abb. 89**). Das Bild oben zeigt das Foyer des Unternehmens, in dem der Prototyp aufgestellt wird, vor dessen Installation. Das rechte Fenster dient im fünfwöchigen Zeitraum der natürlichen Belichtung des Prototypen. Da beide Fenster zu einem schmalen halbdunklen Lichthof (**Abb. 91**) führen, werden zusätzlich diverse Leuchten, die mittels einer Zeitschaltuhr gesteuert werden, innerhalb der



Abb. 90: *der begrünte Pausenraum im Einsatz*



Abb. 91: Das Foyer vor dem Aufbau

Box aufgestellt, um Nutzer und Pflanzen mit ausreichend Licht zu versorgen. Außerdem wird der Raum mit einer 10.000 lux starken Lichttherapielampe ausgestattet und ein Lautsprecher unter der Sitzgelegenheit des begrünten Pausenraumes montiert, der mittels leise abgespielten Naturgeräuschen die Authentizität des Naturerlebnisses verstärken soll.

Die Vorbereitungen für den Aufbau finden in den Tagen vor dem 14. Jänner 2020 statt. Nach dem Aufmaß der wesentlichen Räumlichkeiten des Büros werden der Entwurf skizziert und die notwendigen Pflanzen besorgt. Die L-förmige Wand, welche die Box zur Raumecke hin begrenzt, wird in der Werkstatt der TU Wien am Standort Science Center Arsenal vorgefertigt und versuchsweise aufgebaut. Anschließend wird das Material in die Mariahilfer Straße 99 geführt, um am 14. Jänner mit der Testung beginnen zu können. Der nach oben hin offene Raum misst 2 m x 2,5 m x 2,4 m und hat somit eine Bodenfläche von 5 m² (Abb. 92).



Abb. 92: anfängliche Konzeptskizze des begrünten Pausenraums

Verwendete Messinstrumente



Abb. 93: Raspberry Pi 3 B+



Abb. 94: 5 V Laserdiode

Für die Aufzeichnung der Messdaten werden folgende Instrumente gewählt (Abb. 93-96):

- 1x Raspberry Pi 3 B+ ausgestattet mit einer 5 V Laserdiode und einem kwmobile Lichtsensor mit digitalem Ausgang zum Erfassen des Betretens und Verlassens des Prototypen

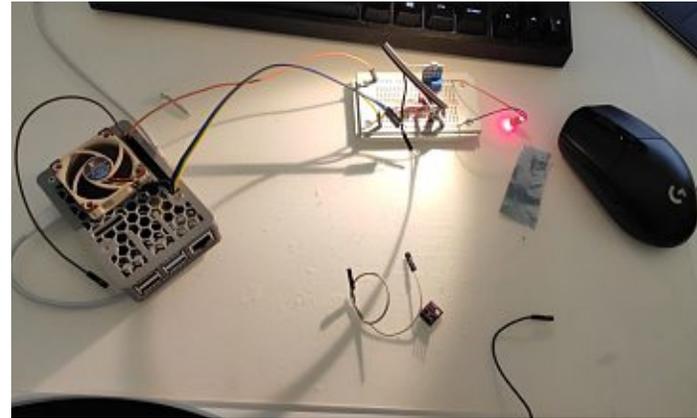


Abb. 95: Raspberry Pi, Lichtsensor und Diode

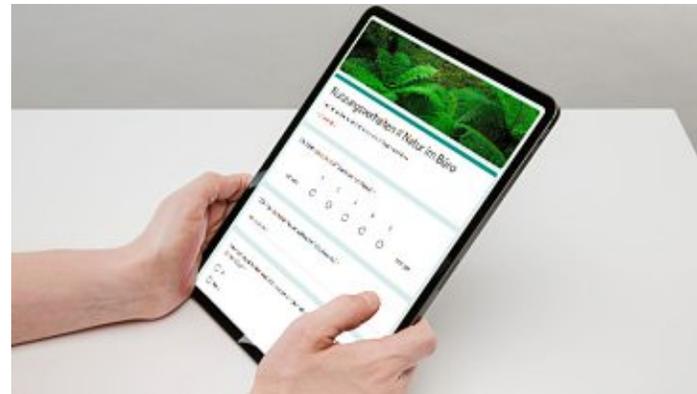


Abb. 96: iPad mit Umfrage zum Nutzungsverhalten

- 1x Apple iPad Air 2 ausgestattet mit einer cloudbasierten Software, welche die Umfragen für die Nutzer bereitstellt.

Versuchsdurchführung

Für den Prototypen kommen eine Vielzahl verschiedener Pflanzen zum Gebrauch, die in unregelmäßigen Abständen manuell bewässert werden. Die verwendeten Pflanzenarten sind:

- Baumfreund (Philodendron bipinnatifidum Atom)
- Birkenfeige (Ficus benjamina)
- Bogenhanf (Sansevieria Trifasciata)
- Drachenbaum (Dracaena fragans)
- Drachenbaum (Dracaena marginata)
- Dumm-Zuckerrohr (Dieffenbachia)
- Efeueralie (Fatshedera lizei)
- Efeutute (Epipremnum Aureum)
- Elefantenfuß (Nolina recurvata und Beaucarnea)
- Fensterblatt (Monstera dekucuisa Tauerii)
- Gemeiner Efeu (Hedera helix)
- Goldpalme (Areca Dypsis lutescens)
- Kentia Palme (Howea forsteriana)
- Kolbenfaden (Aglaonema Maria)
- Palmlilie (Yucca Palme)
- Pfeilwurze (Calathea)
- Riesen-Palmlilie (Yucca tres cana)
- Schwarze Glücksfeder (Zamioculcas Raven)
- Zimmerarialie (Fatsia japonica)
- Zimmerbambus (Süßgras, Bambusa Pogonatherum)

Manche der oben erwähnten Pflanzen sind mehrfach vorhanden, jedoch kommen insgesamt etwa 25 verschiedene Pflanzen von wenigen Zentimetern bis etwa 150 cm Höhe zum Einsatz. Zur weiteren Ausstattung zählen:

- 1x Lichttherapielampe (10.000 lux)
- 1x Spotlight
- 4x Schreibtischlampen
- 1x Zeitschaltuhr
- 1x Lautsprecherbox mit Naturgeräuschen
- 1x Sitzbank

Vor der fünfwöchigen Versuchsdurchführung wurde per E-Mail eine einfach verständliche Erhebung mit sieben prägnanten Fragen zur Evaluierung subjektiver Parameter an die 35 Angestellten der Otago Online Consulting GmbH versendet. Folgende Parameter werden dabei abgefragt:

- die Arbeitsmoral,
- die Verbesserung des Arbeitsumfeldes durch Einrichtung etc.,
- der Arbeitserfolg der Kollegen,
- der Erholungsgrad nach den Pausen,
- der Produktivitätsgrad nach den Pausen,
- die Gemütslage im Zusammenhang mit der unmittelbaren Arbeitsumgebung und
- die Pausenbeschäftigung.

Als der abgefragte Zeitraum gelten jeweils die vorangegangenen drei Wochen. Die gesammelten Fragen und die kompletten Antworten sind dem Anhang zu entnehmen. Während der fünf Wochen ist am Eingang zum Prototypen ein Laser

angebracht, der das Ein- und Austreten dokumentiert. Weiters sind die Mitarbeiter angehalten, nach jeder Benutzung des Prototypen die vorgefertigte Umfrage mit fünf kurzen Fragen zum subjektiven Nutzungsverhalten am bereitgestellten Tabletcomputer auszufüllen. Hierbei werden abgefragt:

- die Gefühlslage nach der Pause,
- die Pausenbeschäftigung,
- die Verbesserung der Erholung verglichen mit einem anderen Platz im Büro,
- dessen Begründung und
- die Dauer des Aufenthalts.

Unmittelbar nach dem Abbau des Prototypen wird den Nutzern per E-Mail dieselbe verständliche Erhebung mit den

bereits erwähnten sieben subjektiven Fragen wie vor dem Aufbau des Prototypen zugesandt. Hinzu kommen weitere drei Fragen, die hauptsächlich auf Verbesserungsvorschläge abzielen.

Auswertung

Die gesammelten Fragen und die kompletten Antworten sind dem Anhang zu entnehmen.

Nutzungsverhalten

An der Auswertung der Erhebung des Nutzungsverhaltens während des fünfwöchigen Testzeitraums nehmen 64 Personen teil. Dies entspricht im Schnitt knapp zwei

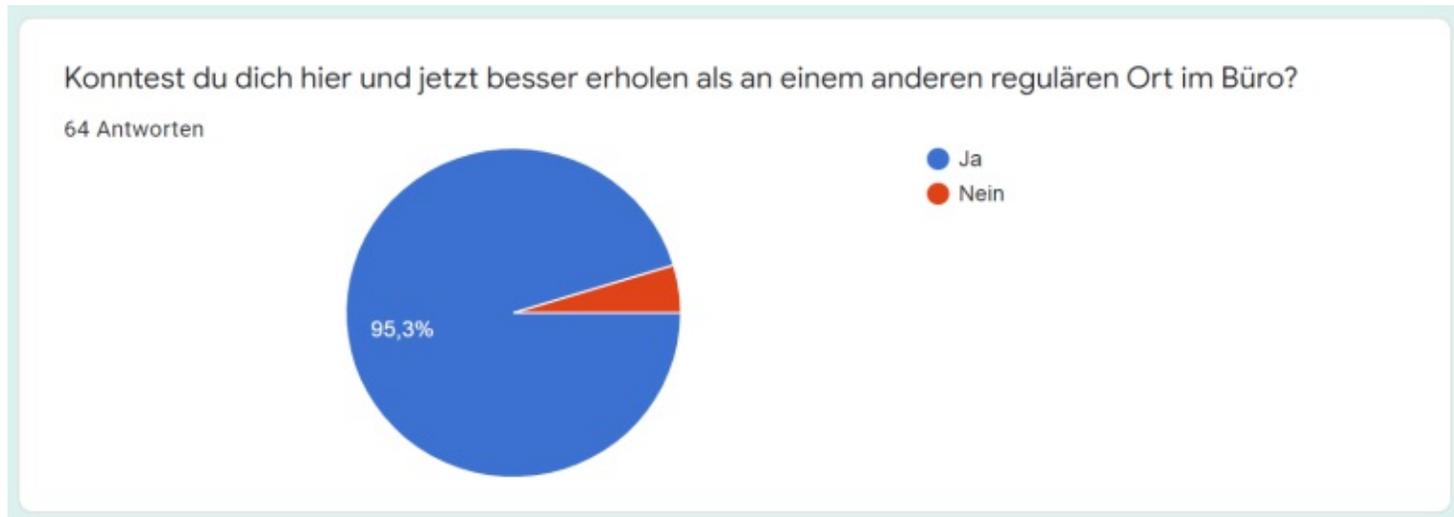


Abb. 97: Fragensauswertung

Personen, welche die Erhebung pro Tag ausfüllen. Trotz dieser vergleichsweise geringen Beteiligung lassen sich dennoch sehr gut die Tendenzen der Nutzung ablesen.

Aus der Auswertung des Fragebogens geht hervor, dass der begrünte Pausenraum einen positiven Effekt auf das Wohlbefinden der Mitarbeiter hervorruft und diese sich besser erholen können als an einem anderen regulären Ort im Büro (Abb. 97 und Abb. 98). Weiters geben die Nutzer an, sich durchschnittlich 11 min in dem begrünten Pausenraum aufzuhalten und die Pausen vorwiegend zum Essen, zum Entspannen und zum Treffen mit anderen Mitarbeitern zu nutzen. Außerdem führen einige der Nutzer an, dass sie den Prototypen gerne als Meetingraum verwenden würden, aber dass dieser für diesen Zweck zu klein sei. Die Gefühlslage unmittelbar nach der Nutzung liegt bei den Probanden auf einer Skala von 1 (am schlechtesten) bis 5 (am besten) im Schnitt bei 4,11 (Standardabweichung 0,84).

Vergleich Eingangserhebung mit Enderhebung

An der Auswertung der E-Mailerhebung nehmen am Anfang 14 und am Ende des fünfwöchigen Testzeitraums 15 Personen teil. Trotz dieser vergleichsweise geringen Beteiligung lassen sich dennoch sehr gut die Tendenzen der Auswirkungen durch den Prototypen ablesen.

Auf einer Skala von 1 bis 7, wobei 1 am geringsten bzw. 7 am höchsten zu werten ist, sind die Mittelwerte der einzelnen Kategorien wie in Tab. 4 angegeben.

Es ist also eine Verbesserung durch die begrünte Pausenbox in 3 von 5 Kategorien zu verzeichnen. Die Mitarbeiter geben an, dass Ihre Arbeitsmoral (“Wie sehr hast du dich gefreut ins Büro zu kommen?”) um 0,44 Punkte und ihr Produktivitätsgrad (“Wie produktiv warst du nach deinen Pausen im Vergleich zu davor?”) um 0,6 Punkte zunimmt.

	Mittelwert vor der Testung*	Mittelwert nach der Testung**	Δ
Arbeitsmoral	4,43	4,87	+ 0,44
Arbeitserfolg	6,23	6,00	- 0,23
Erholungsgrad	3,93	5,00	+ 1,07
Produktivitätsgrad	4,07	4,67	+ 0,60
Gemütslage	2,71	2,40	- 0,31

Tab. 4: Online-Umfrageergebnisse; *n=14, **n=15

Die größte Verbesserung ist in der Kategorie “Erholung” (“Wie erholst du dich nach deinen Pausen?”) bemerkbar. Hier geben die Probanden an, sich nach dem Testzeitraum um durchschnittlich 1,07 Punkte besser zu fühlen. Einzig der Arbeitserfolg der Kollegen und die Gemütslage (“Hattest du das Gefühl, dass dich deine Umgebung (z.B. Einrichtung) deprimiert?”) ist laut dem subjektiven Empfinden der Teilnehmer nach den fünf Wochen geschwunden (**Abb. 99-108**).

Durchschnittlich wird, laut der Umfrage, welche am Ende der Testung ausgefüllt wird, der Prototyp pro Person 12,6 -mal innerhalb der fünf Wochen betreten. Dies bedeutet, dass der

Prototyp im Schnitt ca. 2,5-mal pro Woche betreten wird. Im Gegensatz dazu steht die Auswertung des Lichtschranken des Raspberry Pi, der beim Eingang installiert ist. Hier werden nämlich durchschnittlich 15,7 Benutzer pro Tag gemessen. Es kann vermutet werden, dass andere Nutzer, die den Raum öfter betreten haben, nicht an der Umfrage teilgenommen haben. Dem subjektiven Empfinden der 15 Personen, welche fünf Wochen nach dem Aufbau des Prototypen darüber abgefragt wurden, darf also in diesem Fall nicht allzu viel Beachtung beigemessen werden, zumal die Standardabweichung bei dieser Frage über 8 Nutzungen innerhalb der fünf Wochen beträgt.

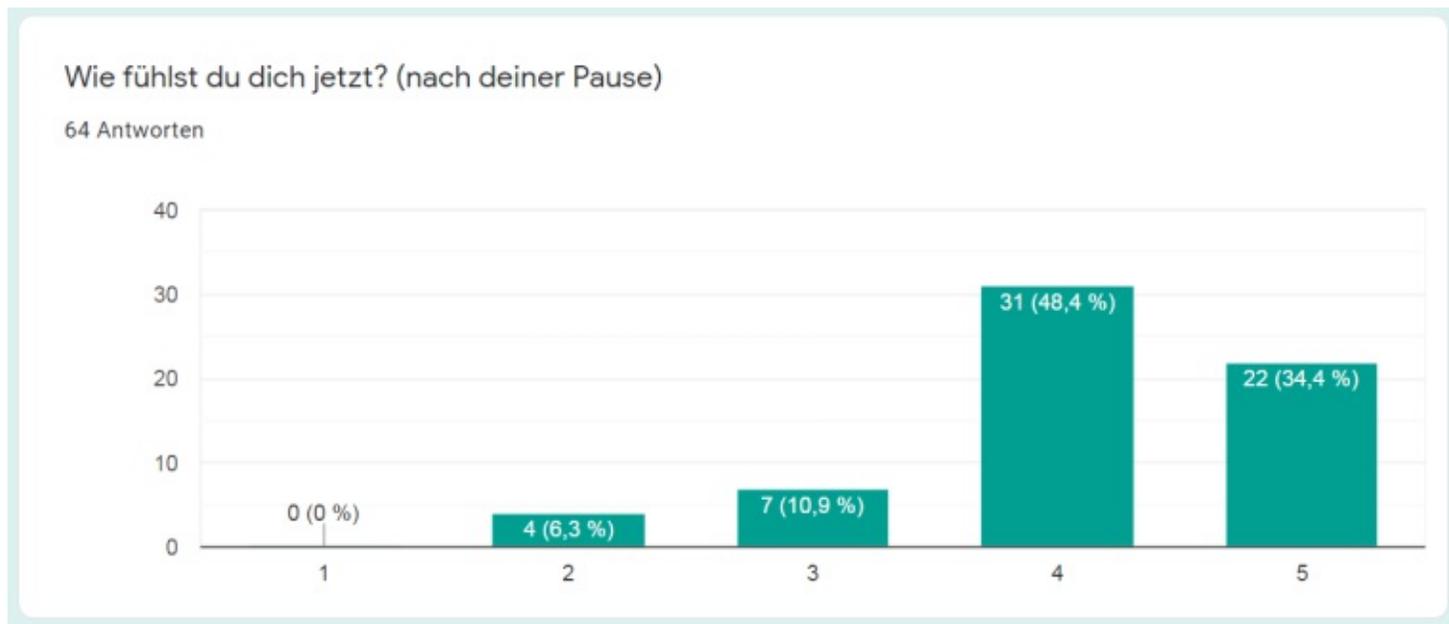


Abb. 98: Fragensauswertung

Anzumerken ist, dass in dem kurzen Zeitraum der Testung „weiche Faktoren“ außer Acht gelassen werden. Dazu zählen insbesondere der Weihnachtsstress am Anfang der Testung (mögliche Auswirkungen bei der ersten Umfrage), der Elan, wie man ihn oft am Anfang eines Jahres erlebt (mögliche Auswirkungen bei beiden Umfragen), und persönliche Gefühlsschwankungen und Probleme der einzelnen Mitarbeiter. Nicht zu vernachlässigen ist ebensowenig der Effekt, dass bei Neuanschaffungen (in diesem Fall die begrünte Pausenbox) die Begeisterung im Nutzerkreis unmittelbar danach oftmals hoch ansteigt und nach einer gewissen Zeit der Gewöhnungsphase wieder abflaut. Dadurch ergibt sich möglicherweise gerade am Anfang der Testung ein verzerrtes Bild.

Dennoch gibt es genügend andere Studien, die eindeutig belegen, dass Begrünungen in Innenräumen einen durchwegs positiven Effekt auf den Menschen haben. Einige davon sind im Kapitel „Auswirkungen der Natur auf den Menschen in Büroräumlichkeiten“ dieser Diplomarbeit zu finden. Passend dazu sei auch die Befragung „Soziale Wirkungen von Begrünungen an Schulen“⁶⁰ vom Projektkonsortium GRÜNEzukunftSCHULEN zu erwähnen. Dieser ist zu entnehmen, dass

„sich Lehrpersonen des Öfteren in den Arbeitsgruppen zum Wohlbefinden und der Akzeptanz [Anm. gegenüber der Begrünung] äußerten und vom

60 Vgl. Korjenic, Azra et al.: SOZIALE WIRKUNGEN VON BEGRÜNUNGEN AN SCHULEN, in: Smartcities.klimafonds.gv.at, 05.2020d, [online] https://smartcities.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/Soziale-Wirkungen-von-Begruenungen-an-Schulen_finale.pdf [16.02.2021].

gesteigerten eigenen Wohlbefinden durch die erhöhte Luftfeuchtigkeit und die Erholung beim Blick ins Grüne berichteten“ und dass „auch die Direktoren durchwegs positives Feedback vor allem durch das gesteigerte Wohlbefinden in den begrünten Räumen erhielten.“⁶¹

Abschließend kann gesagt werden, dass im 2. Testaufbau, der die soziale Wirkung untersucht, die begrünte Pausenbox vermutlich zu eng ist, zu wenig Mitarbeiter die Umfragen ausgefüllt haben und der dunkle Standort für Pflanzen auf Dauer nicht optimal geeignet ist. Weiters müssen bei zukünftig durchgeführten Umfragen die Fragestellungen präziser formuliert werden. Nichtsdestotrotz ist das Stimmungsbild aller Mitarbeiter durchwegs positiv und die Verbesserung durch die Begrünung nach etlichen geführten Gesprächen eindeutig spürbar.

61 Korjenic et al., 2020d, S. 37.

Eingangserhebung n=14

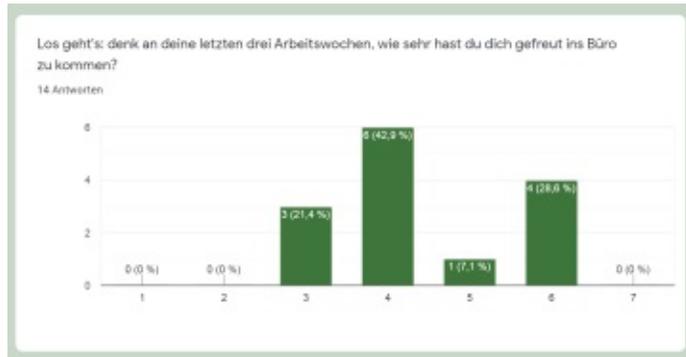


Abb. 99: Arbeitsmoral



Abb. 100: Arbeitserfolg der Kollegen



Abb. 101: Erholungsgrad nach den Pausen

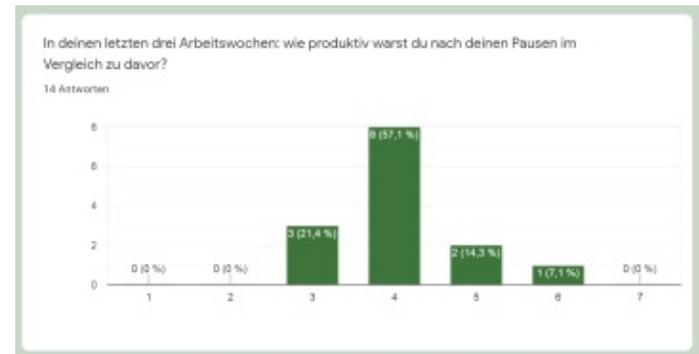


Abb. 102: Produktivitätsgrad nach den Pausen



Abb. 103: Gemütslage im Zusammenhang mit der unmittelbaren Arbeitsumgebung

Enderhebung
 n=15

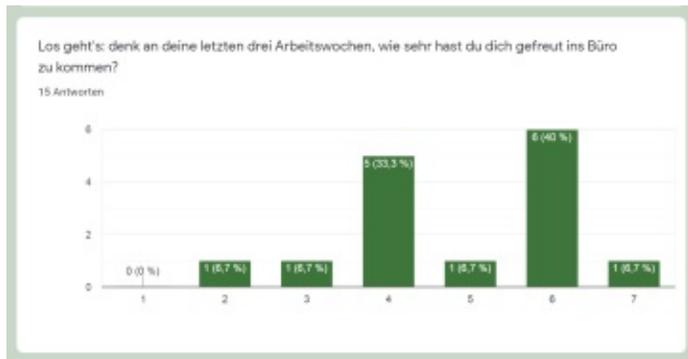


Abb. 105: Arbeitsmoral

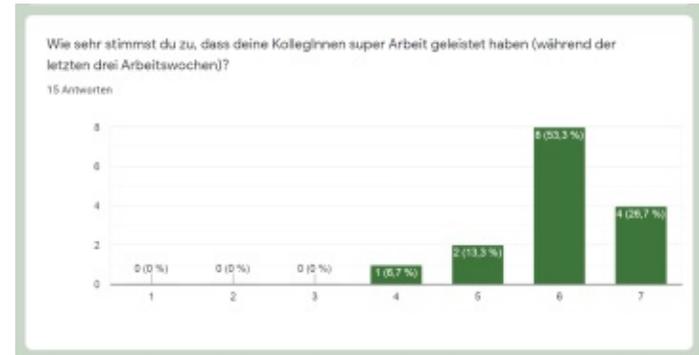


Abb. 104: Arbeitserfolg der Kollegen

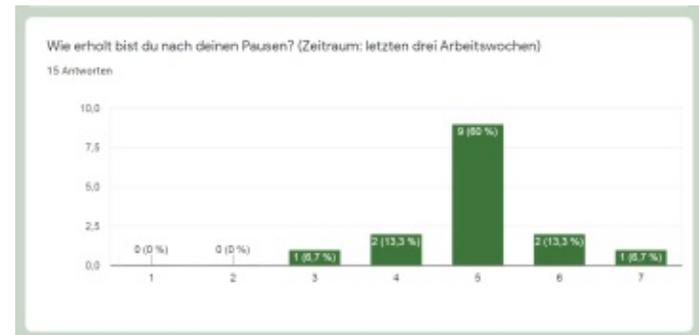


Abb. 106: Erholungsgrad nach den Pausen

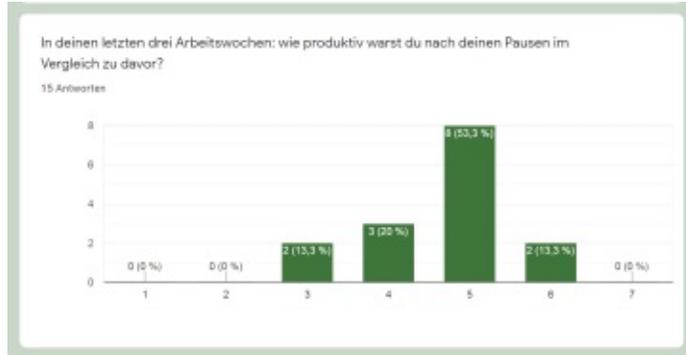


Abb. 107: Produktivitätsgrad nach den Pausen

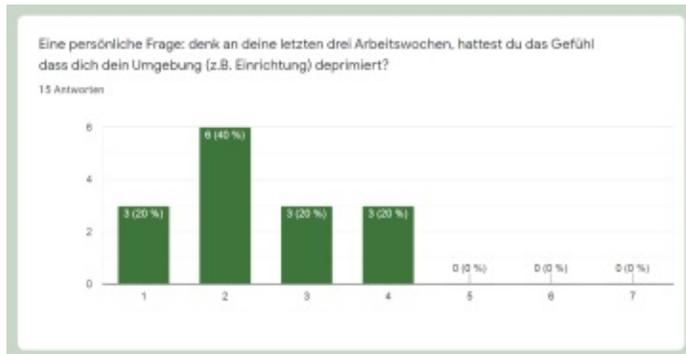


Abb. 108: Gemütslage im Zusammenhang mit der unmittelbaren Arbeitsumgebung

Fotodokumentation



Abb. 109: Testen der Größe und Anordnung



Abb. 110: Aufbauvorbereitungen



Abb. 111: Foyer in der Umgestaltungsphase



Abb. 113: vor dem Aufbau



Abb. 112: der digitale Umfragebogen auf einem iPad



Abb. 114: nach dem Aufbau



Abb. 115: Holzplatten werden mit Stoff verhängt



Abb. 116: Bierkisten als geeignete Unterkonstruktion



Abb. 117: Details



Abb. 118: Begießen findet in der zweiten Testung manuell statt



Abb. 119: Eingang des begrüneten Pausenraums



Abb. 120: Innenleben des Pausenraums

ENTWURF

KONZEPT

In den folgenden Kapiteln wird der Entwurf eines Systems zur Innenraumbegrünung mit dem Fokus auf modulare Bauweise dargestellt. So wird eine adaptive Lösung angeboten, die für eine Vielzahl an verschiedenen räumlichen Gegebenheiten genutzt werden kann. Ausgangslage ist das Problem, dass Natur mit all ihren positiven Eigenschaften im Büroalltag fehlt. Der Entwurf berücksichtigt die beiden vorangegangenen Testungen inkl. der beiden Prototypen (vgl. Kapitel “1. Testaufbau: bauphysikalische Wirkung” und “2. Testaufbau: soziale Wirkung”) und holt die Natur in die Innenräume. Hauptaugenmerk liegt im Folgenden vor allem auf architektonischen und produktdesignrelevanten Aspekten.

Herzstück des Entwurfs ist das bauklotzförmige Hauptmodul, in dem die Pflanzen enthalten sind. Durch die Kombination und den Zusammenbau mit den anderen entworfenen Modulen wird das Konstrukt so zur individuellen begrünten Innenwand, die genau den gewünschten Platzanforderungen entspricht. Die Wasserversorgung erfolgt mittels PVC-Schläuchen, die jeweils aneinander angeschlossen werden und so einen Kreislauf bilden (Abb. 121-122). Durch eine Wasserpumpe werden die Pflanzen tröpfchenweise mit Wasser (inkl. Nährstoffen) versorgt, welches unmittelbar unter den Pflanzen wieder in den Kreislauf kommt und zum Wassertank zurückgeführt wird, um Staunässe zu verhindern.

Beim Entwurf wurden aktiv maßgebende Entscheidungen getroffen, die das gesamte System beeinflussen. Die wichtigste ist, dass anders als beim ersten Prototypen kein Hydroponiksystem verwendet wird. Vielmehr handelt es sich um ein System von Tropfschläuchen. Dies bedeutet, dass weniger Feuchte in den Raum abgegeben und gleichzeitig ein besseres Überleben der Pflanzen bewerkstelligt wird. Hinzu kommt, dass das System so auch leiser im Gebrauch ist als beim ersten Prototypen. Durch die Verwendung der beschriebenen Variante werden vergleichsweise viele Schläuche und Anschlüsse gebraucht. Der entscheidende Pluspunkt ist jedoch die dadurch entstehende Modularität. Der Fehleranfälligkeit durch die hohe Anzahl an Anschlüssen (Verstopfung, Verkalkung, Wasserdichtheit) wird durch Putzöffnungen, leichte Reinigbarkeit und spezielle Vorkehrungen gegen Undichte (Dichtungsringe und Gummimanschetten) entgegengewirkt.

Das Wasser wird im Wassertank gespeichert, wo es durch eine elektrisch betriebene Pumpe direkt zum angeschlossenen Bodenmodul fließt. Von dort aus verteilt es sich in die anderen Bodenmodule und wird vertikal nach oben zu den Hauptmodulen befördert, in denen die Pflanzen ruhen. Durch kleine Öffnungen unmittelbar über den Pflanzenschalen tropft das Wasser nun auf das Substrat und zu den Pflanzenwurzeln. Der perforierte Boden ermöglicht ein Abfließen des Wassers in das Schlauchsystem und verhindert Staunässe. In dem abfließenden Schlauchsystem saugt die im Tank positionierte Pumpe nun das überschüssige Wasser zurück in die Bodenmodule, von wo es zurück in den Tank befördert wird und der Kreislauf von vorn beginnt. Je geradem Teilstück wird ein Wassertank

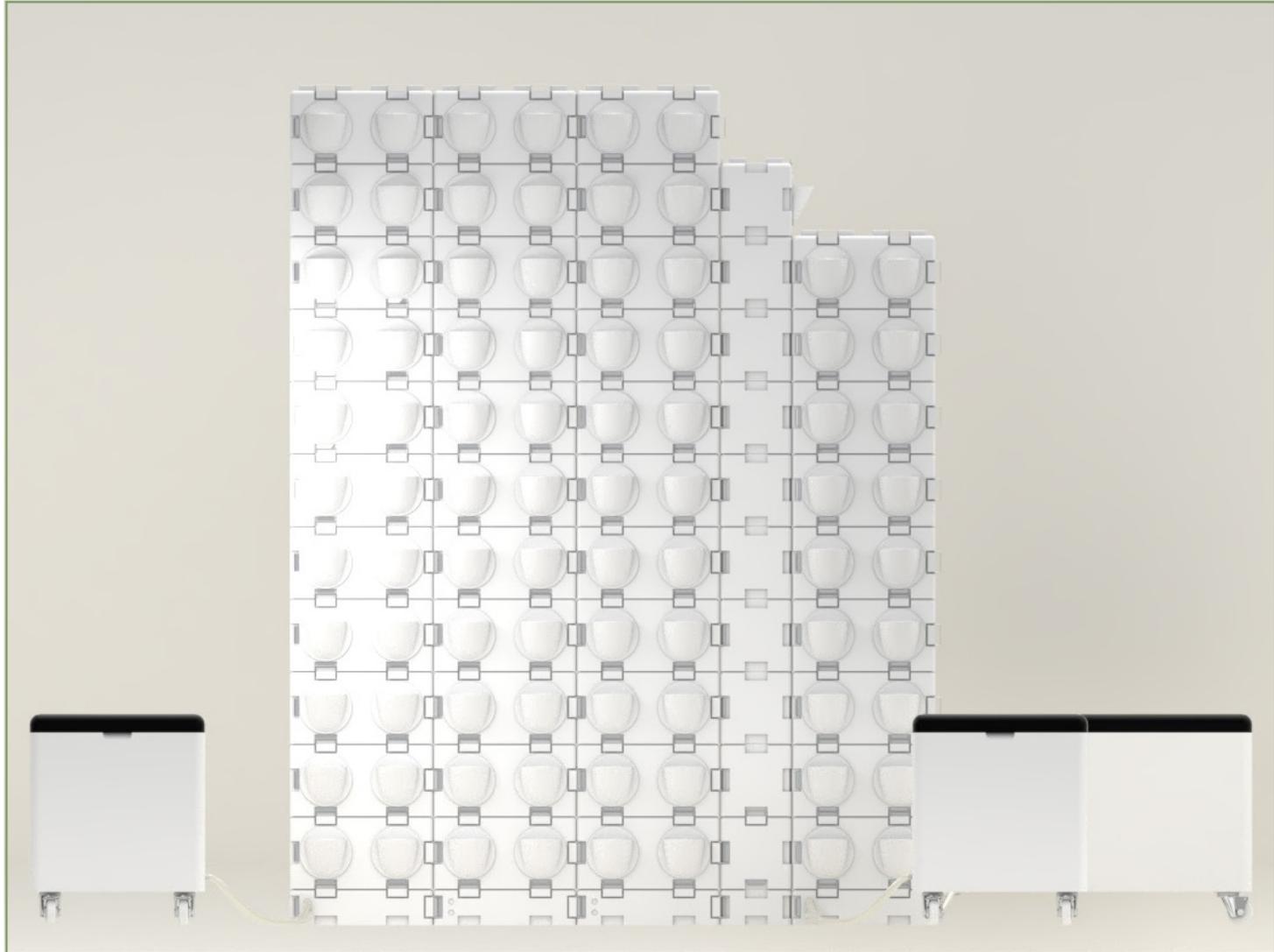


Abb. 121: Frontalansicht einer Aufbauvariante der Module

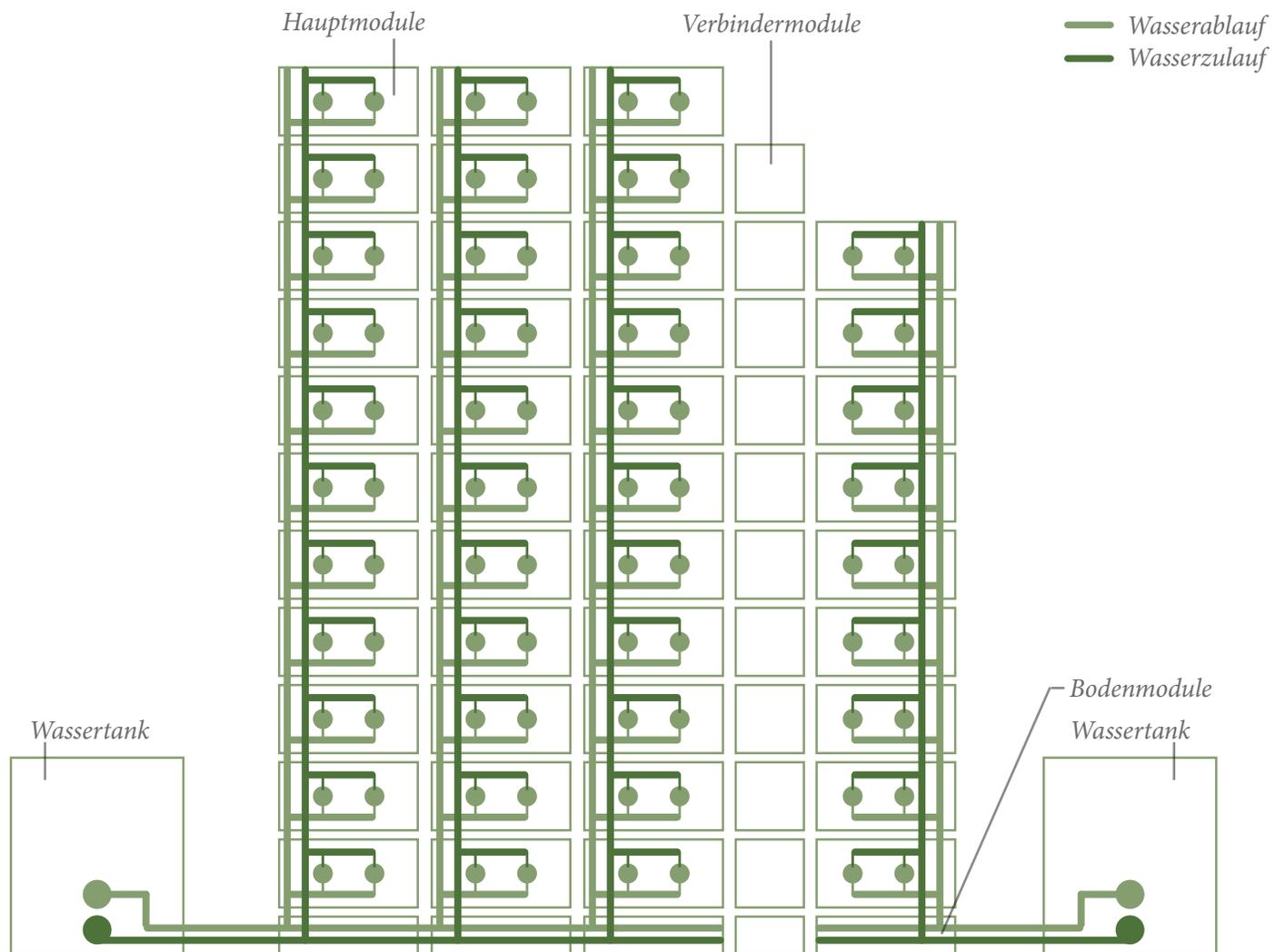


Abb. 122: Wasserflussdiagramm einer Aufbauvariante der Module

mit Pumpe benötigt. Möchten die Nutzer eine Ecke in ihrer individuellen begrünten Innenwand, benötigen sie also ein weiteres Wassertankmodul mit einem eigenen Zulauf zu einem der Bodenmodule.

MODULE

Die Module werden in der Reihenfolge des Wasserlaufs vorgestellt.

Wassertank mit Sitzmöglichkeit

Das Modul des Wassertanks ist eigenständig und weitgehend von der begrünten Innenwand losgelöst. Lediglich die beiden Schläuche, in denen das Wasser in die Wand und weiter zu den Pflanzen gepumpt wird, verbindet es mit den restlichen Modulen. Auf Rollen kann es mobil im Raum so positioniert werden, dass die Benutzer es für geeignet empfinden. Zusätzlich bietet es mit seinem gepolsterten Deckel und einer Größe von 82 x 41 x 48 cm eine optimale und gemütliche Sitzfläche zum Erholen direkt neben der Innenraumbegrünung. Im Inneren des Moduls befinden sich drei getrennte Wassertanks, die nach Anheben des Deckels leicht mittels der Tragegriffe entnommen und bei der nächstgelegenen Wasserleitung befüllt werden können. Das Fassungsvermögen eines einzelnen Tanks beläuft sich auf 16,4 Liter, womit ein gesamtes Wassertankmodul bis zu 49,2 Liter fassen kann (3 x 16,4 Liter). Wieviele Hauptmodule der Wassertank im gefüllten Zustand versorgen kann, hängt in erster Linie von der Kraft der benutzten Pumpe ab. Im ersten Testaufbau kam eine Wasserpumpe mit

einer Förderhöhe von bis zu 2 m und einer Förderleistung von 2000 l/h (35 W) zum Einsatz. Für den Fall, dass so viele begrünte Hauptmodule verwendet werden, dass eine einzelne Pumpe nicht ausreicht, benötigt man ein weiteres Wassertankmodul bzw. weitere Pumpen, die an ein Bodenmodul angeschlossen werden.

Darüber hinaus verfügt jede Pumpe über einen integrierten Kalkfilter, damit die Poren der Tropfschläuche nicht verstopfen, und einen automatischen Überlastschalter, damit die Pumpe nicht weiterläuft, wenn sich kein Wasser mehr im Tank befindet. Ein Timer bzw. eine Zeitschaltuhr bestimmen die Häufigkeit und Dauer jedes Bewässerungsvorgangs. Das Gewicht des gesamten Moduls im befüllten Zustand beträgt etwa 55 kg.



Abb. 123: Wassertankmodul mit Sitzbank und Pumpe

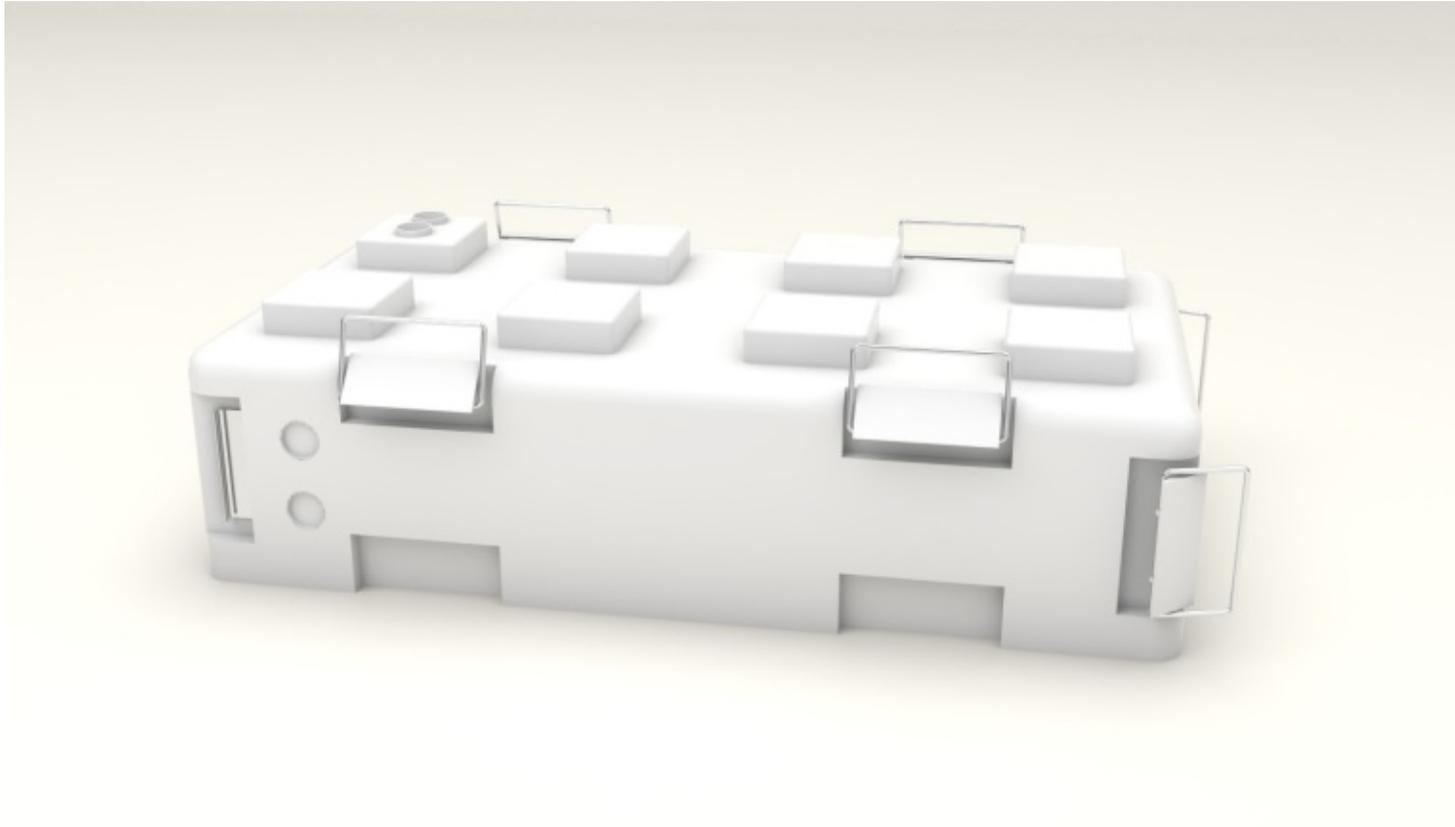


Abb. 124: Bodenmodul

Bodenmodul

Das Bodenmodul stellt die Verteilerbox zwischen Wassertank und den Hauptmodulen dar. Im Inneren befinden sich zwei Schlauchsysteme (Abb. 125), von denen eines für den Zulauf und eines für den Ablauf des eingespeisten

Wassers benötigt wird. Mittels Rückschlagventilen werden die nicht verwendeten Öffnungen geschlossen gehalten und Schnappverschlüsse sorgen für eine schlüssige Kraftverbindung zwischen den einzelnen Modulen. Die Maße eines einzelnen Moduls sind 33 x 16,5 x 8,25 cm, wobei die Noppen einheitlich 4 x 4 x 1,2 cm groß sind.

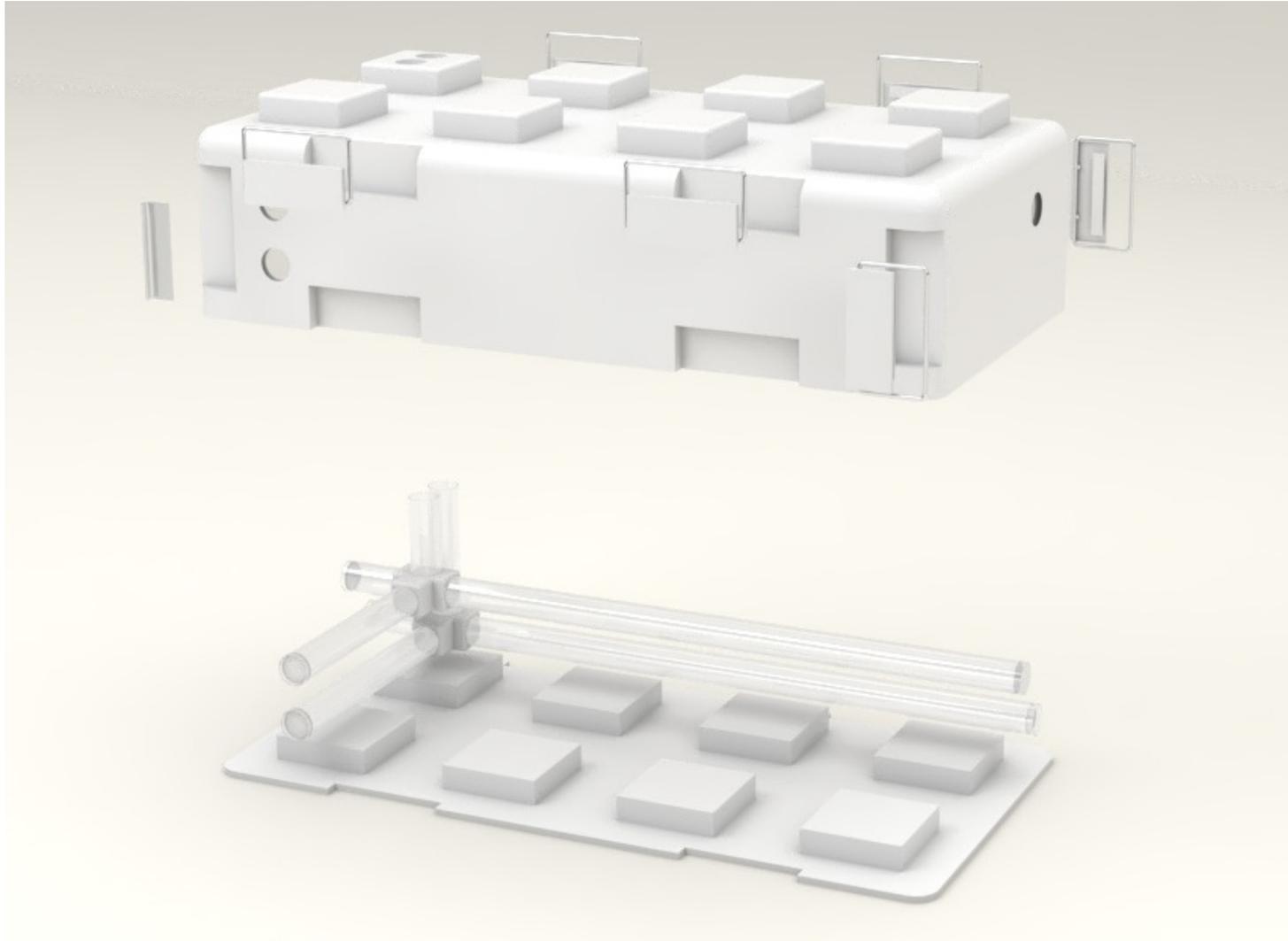


Abb. 125: Explosionsdarstellung des Bodenmoduls

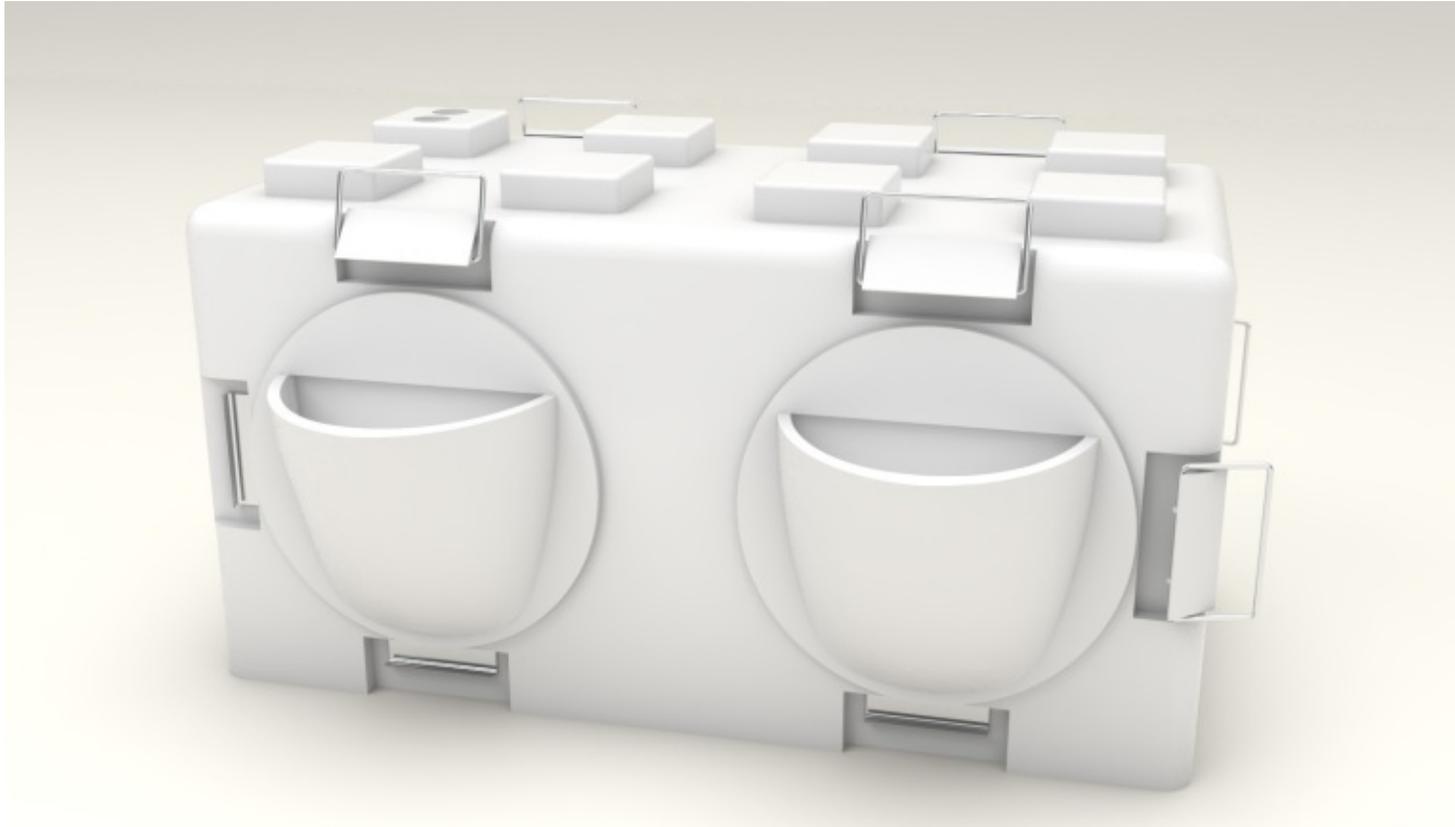


Abb. 126: Hauptmodul

Hauptmodul

ein klassisches Pflanzenmodul besteht aus:

- jeweils zwei Pflanzen und Substrat,
- zwei Pflanzschalen,
- einer Außenhülle aus Kunststoff,
- Tropfschläuchen mit Verbinderstücken und Rückschlagventilen,
- 4 x 2 einheitlichen Noppen und
- Schnappverschlüssen zum Verbinden mit den übrigen Modulen.



Abb. 127: Hauptmodul mit Pflanzen befüllt



Abb. 128: rechts: Explosionsdarstellung des Hauptmoduls



Geeignete Pflanzen für die Innenbegrünung sind:

1. Grünlilie (Chlorophytum comosum „Ocean“),
2. Drachenbaum (Dracaena fragrans ‚Green Jewel‘),
3. Saumfarn (Pteris cretica),
4. Schiefes Fensterblatt (Monstera obliqua),
5. Zwergpfeffer (Peperomia clusifolia),
6. Baumfreund (Philodendron scandens ‚brasil‘),
7. Schwertfarn (Nephrolepis exaltata ‚Boston‘).⁶²

⁶² Vgl. Korjenic et al., 2020b, S. 14.

Abb. 129: geeignete Pflanzen für das Hauptmodul

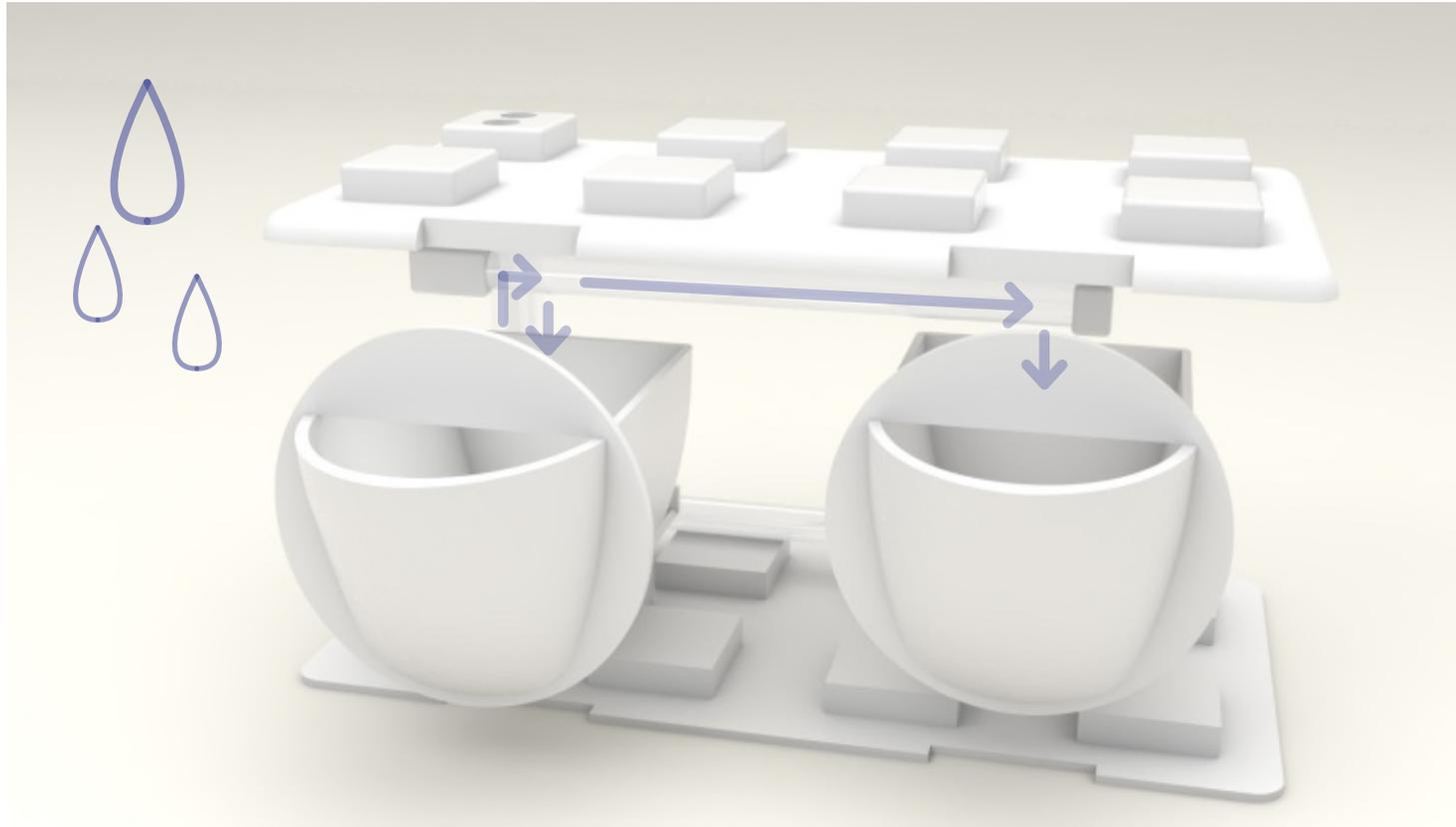


Abb. 130: Funktionsweise des Tropfschlauches im Hauptmodul

“Begrünungen sind keine Kunstwerke [...] Pflanzen sind lebende Materialien und benötigen neben Licht, Nährstoffe und Wasser auch Pflege. [...] Grüne Wände sind keinesfalls mit Kunstwerken an der Wand zu vergleichen!”⁶³

⁶³ Korjenic et al., 2020a, S. 4-5.

Daher wird empfohlen eine regelmäßige Sichtkontrolle der Bepflanzung durchzuführen, denn je schneller Fehler und Probleme erkannt werden, desto besser können Lösungen ergriffen werden.⁶⁴

⁶⁴ Vgl. Korjenic et al., 2020a, S. 6.

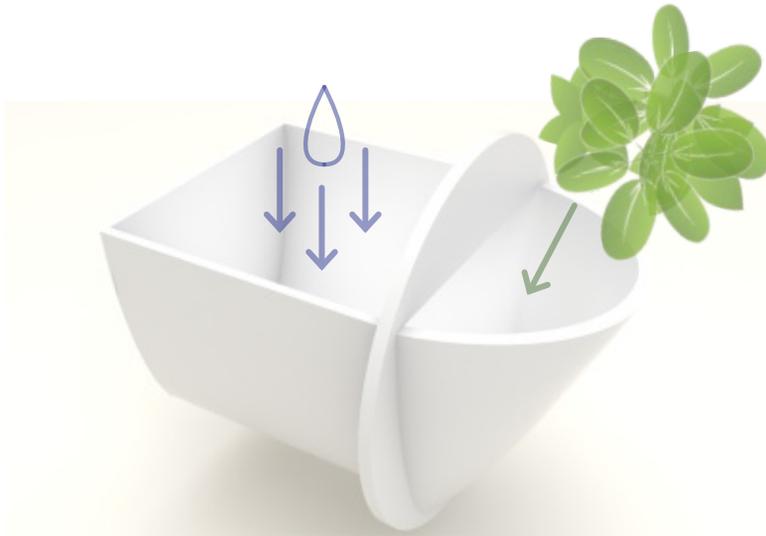


Abb. 131: Pflanzenschale: In den vorderen Bereich wird die wurzelnackte Begünung in das Substrat gepflanzt.

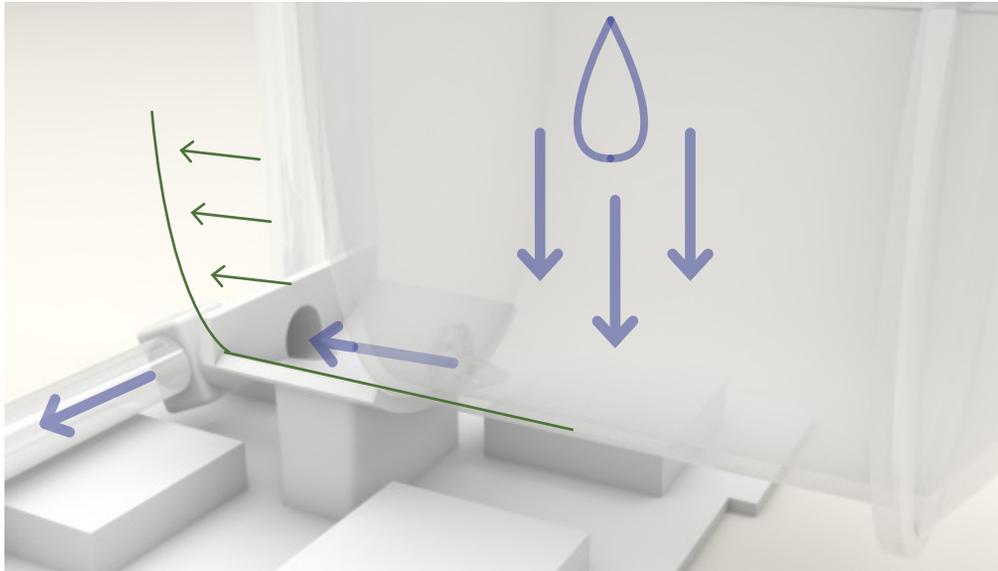


Abb. 132: Funktionsweise des Abflusses der Pflanzenschale

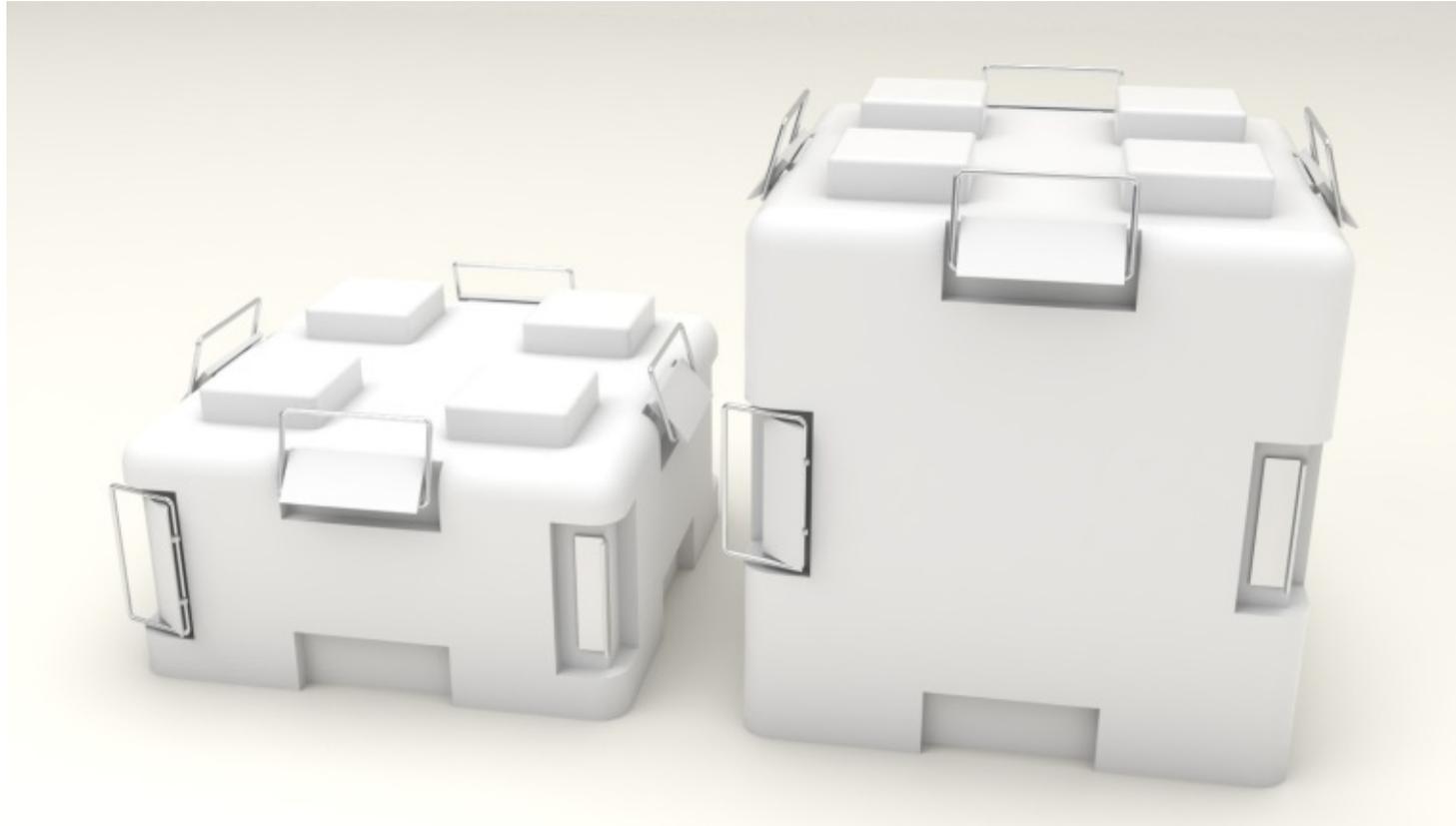


Abb. 133: die beiden Verbindungsmodule; links in der Höhe des Bodenmoduls und rechts des Hauptmoduls.

Als geeignetes Substrat für die Pflanzschalen ist herkömmliches Blähtongranulat mit einer Filtervliesmatte (etwa aus Kokos) vorgesehen. In dieses wird die Pflanze wurzelnackt eingesetzt und tröpfchenweise mit Wasser und Nährstoffen aus dem Kreislauf versorgt (Abb. 131). Die Anfertigung der Außenhülle ist mit recyceltem PET vorgesehen, das beispielsweise aus Kunststoffflaschen

gewonnen und zu Granulat geschreddert wird. Mittels Pressverfahren oder Spritzgießen kann eine marktkonforme Herstellung sichergestellt werden. Im Falle des Spritzgussverfahrens werden die Negativformen aus Aluminium CNC-gefräst und der Hersteller stellt auf Wunsch das Granulat aus rezykliertem Kunststoff her. Das Hauptmodul misst 16,5 x 16,5 x 33 cm.

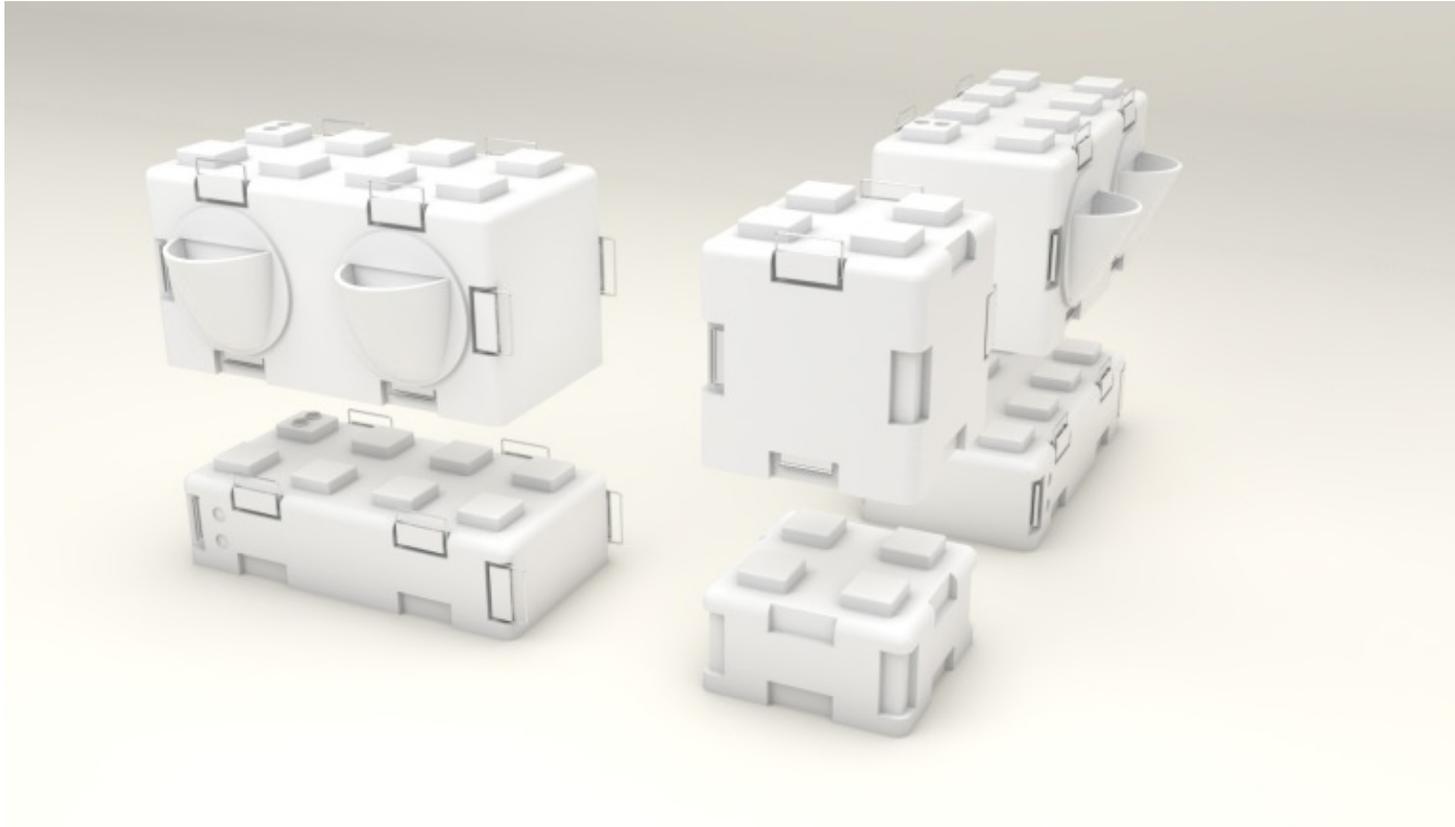


Abb. 134: Explosionsdarstellung einer Eckausführung mittels der Verbindermodule (Bildmitte)

Als Tropfschläuche werden hingegen Schläuche aus PVC verwendet, die einen Durchmesser von 13 mm aufweisen. Dadurch kann einerseits gewährleistet werden, dass diese leichter zu warten sind und andererseits dass Wasser mit höherem Druck durchfließen kann, da durch den größeren Querschnitt weniger Druckverluste entstehen (Abb. 130).

Verbindungsmodul

Die beiden Verbindungsmodule (Abb. 133) dienen dem Abschluss einer Bewässerungseinheit bzw. einer Grünwand. Gerade bei Ecken (Abb. 134) werden diese Module

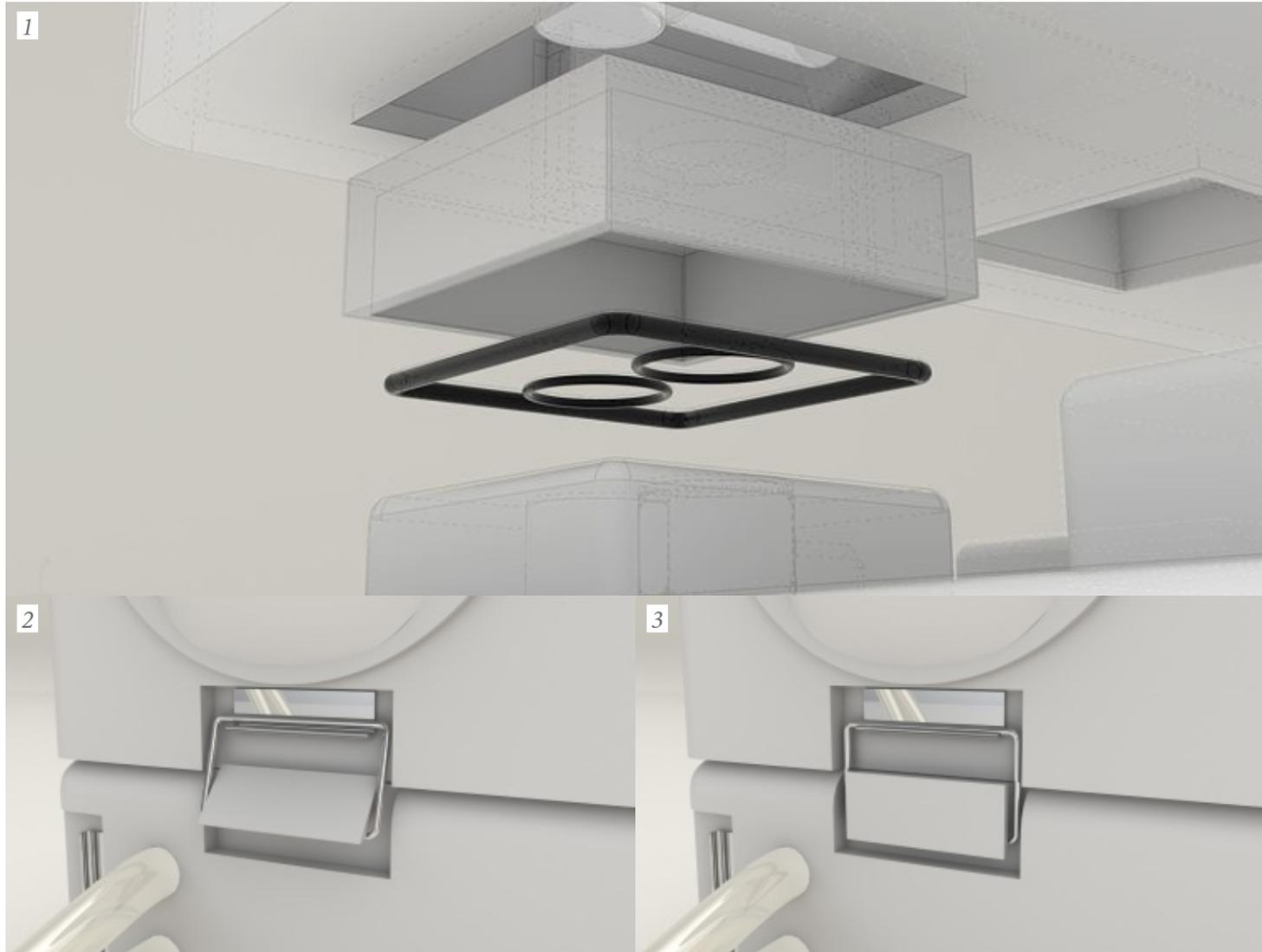


Abb. 135: 1: Dichtungsringe in zwei Instanzen sorgen für Dichtheit; 2: Schnappverschluss offen; 3: Schnappverschluss geschlossen

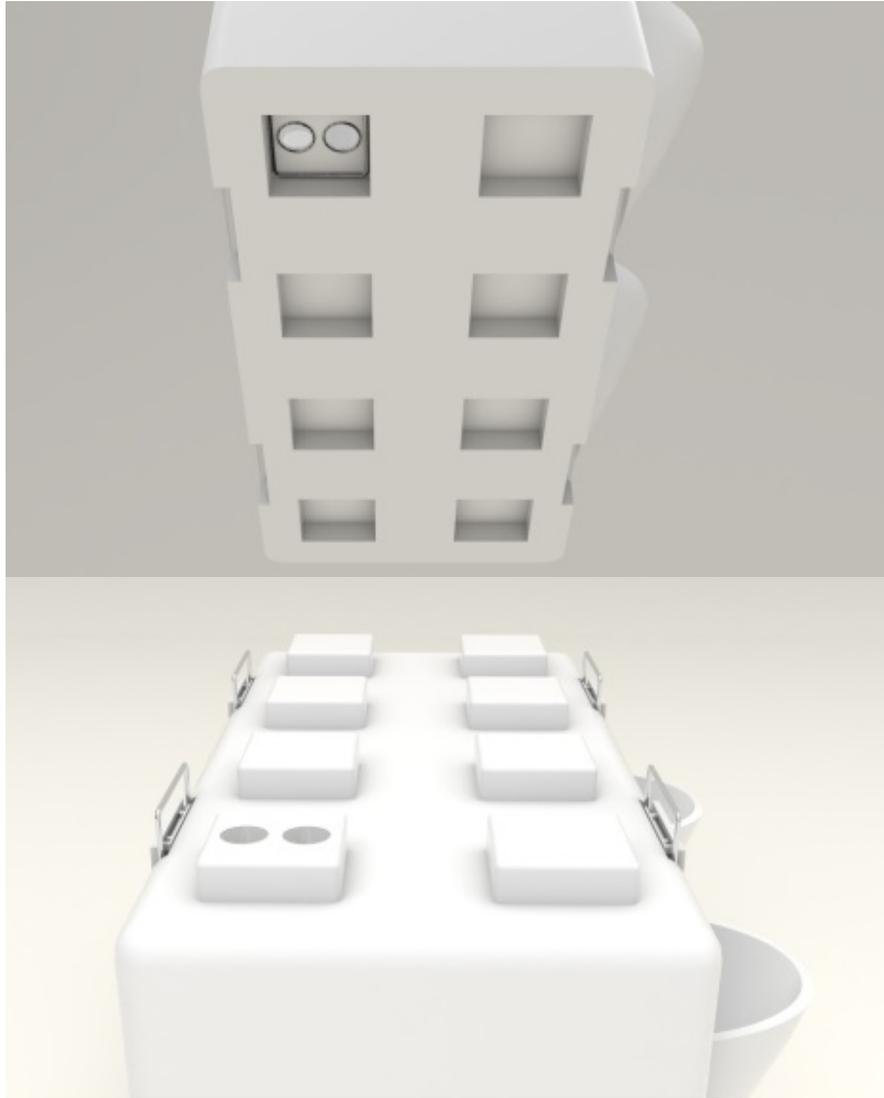


Abb. 136: 4 x 2 Noppen passen in die negative Form des jeweils oberen Moduls

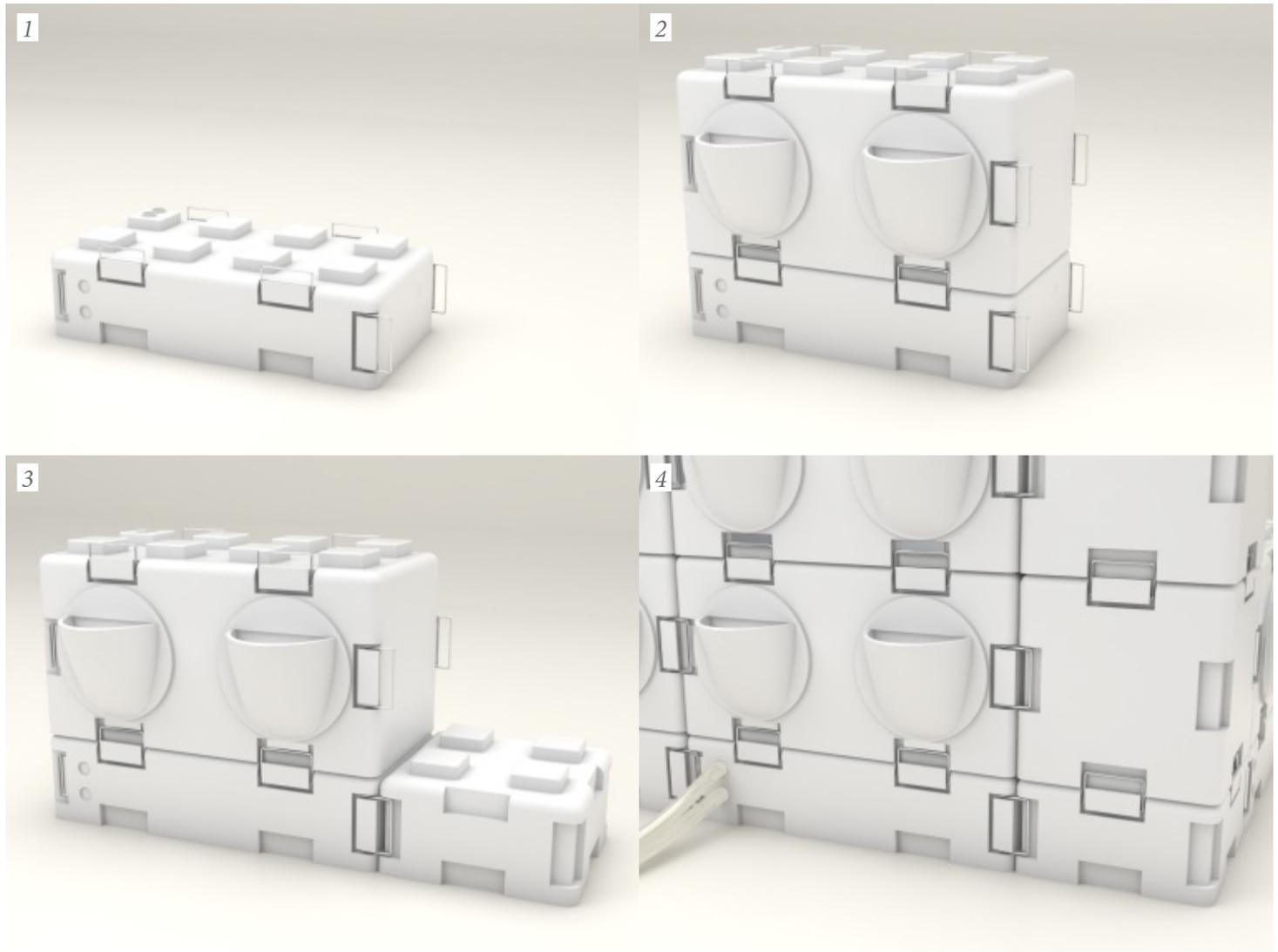


Abb. 137: 1-4: Zusammenbau der Module vom Bodenmodul bis zum Schlauchanschluss

benötigt. Im Gegensatz zu den anderen Modulen ist das Verbindermodul innen Hohl und verfügt lediglich über Schnappverschlüsse, die je nach Ausrichtung positioniert werden und einrasten.

Weitere Module

In der Diplomarbeit meines Kollegen „Innenraumbegrünung: Systemdesign und seine Auswirkungen auf die CO₂ Konzentration“ von Marko Marisavljevic (Matrikelnr.: 1650760) sind weitere Module zu finden.

Diese sind unter anderem:

- Lichtmodul,
- Musikmodul,
- Ventilationsmodul etc.

WASSERDICHTHEIT

Die absolute Wasserdichtheit wird in vier Stufen erreicht:

1. Dichtungsringe am Ende der Tropfschläuche bzw. der Verbindungsstücke (**Abb. 135.1**)
2. weiterer Dichtungsring um jedes der viereckigen Anschlussstücke (**Abb. 135.1**)
3. Aktivierung vom Rückschlagventil beim Anschließen
4. vier Schnappverschlüsse (**Abb. 135.2.-135.3**) um jedes Modul

FLEXIBILITÄT IM ZUSAMMENBAU

Durch die kleinteilige Modularität des Begrünungssystems entwachsen, ähnlich wie bei Bausteinen und Bauklötzen, ungeahnte Möglichkeiten im Zusammenbau. So kann eine begrünte Innenwand auf einem Tisch als Trennwand von wenigen Zentimetern Höhe aufgestellt werden oder aber auch ganze Besprechungszimmer raumhoch ausstatten.

Solange die Module wie beschrieben mit Wasser versorgt werden und in sich (oder durch Befestigen an der Wand) gegen Umkippen geschützt sind, sind dem Zusammenbau keinerlei Grenzen gesetzt. Jeder gerader Wandabschnitt wird einzeln mit Wasser versorgt und je nachdem wie es die Raumanforderungen zulassen sind unterschiedliche Grundformen des Wandaufbaus möglich (**Abb. 138-140**). Nachdem nur einer der acht Noppen eines Moduls einen Anschluss für die Wasserversorgung besitzt (**Abb. 136**), ist es prinzipiell nur möglich, die Module direkt übereinander zu stapeln. Jedoch sind die Höhe und Abstufung sowie die Anzahl an Ecken und deren Ausrichtung frei wählbar.

Abb. 137.1-4 zeigt den einfachen durchführbaren Plug&Play-Aufbau: nach Stapeln der einzelnen Module und Festschnallen der Schnappverschlüsse ist lediglich der Tank zu befüllen und der Schlauch an einer der Bodenmodule anzuschließen. Durch setzen eines Timers kann sichergestellt werden, dass die Pflanzen bestmöglich bewässert werden. Wenn eine der Wände beidseitig begrünt werden soll, stellt man zwei Reihen Rücken an Rücken. Die zweiteiligen Schnappverschlüsse werden dort wo sie benötigt werden separat angeklickt.

Abb. 138: U-förmiger Zusammenbau

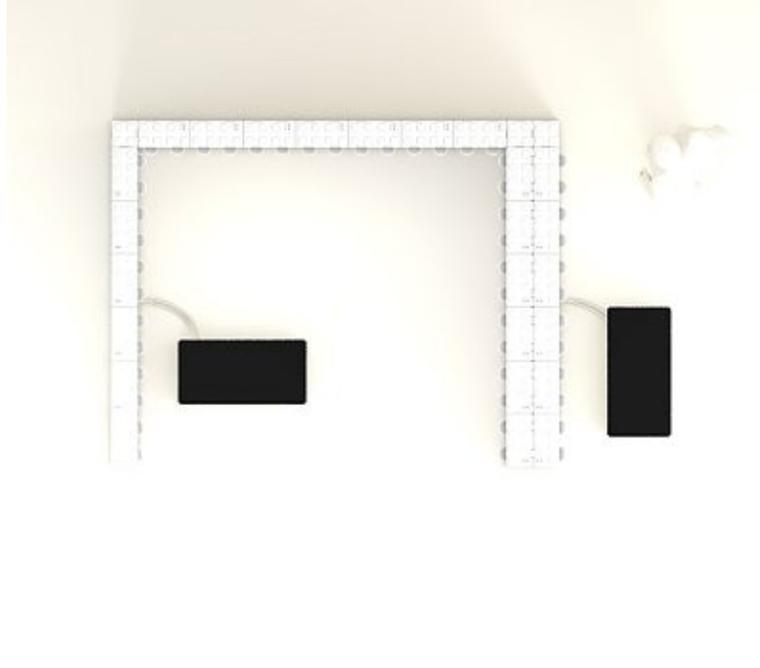
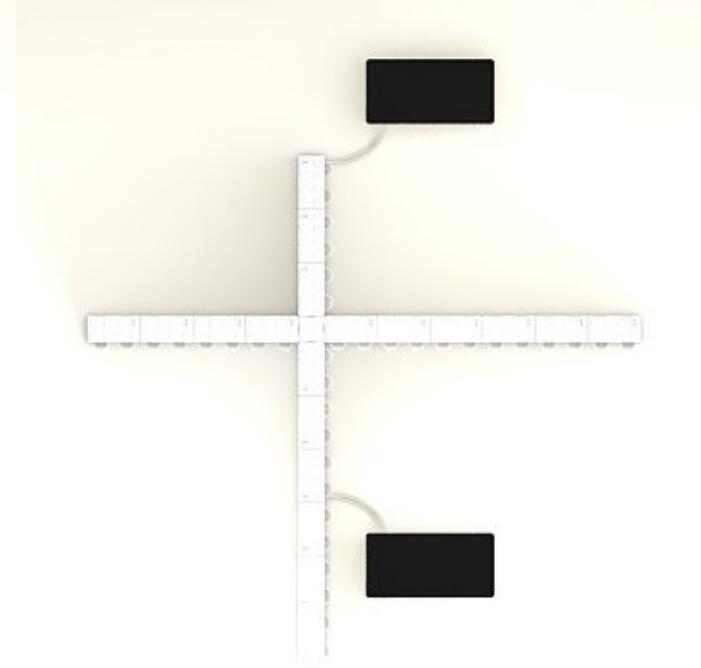


Abb. 139: kreuzförmiger Zusammenbau



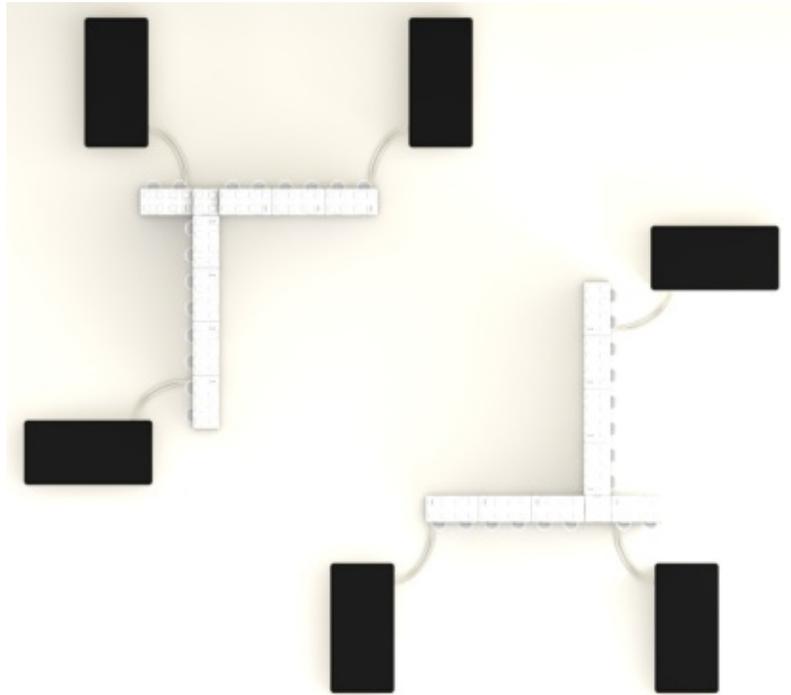


Abb. 140: doppelte L-Form als Möglichkeit des Zusammenbaus

REINIGUNG UND PFLEGE

Kalkhaltiges Wasser wird bereits in der Pumpe gefiltert. In der Zone der Perforierung im PVC-Schlauch (Tropfzone) ist ein Emitterteil mit einer integrierten Labyrinthführung eingebaut. So reinigt das Wasser selbst vor Verstopfung bedrohte Poren. Das Prinzip folgt der einer

„turbulenten Wasserführung im internen Labyrinth des Tropfers. Turbulent heißt, dass das Wasser durch die nicht linienförmige Wasserführung verwirbelt wird und Schmutzablagerungen mitgerissen werden – das Gegenteil von turbulent ist laminar, so wie es z.B. in einem glattwandigen PE-Rohr bei geringen Wasserdurchflussmengen anzutreffen ist. Größere Schmutzpartikel werden von der am Tropfereingang befindlichen Filterfläche zurückgehalten.“⁶⁵

Alle drei bis vier Wochen sollte das System gereinigt werden. Dazu wird die Pumpe in den Ansaugmodus geschaltet, damit das Restwasser aus den Modulen zurück in den Tank fließen kann. Das Wasser in den Tanks wird gewechselt und neuer Flüssigdünger (je nach Pflanzenart) beigemischt. Die Pflanzenschalen werden entnommen und die Schläuche auf Schimmelbefall kontrolliert und bei Bedarf gesäubert.

Nach dem Zusammenbau werden die Blätter der Pflanzen gesäubert. Durch die richtige Pflege kann ein langanhaltender Gebrauch des Systems sichergestellt werden.

⁶⁵ Gardena: Warum ist der Tropfer des MicroDrip Systems selbstreinigend?, in: GARDENA Help Center, [online] <https://help.gardena.com/hc/de/articles/115001175393-Warum-ist-der-Tropfer-selbstreinigend-> [17.02.2021].

SCHAUBILDER

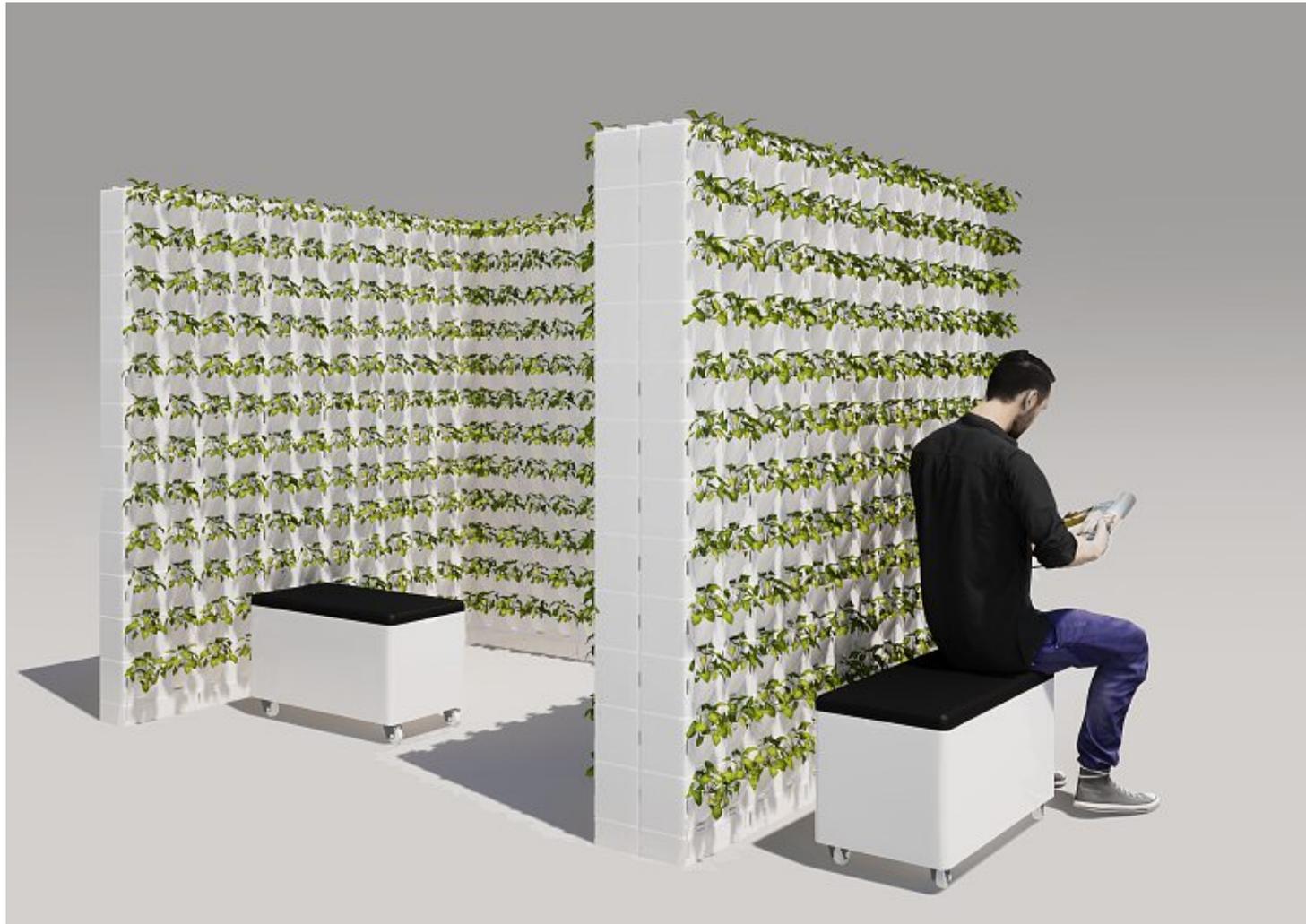


Abb. 141: U-Förmiger Wandaufbau - mit Jungpflanzen nach der Installation



Abb. 142: U-Förmiger Wandaufbau - mit bereits gewachsenen Pflanzen nach 6-12 Monaten

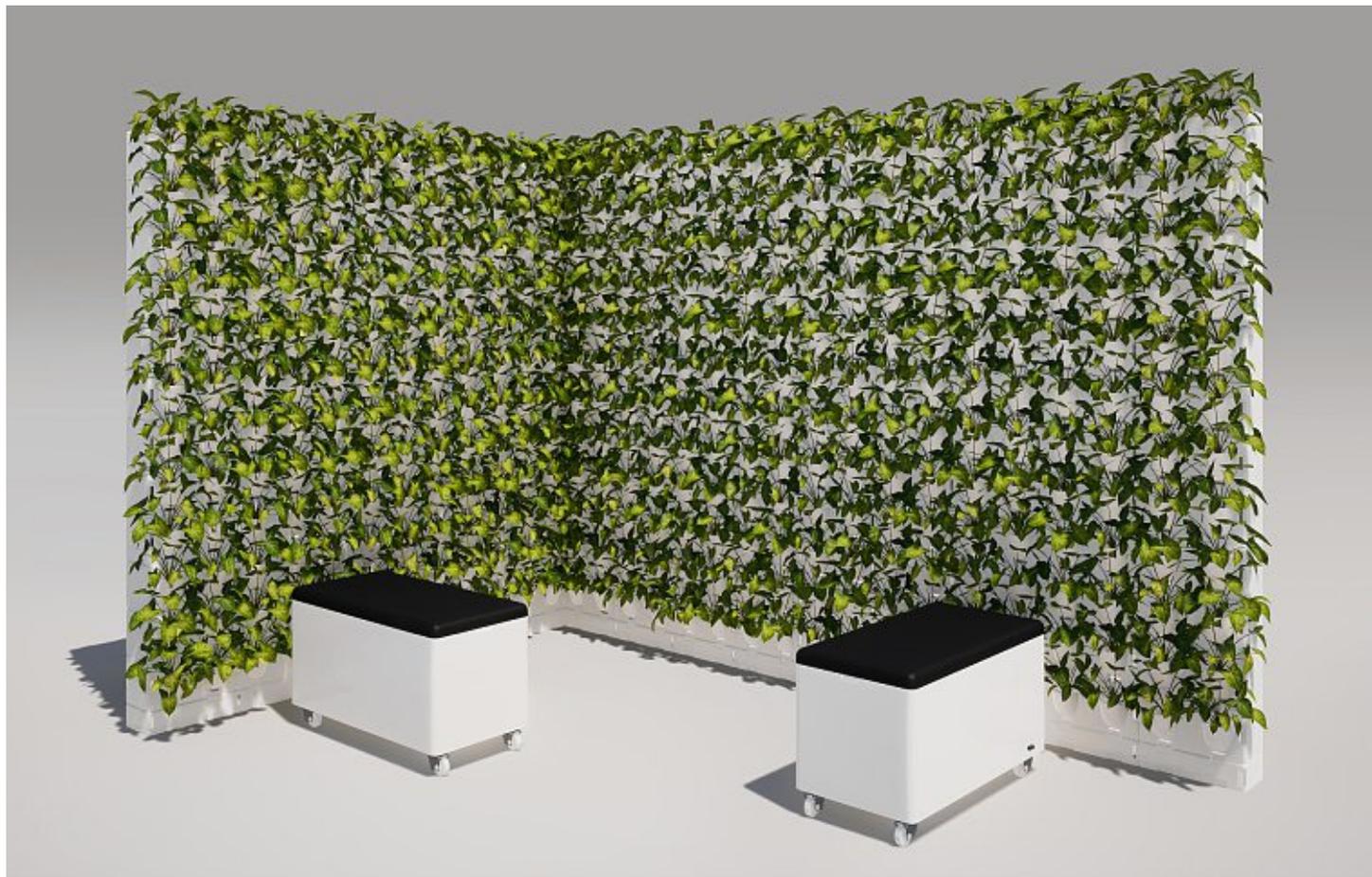


Abb. 143: langer L-förmiger Modulzusammenbau mit zwei Sitzbänken inkl. Wassertanks



Abb. 144: kleine kreuzförmige Ausführung

RESÜMEE

ERGEBNIS

“Dabei haben sich die Pflanzen nicht wirklich zurückgezogen oder aus unserem Lebensraum entfernt. Wir haben unsere Lebensräume verschlossen und damit die “unberechenbare” Natur gegen eine vermeintlich “berechenbare” Technik getauscht. Es führt kein Weg zurück, die heutige Lebens- und Arbeitswelt verlangt nach dem Standard der Vorhersehbarkeit. Aber nichts spricht gegen eine sinnvolle Integration von Natur, gegen ein Stückchen Wald in Verwaltungsgebäuden oder gegen einen Garten im Einkaufszentrum.”⁶⁶

Dr. Cristine Volm,
 Gartenbauwissenschaftlerin und Botanikerin

Diese Arbeit vereint verschieden anmutende Bereiche miteinander: Die Natur mit dem Innenraum, Datenerhebungen mit Produktdesign und nicht zuletzt Architektur mit Ökologie, ein zurecht immer relevanter werdendes Thema in der gebauten Umwelt.

Das Hauptaugenmerk der Diplomarbeit lag stark auf der Durchführung und Auswertung des ersten Testaufbaus. Nichtsdestotrotz wird mit dem Entwurf des Systems eine Realisierbarkeit angestrebt, wenngleich festzuhalten ist, dass bis zu diesem Punkt noch einige Zwischenschritte notwendig sind, die den für diese Abschlussarbeit festgelegten Rahmen

66 Volm, 2002, S. 10.

gesprengt hätten. Die Kernaussagen dieser Arbeit können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das gewählte System der Innenraumbegrünung hat einen Anstieg der Raumluftfeuchtigkeit zur Folge.
- Mit der verwendeten Anzahl an Modulen bzw. Pflanzen konnte mittels der durchgeführten Testungen kaum eine Verbesserung der Behaglichkeit nachgewiesen werden.
- Mehr Module bzw. mehr Begrünung hätten womöglich einen erkennbareren Effekt in puncto Verbesserung der Behaglichkeit in den Räumlichkeiten erzielt.
- Die ungleiche Situierung der Testräume (Raum A an der Gebäudekante bzw. Raum B an der Gebäudelängsseite) führte zu Temperaturschwankungen, welche die Auswertung zu einem unbekanntem Grad verfälschten.
- Die subjektive Wahrnehmung der Angestellten bezogen auf den begrünten Pausenraum (zweiter Testaufbau) bestätigt eine Verbesserung im Arbeitsumfeld und deckt sich somit mit anderen angeführten Studien.
- Zur finalen Realisierbarkeit des Systementwurfs wurde der Grundstein gelegt - weitere Maßnahmen sind nötig.

AUSBLICK

Folgenden Punkten könnte in weiteren Recherchen, anknüpfend an die Resultate dieser Arbeit, auf den Grund gegangen werden:

- Trägt der Systementwurf zu einer Verbesserung der Nachhallzeit bzw. Schallabsorption bei?
- Kann hoher Staubkonzentration im Innenraum durch den Systementwurf vorbeugend entgegengewirkt werden?
- Inwieweit verbessert der Systementwurf bei empfohlenem Lüftungsverhalten die thermische Behaglichkeit?
- Inwieweit beugt eine Verwendung des Systems stressbedingter Krankheit vor und können dadurch langfristig Pflege- und Medizinkosten gesenkt werden?
- Welche weiteren Module (etwa Licht oder Geräusche) werden benötigt um Nutzern ein ganzheitlich authentisches Naturerlebnis bieten zu können?
- Wie belaufen sich die Produktionskosten bei Serienproduktion der Module und wie verhalten sich die Life Cycle Costs des Produkts?

Die urbane Bevölkerungsdichte nimmt stetig zu, daher ist im Interesse des Wohlbefindens aller Stadtbewohner und der Umwelt ein zielführendes Forschen im Gebiet der Innenraumbegrünung erstrebenswert. Ein Schritt in diese Richtung wurde durch das Verfassen dieser Arbeit unternommen.

QUELLEN

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Sofern nicht anders vermerkt, handelt es sich bei den Abbildungen um eigene Darstellungen.

Cover: Illustration auf Grundlage von Gordon Johnson: Pflanze Jahrgang Linie Kunst Blume

Quelle: <https://pixabay.com/de/vectors/pflanze-jahrgang-linie-kunst-blume-4533864/> und eigene Bearbeitung
[13.10.2020]

Abb. 1: Arbeit als Leid und Mühsal, dargestellt von Pieter Bruegel dem Älteren, 1565
Pieter Bruegel de Oude: De graanoogst, 1565, Öl auf Holz, 119 x 162 cm, Metropolitan Museum of Art, New York City, Vereinigte Staaten.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pieter_Bruegel_de_Oude_-_De_graanoogst.jpg
[20.01.2021]

Abb. 2: Arbeiterinnen in der Rüstungsfabrik Woolwich Arsenal, dem der heutige FC Arsenal entsprang, Ende des 19. Jahrhunderts
Workers in the fuse factory Woolwich Arsenal
Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Workers_in_the_fuse_factory_Woolwich_Arsenal_Flickr_4615367952_d40a18ec24_o.jpg
[08.10.2020]

Abb. 3: BIP nach Wirtschaftssectoren: primärer Sektor (1) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - sekundärer Sektor (2) Bergbau, Herstellung von Waren, Energieversorgung, Wasserversorgung, Abfallentsorgung, Bauwesen - tertiärer Sektor (3) Markt- und nicht marktmäßige Dienstleistungen
Bruttoinlandsprodukt nach Wirtschaftssectoren, laufende Preise
Quelle: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/volkswirtschaftliche_gesamtrechnungen/bruttoinlandsprodukt_und_hauptaggre

<gate/jahresdaten/019715.html>
[13.10.2020]
Bearbeitet: eigene

Abb. 4: Schreibtisch mit Karteien und Handregistratur
Quelle: Vgl. Bernasconi et al., 2020, S. 16.

Abb. 5: Verteilung der Innovationsmodelle nach Rogers, 1962
Diffusion of Innovations Model
Everett Rogers, 1962
Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Workers_in_the_fuse_factory_Woolwich_Arsenal_Flickr_4615367952_d40a18ec24_o.jpg
[08.10.2020]

Abb. 6: Orangerie in Versailles
Robert Polidori: L'Orangerie, Chateau de Versailles, 1983, Fotografie, Camera Work, Berlin, Deutschland.
<http://www.artnet.de/kuenstler/robert-polidori/lorangerie-chateau-de-versailles-a-g3XxzL4Zn2o0rKvrGGE5vw2>
[14.02.2021]

Abb. 7: Ward'scher Kasten
Quelle: Ward, Nathaniel Bagshaw: On the Growth of Plants in Closely Glazed Cases, 2. Aufl., London, Vereinigte Königreich Großbritannien und Nordirland: John Van Voorst, 1852, S. 71.

Abb. 8: Gärten im Commerzbank-Tower, Foster + Partner
Nigel Young / Foster + Partners: Gardens inside the Commerzbank Tower, Kaiserplatz, City of Frankfurt, Germany, 2012, Fotografie, Frankfurt am Main, Deutschland.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Commerzbank_Tower_Gardens_2012-09-06_02.jpg
[14.02.2021]

Abb. 9: Aufbau - Troggebundenes Begrünungssystem
Quelle: Hollands, Jutta: Entwicklung eines Modells zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und energetischen Auswirkungen fassa-

dengebundener Begrünungssysteme, Diplomarbeit, Bauingenieurwesen, 2017, [online] <https://resolver.obvsg.at/urn:nbn:at:at-ubtuw:1-132079>, S. 17.

Abb. 10: Aufbau - Vliessystem

Quelle: Vgl. Korjenic et al., 2020b, S. 21.

Abb. 11: Beispiel eines Ranksystems

Quelle: https://www.brandmeier.de/cache/mod_roksprocket/a02f-63826470dce6c740a32a83d6a564_800_700.png
[08.10.2020]

Abb. 12: verschiedene modulare Systeme für den Balkongebrauch

Quelle: <https://de.minigarden.net/> und <https://garten.jardinitis.com/natureup-bewassrungs-erweiterungsset-gardena-wassertank-bed84/>
[08.10.2020]

Abb. 13: ein „Tower Garden“ für den Innenraumgebrauch

Quelle: <https://agrotonomy.com/de/tower-garden-deutschland-osterreich/>
[08.10.2020]

Abb. 14: System der Fa. Naava

Quelle: <https://www.naava.io/>
[08.10.2020]

Abb. 15: Prinzip der Aquaponik erklärt: eine Verbindung von Aquakultur und Hydroponik

Quelle: https://www.swd-ag.de/medien/magazin/artikel/innovationskraft/ik-aquaponik/aquaponik-artikelbild-2_volle_breite.jpg
[08.10.2020]

Abb. 16: Gemüseanbau für die Landwirtschaft mittels Fogponics der Fa. Aerofarms

Quelle: <https://aerofarms.com/technology/>
[08.10.2020]

Abb. 17: schemenhafte Erklärung der verschiedenen Hydroponiksysteme

Quelle: <https://www.nosoilsolutions.com/6-different-types-hydroponic-systems/?pp=1>
[08.10.2020]

Abb. 18: Science Center Arsenal, TU Wien

Matthias Heisler

Quelle: https://www.tuwien.at/fileadmin/_processed_/a/7/csm_TU_Wien_Arsenal_04_c_Matthias_Heisler_ca90bdd96e.jpg
[08.10.2020]

Abb. 19: 3D Satelliten Aufnahme des Science Centers Arsenal; in Grün das Gebäude in dem die Tests durchgeführt wurden

Google, European Space Imaging, Maxar Technologies
Quelle: <https://www.google.com/maps/@48.1789094,16.3942803,117a>
[15.02.2021]

Abb. 20: Grundriss Trakt OY, 1.OG

https://www.tuwien.at/fileadmin/Assets/dienstleister/gebaeude_und_technik/FS/Plaene_2/Franz_Grill_Strasse_9_1030_OY-OZ_IP_24042020.pdf

letzter Zugriff: 20.10.2020

Bearbeitet: eigene

Abb. 21: Testaufbauten

https://www.tuwien.at/fileadmin/Assets/dienstleister/gebaeude_und_technik/FS/Plaene_2/Franz_Grill_Strasse_9_1030_OY-OZ_IP_24042020.pdf

letzter Zugriff: 20.10.2020

Bearbeitet: eigene

Abb. 24: in Grün die Distanz zwischen der Hobbymesstation von Chris Müller (links) und dem Science Center Arsenal

Google, European Space Imaging, Maxar Technologies
Quelle: <https://www.google.com/maps/@48.1789094,16.3942803,117a>
[15.02.2021]

Abb. 25: Wetterstation Aspanggründe: „Vantage Pro2“
Quelle: Müller, o. J.

Abb. 69: Sonnenstandsdiagramm am 24. September 2020, in der Hälfte des Testungszeitraumes; 6:45 Sonnenaufgang (gelb), 12:47 Sonnenhöchststand (orange), 18:49 Sonnenuntergang
Google 2021
Quelle: <https://www.google.com/maps/place/TU+Wien+Science+Center/@48.1794104,16.3939715,480m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x476da9e68f729cd3:0x71ff00797a385a65!8m2!3d48.1794104!4d16.3961602> und eigene Darstellung
[17.02.2021]

Abb. 72: Ausschnitt vom Grundrissplan, Florawall
Quelle: Florawall GmbH, 2015, S. 3.

Abb. 71: Versuchsraum mit einer Florawall
Quelle: Florawall GmbH, 2015, S. 6.

Abb. 73: Darstellung der Innenraumbegrünung der Universität von Sevilla
Quelle: Pérez-Urrestarazu et al., 2016, S. 123.

Abb. 74: Links: Grünwand im begrünten Klassenzimmer. Mitte: Messung im begrünten Klassenzimmer. Rechts: Messung im nicht begrünten Klassenzimmer.
Quelle: Tudiwer/Korjenic, 2017, Fig. 6.

Abb. 89: Straßenansicht Mariahilfer Straße 99
Google, 2021
Aufgenommen: Aug. 2019
Quelle: https://www.google.at/maps/@48.197078,16.3458244,3a,75y,134.55h,81.74t/data=!3m6!1e1!3m4!1sIX5iL6PtDx-z2H8e8_6DsA!2e0!7i16384!8i8192?hl=de
[16.02.2021]

Abb. 93: Raspberry Pi 3 B+

Quelle: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/91zSu-44%2B34L._AC_SL1500_.jpg
[17.02.2021]

Abb. 94: 5 V Laserdiode
Quelle: https://blog.christianperone.com/wp-content/uploads/2012/08/laser_ldr_on.jpg
[17.02.2021]

Abb. 95: Raspberry Pi, Lichtsensor und Diode
Quelle: Clemens Leitner, Privat

Abb. 96: iPad mit Umfrage zum Nutzungsverhalten
Quelle: <https://www.computerbild.de/artikel/cb-News-Tablets-Apple-iPad-Pro-Samsung-Galaxy-Tab-S7-Vergleich-27076823.html>
[17.02.2021] und eigene Darstellung

LITERATURVERZEICHNIS

Bernasconi, Gianenrico/Thomas Hengartner/Andreas Kellerhals/Stefan Nellen: Das Büro: Zur Rationalisierung des Interieurs, 1880-1960, Bielefeld, Germany: Transcript Verlag, 2020.

Bodin Danielsson, Christina/Holendro Singh Chungkham/Cornelia Wulff/Hugo Westerlund: Office design's impact on sick leave rates, in: Ergonomics, Jg. 57, Nr. 2, 2014, doi: 10.1080/00140139.2013.871064, S. 139-147.

Dudenredaktion (Hrsg.): Aquaponik, Duden online, o. J., [online] <https://www.duden.de/rechtschreibung/Aquaponik>.

Dudenredaktion (Hrsg.): Arbeit, Duden online, o. J., [online] <https://www.duden.de/rechtschreibung/Arbeit#herkunft>.

Eichhorn, Theresa/Oliver Meixner: Factors Influencing the Willingness

to Pay for Aquaponic Products in a Developed Food Market: A Structural Equation Modeling Approach, in: Sustainability, Jg. 12, Nr. 8, 2020, doi: 10.3390/su12083475, S. 3475.

Ergodata AG: Das sagt die Wissenschaft: Bessere Leistung dank ansprechender Einrichtung, in: mood - Das Magazin von ergodata zum Leben im Büro, 2017, [online] https://issuu.com/ergodata/docs/mood_magazin_2017, S. 10.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau: Innenraumbegrünungsrichtlinien: Richtlinien für die Planung Ausführung und Pflege von Innenraumbegrünungen, 3. Aufl., Berlin, Deutschland: Patzer, 2011.

Fromm, Erich: Anatomie der menschlichen Destruktivität, Hamburg, Deutschland: Rowohlt-Verlag, 2015.

Gothein, Marie Luise: Geschichte der Gartenkunst: Erster Band, Jena, Deutschland: Eugen Diederichs, 1926.

manager magazin Verlagsgesellschaft mbH: Das Büro der Zukunft: Vernünftig eingesetzt kann der Computer zwischenmenschliche Kontakte fördern, anstatt sie zu unterbinden, in: Harvard Business manager, Jg. 6, Nr. 4, 1985, [online] <https://www.manager-magazin.de/harvard/print/hm/d-29862204.html>, S. 75–86.

Nieuwenhuis, Marlon/Craig Knight/Tom Postmes/S. Alexander Haslam: The relative benefits of green versus lean office space: Three field experiments., in: Journal of Experimental Psychology: Applied, Jg. 20, Nr. 3, 2014, doi: 10.1037/xap0000024, S. 199–214.

Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN ISO 7730, Ausgabe 2006-05-01: Ergonomie der thermischen Umgebung: Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit, Wien, Österreich: Österreichisches Normungsinstitut, 2006.

Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM L 1133, Ausgabe 2017-03-01: Innenraumbegrünung: Planung, Ausführung und Pflege, Wien, Österreich: Österreichisches Normungsinstitut, 2017.

Pérez-Urrestarazu, L./R. Fernández-Cañero/A. Franco/G. Egea: Influence of an active living wall on indoor temperature and humidity conditions, in: Ecological Engineering, Jg. 90, 2016, doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.01.050, S. 120–124.

Raanaas, Ruth K./Katinka Horgen Evensen/Debra Rich/Gunn Sjøstrøm/Grete Patil: Benefits of indoor plants on attention capacity in an office setting, in: Journal of Environmental Psychology, Jg. 31, Nr. 1, 2011, doi: 10.1016/j.jenvp.2010.11.005, S. 99–105.

Redl, Bernadette: Pflanzen im Büro: Grüne Freunde beim Arbeiten - derStandard.at, in: DER STANDARD, 05.07.2019, [online] <https://apps.derstandard.at/privacywall/story/2000105520298/pflanzen-im-buero-gruene-freunde-beim-arbeiten>.

Römermann, Hans-Detlef/Manfred Schlieper: Betriebshygiene: eine Einführung für Facility-Manager: mit 222 Tabellen und 36 Beispielen, Renningen, Deutschland: expert Verlag, 2007.

Strübing, Simon: Vergleich raumklimarelevanter physikalischer Größen zweier Schulgebäude mit unterschiedlicher Belüftung, jeweils ausgestattet mit zwei verschiedenen Innenwandbegrünungssystemen, Diplomarbeit, Bauingenieurwesen, 2019, [online] <https://repositum.tuwien.at/retrieve/20949>.

Tudiwer, David/Azra Korjenic: The effect of an indoor living wall system on humidity, mould spores and CO₂-concentration, in: Energy and Buildings, Jg. 146, 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.048, S. 73–86.

Volm, Cristine: Innenraumbegrünung in Theorie und Praxis, Stuttgart, Deutschland: Eugen Ulmers, 2002.

Zluwa, Irene: Innenraumbegrünung: Untersuchung der Eignung unter-

schiedlicher Substratvarianten für die Innenraumbegrünung anhand eines Vegetationsmonitorings ausgewählter Indikatorpflanzen und spezifischer Laboruntersuchungen, Masterarbeit, Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur, 2013, [online] <https://epub.boku.ac.at/obv-bokhs/content/titleinfo/1082686>.

INTERNETQUELLENVERZEICHNIS

Bloom, Nicholas: How working from home works out | SIEPR, in: siepr.stanford.edu, 06.2020, [online] <https://siepr.stanford.edu/research/publications/how-working-home-works-out> [14.02.2021].

British Broadcasting Corporation: Coronavirus: How the world of work may change forever, in: BBC Worklife, 23.10.2020, [online] <https://www.bbc.com/worklife/article/20201023-coronavirus-how-will-the-pandemic-change-the-way-we-work> [14.02.2021].

Datenlogger-Store - Christoph Waller: T&D RTR-576-S CO2 Datenlogger, in: Datenlogger-Store - Christoph Waller, [online] <https://www.datenlogger-store.de/rtr-576-s-datenlogger-co2-feuchte-temperatur.html> [15.02.2021].

Der Dualstudent - BWL & FOM Wirtschaftsinformatik Blog: Abszisse, in: Der Dualstudent, [online] <https://www.derdualstudent.de/abszisse-abszissenachse.html> [16.02.2021a].

Der Dualstudent - BWL & FOM Wirtschaftsinformatik Blog: Ordinate, in: Der Dualstudent, [online] <https://www.derdualstudent.de/ordinate-ordinatenachse.html> [15.02.2021b].

Elmjid, Fatima: 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN, in: UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs, 16.05.2018, [online] <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> [14.02.2021].

Faktenkontor GmbH/Clemens Hoh/Christine Probst/Manpower GmbH & Co. KG: Bevölkerungsbefragung Arbeitsmotivation 2019, in: ManpowerGroup Deutschland, 12.2018, [online] https://www.manpowergroup.de/fileadmin/manpowergroup.de/Studien/MPG_190219_Quick_Survey_Arbeitsmotivation_2019.pdf [14.02.2021].

Florawall GmbH: Wissenschaftliche Studie zur Wirkanalyse einer Florawall (vertikalen Begrünung), in: Florawall, 2015, [online] http://www.florawall.at/wp-content/uploads/2015/02/FlorawallGmbH_Studie.pdf [15.02.2021].

Gardena: Warum ist der Tropfer des MicroDrip Systems selbstreinigend?, in: GARDENA Help Center, [online] <https://help.gardena.com/hc/de/articles/115001175393-Warum-ist-der-Tropfer-selbstreinigend-> [17.02.2021].

Gesellschaft für Angewandte Wirtschaftsforschung KG: Statistik Kolmogorov, in: GAW, [online] https://www.gaw.institute/statistik_kolmogorov.html [15.02.2021].

Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz: Absolute Luftfeuchte, in: Baunetz Wissen, [online] <https://www.baunetzwissen.de/geneigtes-dach/fachwissen/glossar-a-z/absolute-luftfeuchte-3951825> [15.02.2021a].

Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz: Freie Lüftung, in: Baunetz Wissen, [online] <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/lueftung/freie-lueftung-2466139> [15.02.2021b].

Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz: Kenngrößen der Behaglichkeit, in: Baunetz Wissen, [online] <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/planungsgrundlagen/kenngroessen-der-behaglichkeit-160152> [15.02.2021c].

Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz: Mechanische Lüftung, in: Baunetz Wissen, [online] <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/lueftung/mechanische-lueftung-2466143> [15.02.2021d].

Interface, Inc.: The Global Impact of Biophilic Design in the Workplace, in: greenplantsforgreenbuildings.org, 2015, [online] https://greenplantsforgreenbuildings.org/wp-content/uploads/2015/08/Human-Spaces-Report-Biophilic-Global_Impact_Biophilic_Design.pdf [14.02.2021].

Korjenic, Azra et al.: EXECUTIVE SUMMARY, GRÜNEZUKUNFTSCHULEN; Grüne Schuloasen im Neubau. Fokus Planungsprozess und Bestandsgebäude, in: [Smartcities.klimafonds.gv.at](https://smartcities.klimafonds.gv.at), 03.2020a, [online] https://smartcities.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/20200401_GZS_Executive-Summary.pdf [14.02.2021].

Korjenic, Azra et al.: GRÜNE ARCHITEKTUR IM SCHULBAU - Leitfaden, in: [Smartcities.klimafonds.gv.at](https://smartcities.klimafonds.gv.at), 03.2020b, [online] https://smartcities.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/20200401_GZS_Leitfaden.pdf [14.02.2021].

Korjenic, Azra et al.: GRÜNEZUKUNFTSCHULEN - publizierbarer Endbericht, in: [grueneschulen.at](http://www.grueneschulen.at), 31.03.2020c, [online] http://www.grueneschulen.at/wp-content/uploads/2020/04/GZS_Endbericht.pdf [14.02.2021].

Korjenic, Azra et al.: SOZIALE WIRKUNGEN VON BEGRÜNUNGEN AN SCHULEN, in: [Smartcities.klimafonds.gv.at](https://smartcities.klimafonds.gv.at), 05.2020d, [online] https://smartcities.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/Soziale-Wirkungen-von-Begruenungen-an-Schulen_finale.pdf [16.02.2021].

Meyer-Dohm, Johannes: Geschichte der Innenraumbegrünung, in: P2 OBJEKT GRÜN, 24.06.2019, [online] <https://p2objektgruen.de/begrue-nungskonzept/geschichte-der-innenraumbegrue-nung/> [14.02.2021].

Müller, Chris: Wetterstation 1030 Wien / Aspanggründe, in: [wetter1030.at](http://www.wetter1030.at), [online] <http://www.wetter1030.at> [14.02.2021].

Slack Technologies: Moving beyond remote: Workplace transformation in the wake of Covid-19, in: [Slack](https://slack.com/intl/de-at/blog/collaboration/workplace-transformation-in-the-wake-of-covid-19), 07.10.2020, [online] <https://slack.com/intl/de-at/blog/collaboration/workplace-transformation-in-the-wake-of-covid-19> [14.02.2021].

Statista: Deskriptive Statistik - Statista Definition, in: [Statista Lexikon](https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/49/deskriptive_statistik/), [online] https://de.statista.com/statistik/lexikon/definition/49/deskriptive_statistik/ [15.02.2021].

Universität des Saarlandes: Innenraumbelastungen und Sick Building Syndrom, in: [Universität des Saarlandes](https://www.uni-saarland.de/fileadmin/upload/einrichtung/kowa/Forschung/Berichte/innenraum-abschluss.pdf), [online] <https://www.uni-saarland.de/fileadmin/upload/einrichtung/kowa/Forschung/Berichte/innenraum-abschluss.pdf> [16.02.2021].

Vitra AG: 4 Dinge, die im Büro der Zukunft nicht fehlen dürfen, in: [Business Insider](https://www.businessinsider.de/gruenderszene/gs-connect/vitra/buero-der-zukunft-innovation-vitra-2017-9538/), 07.12.2020, [online] <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/gs-connect/vitra/buero-der-zukunft-innovation-vitra-2017-9538/> [14.02.2021].

Wikipedia-Autoren: Subsistenzwirtschaft, in: [Wikipedia.org](https://de.wikipedia.org/wiki/Subsistenzwirtschaft), 09.03.2003, [online] <https://de.wikipedia.org/wiki/Subsistenzwirtschaft> [15.02.2021].

Wutscher, Irmgard: Arbeiten im Büro der Zukunft, in: [oe1.orf.at](https://oe1.orf.at/artikel/667276/Arbeiten-im-Buero-der-Zukunft), 06.03.2020, [online] <https://oe1.orf.at/artikel/667276/Arbeiten-im-Buero-der-Zukunft> [14.02.2021].

ANNEX

FACHBEGRIFFE

Die meisten der nachfolgenden Fachbegriffe sind direkte Zitate aus angeführten Quellen und erläutern spezifische Begrifflichkeiten, welche in der vorliegenden Arbeit Verwendung finden, näher.

absolute Feuchtigkeit [g/m^3]: “Die Luftfeuchtigkeit bezeichnet den Wasserdampfgehalt in der Luft. Bei steigender Temperatur nimmt die Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf zu. [...] Die absolute Luftfeuchte beschreibt das maximale Aufnahmevermögen der Luft für Dampf bei einer bestimmten Temperatur. Die Wasserdampfmenge in Gramm, die in 1 m^3 Luft enthalten ist, nennt man die absolute Luftfeuchtigkeit. Da warme Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann als kalte Luft, ist die absolute Luftfeuchtigkeit im Sommer höher als im Winter.”⁶⁷

Abszissenachse: die horizontale Achse in einem Koordinatensystem. In der Mathematik wird häufig auch abkürzend von der x-Achse gesprochen.⁶⁸

Behaglichkeit: “Das Wohlbefinden des Menschen ist eine

67 Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz: Absolute Luftfeuchte, in: Baunetz Wissen, [online] <https://www.baunetzwissen.de/geneigtes-dach/fachwissen/glossar-a-z/absolute-luftfeuchte-3951825> [15.02.2021a].

68 Vgl. Der Dualstudent - BWL & FOM Wirtschaftsinformatik Blog: Abszisse, in: Der Dualstudent, [online] <https://www.derdualstudent.de/abszisse-abszissenachse.html> [15.02.2021a].

subjektive Wahrnehmung, die von zahlreichen Faktoren abhängig ist. Die Intensität der geistigen und körperlichen Tätigkeit gehört dazu, die Bekleidung, die individuelle physische und psychische Verfassung der Person, aber auch Einflüsse aus der jeweiligen Umgebung wie etwa die thermische und stoffliche Belastung (z.B. durch Gerüche), Geräusche, Akustik sowie die Aufenthaltsdauer und die Anzahl der anwesenden Personen in einem Raum.”⁶⁹

Biophilie: “ist die leidenschaftliche Liebe zum Leben und allem Lebendigen; sie ist der Wunsch, das Wachstum zu fördern, ob es sich nun um einen Menschen, eine Pflanze, eine Idee oder eine soziale Gruppe handelt.” Der Biophile “möchte formen und durch Liebe, Vernunft und Beispiel seinen Einfluss geltend machen - nicht durch Gewalt und dadurch, dass er auf bürokratische Weise die Menschen behandelt, als ob es sich um tote Gegenstände handelte.”⁷⁰

Freie Lüftung: “Zur Sicherstellung eines behaglichen Raumklimas und zur Vermeidung von Bauschäden durch Kondensatausfall ist der Luftwechsel in einem Gebäude von entscheidender Bedeutung. Er erfolgt bei der freien Lüftung auf natürliche Weise, also ohne Ventilator. Die frische Außenluft strömt über undichte Öffnungen in der Gebäudehülle (z.B. Fugen, Fenster oder Rollladenkästen) ins Gebäudeinnere. Dies geschieht über natürliche Kräfte wie den Wind, den thermischen Auftrieb oder den

69 Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz: Kenngrößen der Behaglichkeit, in: Baunetz Wissen, [online] <https://www.baunetzwissen.de/gebuedetechnik/fachwissen/planungsgrundlagen/kenngroessen-der-behaglichkeit-160152> [15.02.2021c].

70 Fromm, 2015, S. 411.

Gewichtsunterschied der Luft bei Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen. Die Kräfte erzeugen einen Luftvolumenstrom, der durch das Gebäude strömt und dabei die Luft austauscht.”⁷¹

Kolmogorov–Smirnov–Test: “Dieser Test vergleicht eine beobachtete kumulative Häufigkeitsverteilung mit einer theoretischen kumulativen Häufigkeitsverteilung und prüft, wie wahrscheinlich es ist, dass ein gegebener Unterschied zwischen diesen beiden Verteilungen zufällig beobachtet wird. Dieser Test fällt damit in die Gruppe der sog. Anpassungstests (goodness-of-fit-Test).”⁷²

mechanische Lüftung: “Reicht die natürliche Lüftung für den notwendigen Luftwechsel nicht aus, kommt eine mechanische bzw. maschinelle Lüftung zum Einsatz. Sie sorgt mit gezielter Luftführung und einem oder mehreren Ventilatoren bedarfsbezogen und unabhängig von äußeren Einflüssen (Winddruck/Temperaturen) für den geforderten Luftwechsel im Raum, in der Wohnung oder im Gebäude. Wegen der zunehmend luftdichten Bauweise ist die mechanische Lüftung auf dem Vormarsch. Moderne, energiesparende Lüftungsanlagen passen den Luftaustausch den jeweiligen Anforderungen an.”⁷³

71 Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz: Freie Lüftung, in: Baunetz Wissen, [online] <https://www.baunetzwissen.de/gebaudetechnik/fachwissen/lueftung/freie-lueftung-2466139> [15.02.2021b].

72 Gesellschaft für Angewandte Wirtschaftsforschung KG: Statistik Kolmogorov, in: GAW, [online] https://www.gaw.institute/statistik_kolmogorov.html [15.02.2021].

73 Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz: Mechanische Lüftung, in: Baunetz Wissen, [online] <https://www.baunetzwissen.de/gebaudetechnik/fachwissen/lueftung/mechanische-lueftung-2466143> [15.02.2021d].

Ordinatenachse: die vertikale Achse in einem Koordinatensystem. In der Mathematik wird häufig auch abkürzend von der y-Achse gesprochen.⁷⁴

Pettenkoferwert: (1.000 ppm) ab dem Wert wird Raumluft nicht mehr als “frisch” wahrgenommen.⁷⁵

PMV-Index: “Das menschliche Wärmeempfinden hängt im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht (Wärmebilanz) des Körpers als Ganzem ab. Dieses Gleichgewicht wird durch körperliche Tätigkeit und Bekleidung sowie durch die Parameter des Umgebungsklimas [...] beeinflusst. Sofern diese Faktoren geschätzt oder gemessen wurden, kann das Wärmeempfinden für den Körper als Ganzes vorausgesagt werden, indem das vorausgesagte mittlere Votum (predicted mean vote, PMV) berechnet wird.”⁷⁶

PPD-Index: “Der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen (predicted percentage of dissatisfied, PPD) liefert Angaben zur thermischen Unbehaglichkeit oder Unzufriedenheit, indem der Prozentsatz an Menschen vorausgesetzt wird, die ein bestimmtes Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden.

74 Vgl. Der Dualstudent - BWL & FOM Wirtschaftsinformatik Blog: Ordinate, in: Der Dualstudent, [online] <https://www.derdualstudent.de/ordinate-ordinatenachse.html> [15.02.2021b].

75 Florawall GmbH: Wissenschaftliche Studie zur Wirkanalyse einer Florawall (vertikalen Begrünung), in: Florawall, 2015, [online] http://www.florawall.at/wp-content/uploads/2015/02/FlorawallGmbH_Studie.pdf [15.02.2021], S. 6.

76 Österreichisches Normungsinstitut, 2006, S. 4.

Der PPD lässt sich aus dem PMV berechnen.”⁷⁷

Quartil: lateinisch für „Viertelwerte“, ein besonderes Lagemaß in der Statistik

relative Feuchtigkeit [%]: “Die relative Luftfeuchtigkeit wird in Relation zur maximal möglichen Feuchtigkeit (100%) der Luft mit Wasserdampf angegeben. Der Wert gibt an, wieviel Prozent der maximal möglichen Feuchte die Luft tatsächlich enthält. Da in warmer Luft mehr Wasserdampf enthalten sein kann als in kalter, sinkt bei einer Lufterwärmung und gleichbleibender absoluter Feuchte der Wert der relativen Feuchte. Luft mit einer relativen Luftfeuchte von beispielsweise 50% kann mehr Wasserdampf aufnehmen als Luft mit einer relativen Luftfeuchte von 60%.”⁷⁸

Sick-Building-Syndrom: “Nach Definition der WHO aus 1982 wird von einem Sick Building Syndrom (SBS) gesprochen, wenn bei mehr als 10 bis 20 % der Beschäftigten eines Gebäudes unspezifische Beschwerden oder Symptome auftreten, die nach Verlassen des Gebäudes rasch wieder nachlassen. Die vermuteten Zusammenhänge der Beschäftigten zwischen Exposition und Beschwerden können nicht widerlegt, jedoch auch nicht bewiesen werden. Oftmals sieht man eine Vielzahl von Interaktionen zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Expositionsfaktoren, so dass von einer multifaktoriellen Genese ausgegangen werden kann. Die Diagnose Sick Building Syndrom (SBS) kann also als

77 Österreichisches Normungsinstitut, 2006, S. 4

78 Heinze GmbH/NL Berlin/BauNetz, o. J.

eine Ausschlussdiagnose angenommen werden, wenn alle anderen gebäudebezogenen Gesundheitsprobleme, für die definierte Ursachen vorliegen (Building Related Illness) ausgeschlossen wurden. Symptome können unter anderem sein: Missempfindungen an Augen, Nase oder oberen Luftwegen, Hautreizungen, geistige Ermüdung, Kopfschmerzen usw.”⁷⁹

Subsistenzwirtschaft: “(auch Bedarfswirtschaft) werden alle - vor allem landwirtschaftlichen - Wirtschaftsformen bezeichnet, deren Produktionsziel weitgehend die Selbstversorgung ist, um den Lebensunterhalt einer Familie oder einer kleinen Gemeinschaft zu sichern.”⁸⁰

79 Universität des Saarlandes: Innenraumbelastungen und Sick Building Syndrom, in: Universität des Saarlandes, [online] <https://www.uni-saarland.de/fileadmin/upload/einrichtung/kowa/Forschung/Berichte/innenraumabschluss.pdf> [16.02.2021], S.16.

80 Wikipedia-Autoren: Subsistenzwirtschaft, in: Wikipedia.org, 09.03.2003, [online] <https://de.wikipedia.org/wiki/Subsistenzwirtschaft> [15.02.2021].

ABKÜRZUNGEN

% RH	Prozent relative Luftfeuchtigkeit (engl. “relative humidity”)
Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
engl.	englisch
evtl.	eventuell
PET	Polyethylenterephthalat
ppm	parts per million
PVC	Polyvinylchlorid
s.	siehe
Tab.	Tabelle
TU Wien	Technische Universität Wien
UN	United Nations
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

DATENTABELLEN

1.Testaufbau

Statistische Kenngrößen - Testperiode 1

Verarbeitete Fälle

	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Temperatur - Raum A [°C]	10151	100,0%	0	0,0%	10151	100,0%
Feuchte - Raum A [%]	10151	100,0%	0	0,0%	10151	100,0%
Temperatur - Raum B [°C]	10151	100,0%	0	0,0%	10151	100,0%
Feuchte - Raum B [%]	10151	100,0%	0	0,0%	10151	100,0%

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standard Fehler	
Temperatur - Raum A [°C]	Mittelwert	24,6126	,01431	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	24,5845	
		Obergrenze	24,6406	
	5% getrimmtes Mittel	24,7060		
	Median	24,7000		
	Varianz	2,078		
	Standard Abweichung	1,44165		
	Minimum	20,60		

	Maximum		27,50	
	Spannweite		6,90	
	Interquartilbereich		1,70	
	Schiefe		-,972	,024
	Kurtosis		,719	,049
Feuchte - Raum A [%]	Mittelwert		55,60%	0,031%
	95% Konfidenzintervall des	Untergrenze	55,54%	
	Mittelwerts	Obergrenze	55,66%	
	5% getrimmtes Mittel		55,68%	
	Median		56,00%	
	Varianz		9,735	
	Standard Abweichung		3,120%	
	Minimum		46%	
	Maximum		62%	
	Spannweite		16%	
	Interquartilbereich		5%	
	Schiefe		-,294	,024
	Kurtosis		-,930	,049
	Temperatur - Raum B [°C]	Mittelwert		23,9857
95% Konfidenzintervall des		Untergrenze	23,9630	
Mittelwerts		Obergrenze	24,0084	
5% getrimmtes Mittel			24,0584	
Median			24,1000	
Varianz			1,358	
Standard Abweichung			1,16521	

	Minimum	20,60	
	Maximum	26,30	
	Spannweite	5,70	
	Interquartilbereich	1,30	
	Schiefe	-1,022	,024
	Kurtosis	1,058	,049
Feuchte - Raum B [%]	Mittelwert	49,44%	0,027%
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze Obergrenze	49,39%
			49,49%
	5% getrimmtes Mittel	49,34%	
	Median	49,00%	
	Varianz	7,355	
	Standard Abweichung	2,712%	
	Minimum	44%	
	Maximum	59%	
	Spannweite	15%	
	Interquartilbereich	4%	
	Schiefe	,566	,024
	Kurtosis	,017	,049

Perzentile

		Perzentile			
		5	10	25	50
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	Temperatur - Raum A [°C]	21,3000	22,4000	24,0000	24,7000
	Feuchte - Raum A [%]	50,00%	51,00%	53,00%	56,00%
	Temperatur - Raum B [°C]	21,2000	22,3000	23,5000	24,1000
	Feuchte - Raum B [%]	46,00%	46,00%	47,00%	49,00%
Tukey-Angelpunkte	Temperatur - Raum A [°C]			24,0000	24,7000
	Feuchte - Raum A [%]			53,00%	56,00%
	Temperatur - Raum B [°C]			23,5000	24,1000
	Feuchte - Raum B [%]			47,00%	49,00%

Perzentile

		Perzentile		
		75	90	95
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	Temperatur - Raum A [°C]	25,7000	26,2000	26,4000
	Feuchte - Raum A [%]	58,00%	59,00%	60,00%
	Temperatur - Raum B [°C]	24,8000	25,2000	25,5000
	Feuchte - Raum B [%]	51,00%	53,00%	54,00%
Tukey-Angelpunkte	Temperatur - Raum A [°C]	25,7000		
	Feuchte - Raum A [%]	58,00%		
	Temperatur - Raum B [°C]	24,8000		
	Feuchte - Raum B [%]	51,00%		

Extremwerte

			Fallnummer	Wert
Temperatur - Raum A [°C]	Größte Werte	1	1091	27,50
		2	1086	27,40
		3	1087	27,40
		4	1088	27,40
		5	1089	27,40 ^a
	Kleinste Werte	1	10151	20,60
		2	10150	20,60
		3	10149	20,60
		4	10148	20,60
		5	10147	20,60 ^b
Feuchte - Raum A [%]	Größte Werte	1	433	62%
		2	243	61%
		3	245	61%
		4	246	61%
		5	247	61% ^c
	Kleinste Werte	1	9309	46%
		2	9320	47%
		3	9319	47%
		4	9318	47%
		5	9317	47% ^d
Temperatur - Raum B [°C]	Größte Werte	1	193	26,30
		2	194	26,30
		3	199	26,30

		4	200	26,30
		5	201	26,30 ^e
	Kleinste Werte	1	9967	20,60
		2	9966	20,60
		3	9965	20,60
		4	9964	20,60
		5	9963	20,60 ^b
Feuchte - Raum B [%]	Größte Werte	1	294	59%
		2	299	59%
		3	300	59%
		4	285	58%
		5	286	58% ^f
	Kleinste Werte	1	9522	44%
		2	9521	44%
		3	9516	44%
		4	9511	44%
		5	9510	44% ^g

- a. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 27,40 wird in der Tabelle der oberen Extremwerte angezeigt.
- b. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 20,60 wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.
- c. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 61% wird in der Tabelle der oberen Extremwerte angezeigt.

- d. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 47% wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.
- e. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 26,30 wird in der Tabelle der oberen Extremwerte angezeigt.
- f. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 58% wird in der Tabelle der oberen Extremwerte angezeigt.
- g. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 44% wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.

Tests auf Normalverteilung

Kolmogorov-Smirnov^a

	Statistik	df	Signifikanz
Temperatur - Raum A [°C]	,096	10151	,000
Feuchte - Raum A [%]	,147	10151	,000
Temperatur - Raum B [°C]	,116	10151	,000
Feuchte - Raum B [%]	,109	10151	,000

Statistische Kenngrößen - Testperiode 2

Verarbeitete Fälle

	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Temperatur - Raum A [°C]	8189	100,0%	0	0,0%	8189	100,0%
Feuchte - Raum A [%]	8189	100,0%	0	0,0%	8189	100,0%
Temperatur - Raum B [°C]	8189	100,0%	0	0,0%	8189	100,0%
Feuchte - Raum B [%]	8189	100,0%	0	0,0%	8189	100,0%

Deskriptive Statistik

		Statistik	Standard Fehler	
Temperatur - Raum A [°C]	Mittelwert	21,5772	,01712	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	21,5437	
		Obergrenze	21,6108	
	5% getrimmtes Mittel	21,6160		
	Median	21,5000		
	Varianz	2,401		
	Standard Abweichung	1,54966		
	Minimum	15,90		
	Maximum	24,70		
	Spannweite	8,80		
	Interquartilbereich	1,80		

	Schiefe		-,271	,027
	Kurtosis		,544	,054
Feuchte - Raum A [%]	Mittelwert		46,35%	0,047%
	95% Konfidenzintervall des	Untergrenze	46,26%	
	Mittelwerts	Obergrenze	46,45%	
	5% getrimmtes Mittel		46,22%	
	Median		46,00%	
	Varianz		18,256	
	Standard Abweichung		4,273%	
	Minimum		39%	
	Maximum		56%	
	Spannweite		17%	
	Interquartilbereich		6%	
	Schiefe		,436	,027
	Kurtosis		-,788	,054
Temperatur - Raum B [°C]	Mittelwert		21,6883	,01523
	95% Konfidenzintervall des	Untergrenze	21,6584	
	Mittelwerts	Obergrenze	21,7181	
	5% getrimmtes Mittel		21,7775	
	Median		21,7000	
	Varianz		1,899	
	Standard Abweichung		1,37789	
	Minimum		15,50	
	Maximum		24,30	
	Spannweite		8,80	

	Interquartilbereich	1,60	
	Schiefe	-1,037	,027
	Kurtosis	2,477	,054
Feuchte - Raum B [%]	Mittelwert	51,18%	0,033%
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	51,11%
		Obergrenze	51,25%
	5% getrimmtes Mittel	51,18%	
	Median	51,00%	
	Varianz	9,076	
	Standard Abweichung	3,013%	
	Minimum	44%	
	Maximum	57%	
	Spannweite	13%	
	Interquartilbereich	5%	
	Schiefe	,061	,027
	Kurtosis	-1,240	,054

Perzentile

		Perzentile				
		5	10	25	50	
1)	Gewichtetes Mittel (Definition 1)	Temperatur - Raum A [°C]	19,3000	19,7000	20,6000	21,5000
		Feuchte - Raum A [%]	41,00%	41,00%	43,00%	46,00%
		Temperatur - Raum B [°C]	19,3000	20,0000	21,1000	21,7000

	Feuchte - Raum B [%]	47,00%	47,00%	49,00%	51,00%
Tukey-Angelpunkte	Temperatur - Raum A [°C]			20,6000	21,5000
	Feuchte - Raum A [%]			43,00%	46,00%
	Temperatur - Raum B [°C]			21,1000	21,7000
	Feuchte - Raum B [%]			49,00%	51,00%

Perzentile

		Perzentile		
		75	90	95
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	Temperatur - Raum A [°C]	22,4000	23,9000	24,3000
	Feuchte - Raum A [%]	49,00%	52,00%	55,00%
	Temperatur - Raum B [°C]	22,7000	23,4000	23,6000
	Feuchte - Raum B [%]	54,00%	55,00%	56,00%
Tukey-Angelpunkte	Temperatur - Raum A [°C]	22,4000		
	Feuchte - Raum A [%]	49,00%		
	Temperatur - Raum B [°C]	22,7000		
	Feuchte - Raum B [%]	54,00%		

Extremwerte

		Fallnummer		Wert
Temperatur - Raum A [°C]	Größte Werte	1	6477	24,70
		2	8167	24,70
		3	8168	24,70
		4	8169	24,70

		5	8170	24,70 ^a
	Kleinste Werte	1	4181	15,90
		2	4180	15,90
		3	4179	15,90
		4	4184	16,00
		5	4183	16,00 ^b
Feuchte - Raum A [%]	Größte Werte	1	238	56%
		2	239	56%
		3	250	56%
		4	391	56%
		5	392	56% ^c
	Kleinste Werte	1	8189	39%
		2	8188	39%
		3	8187	39%
		4	8186	39%
		5	8185	39% ^d
Temperatur - Raum B [°C]	Größte Werte	1	6186	24,30
		2	6189	24,30
		3	6180	24,20
		4	6183	24,20
		5	6184	24,20 ^e
	Kleinste Werte	1	4182	15,50
		2	4181	15,50
		3	4180	15,50

		4	4177	15,60
		5	4175	15,60 ^f
Feuchte - Raum B [%]	Größte Werte	1	1199	57%
		2	1200	57%
		3	1201	57%
		4	1202	57%
		5	1203	57% ^g
	Kleinste Werte	1	4281	44%
		2	4280	44%
		3	4279	44%
		4	4278	44%
		5	4277	44% ^h

- Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 24,70 wird in der Tabelle der oberen Extremwerte angezeigt.
- Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 16,00 wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.
- Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 56% wird in der Tabelle der oberen Extremwerte angezeigt.
- Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 39% wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.
- Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 24,20 wird in der Tabelle der oberen Extremwerte angezeigt.
- Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 15,60 wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.

- g. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 57% wird in der Tabelle der oberen Extremwerte angezeigt.
- h. Nur eine partielle Liste von Fällen mit dem Wert 44% wird in der Tabelle der unteren Extremwerte angezeigt.

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Statistik	df	Signifikanz
Temperatur - Raum A [°C]	,083	8189	,000
Feuchte - Raum A [%]	,148	8189	,000
Temperatur - Raum B [°C]	,106	8189	,000
Feuchte - Raum B [%]	,134	8189	,000

- a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Exzerpt der Messdaten (12. September 2020)

Datum/Zeit	Raum A			Raum B		
	begrünt			nicht begrünt		
	ppm	°C	%RH	ppm	°C	%RH
09/12/2020 00:00'00	449	24.50	59%	425	24.10	51%
09/12/2020 00:05'00	450	24.50	59%	426	24.10	51%
09/12/2020 00:10'00	449	24.50	59%	425	24.10	51%
09/12/2020 00:15'00	448	24.50	59%	426	24.10	51%
09/12/2020 00:20'00	448	24.50	59%	425	24.10	51%
09/12/2020 00:25'00	448	24.50	59%	425	24.10	51%
09/12/2020 00:30'00	447	24.50	59%	425	24.10	51%
09/12/2020 00:35'00	447	24.50	59%	426	24.10	51%
09/12/2020 00:40'00	448	24.50	59%	426	24.10	51%
09/12/2020 00:45'00	448	24.50	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 00:50'00	448	24.50	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 00:55'00	447	24.50	59%	425	24.10	51%
09/12/2020 01:00'00	447	24.50	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 01:05'00	447	24.50	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 01:10'00	447	24.50	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 01:15'00	447	24.50	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 01:20'00	447	24.50	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 01:25'00	446	24.40	59%	424	24.00	51%
09/12/2020 01:30'00	446	24.50	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 01:35'00	447	24.40	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 01:40'00	446	24.40	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 01:45'00	446	24.50	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 01:50'00	446	24.40	59%	425	24.00	51%

09/12/2020 01:55'00	446	24.40	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 02:00'00	446	24.40	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 02:05'00	446	24.40	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 02:10'00	447	24.40	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 02:15'00	445	24.40	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 02:20'00	446	24.40	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 02:25'00	446	24.40	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 02:30'00	448	24.40	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 02:35'00	446	24.40	59%	426	24.00	51%
09/12/2020 02:40'00	447	24.40	59%	425	24.00	51%
09/12/2020 02:45'00	447	24.40	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 02:50'00	449	24.40	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 02:55'00	447	24.40	59%	428	24.00	51%
09/12/2020 03:00'00	447	24.40	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 03:05'00	448	24.40	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 03:10'00	448	24.40	59%	428	24.00	51%
09/12/2020 03:15'00	447	24.40	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 03:20'00	447	24.40	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 03:25'00	447	24.40	59%	428	24.00	51%
09/12/2020 03:30'00	447	24.30	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 03:35'00	446	24.30	59%	427	24.00	51%
09/12/2020 03:40'00	446	24.30	59%	427	23.90	52%
09/12/2020 03:45'00	447	24.30	59%	426	23.90	51%
09/12/2020 03:50'00	447	24.30	59%	427	23.90	52%
09/12/2020 03:55'00	446	24.30	59%	426	23.90	52%

Datum/Zeit	Raum A	begrünt		Raum B	nicht begrünt	
	ppm	°C	%RH	ppm	°C	%RH
09/12/2020 04:00'00	447	24.30	59%	427	23.90	51%
09/12/2020 04:05'00	446	24.30	59%	427	23.90	51%
09/12/2020 04:10'00	447	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 04:15'00	445	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 04:20'00	446	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 04:25'00	447	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 04:30'00	446	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 04:35'00	445	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 04:40'00	447	24.30	59%	427	23.90	52%
09/12/2020 04:45'00	446	24.30	59%	427	23.90	52%
09/12/2020 04:50'00	446	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 04:55'00	445	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 05:00'00	445	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 05:05'00	446	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 05:10'00	446	24.30	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 05:15'00	445	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 05:20'00	446	24.30	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 05:25'00	446	24.30	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 05:30'00	446	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 05:35'00	447	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 05:40'00	445	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 05:45'00	445	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 05:50'00	445	24.20	59%	428	23.90	52%
09/12/2020 05:55'00	446	24.20	59%	429	23.90	52%

Datum/Zeit	Raum A			Raum B		
	begrünt			nicht begrünt		
	ppm	°C	%RH	ppm	°C	%RH
09/12/2020 06:00'00	445	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 06:05'00	446	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 06:10'00	446	24.20	59%	430	23.90	52%
09/12/2020 06:15'00	447	24.20	59%	430	23.90	52%
09/12/2020 06:20'00	446	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 06:25'00	446	24.20	59%	429	23.90	52%
09/12/2020 06:30'00	446	24.20	59%	430	23.90	52%
09/12/2020 06:35'00	446	24.20	59%	430	23.90	52%
09/12/2020 06:40'00	445	24.20	59%	431	23.90	52%
09/12/2020 06:45'00	445	24.20	59%	431	23.90	52%
09/12/2020 06:50'00	446	24.20	59%	431	23.90	52%
09/12/2020 06:55'00	446	24.20	59%	431	23.90	52%
09/12/2020 07:00'00	446	24.20	59%	431	23.90	52%
09/12/2020 07:05'00	445	24.20	59%	431	23.90	52%
09/12/2020 07:10'00	445	24.20	59%	431	23.90	52%
09/12/2020 07:15'00	446	24.20	59%	432	23.90	52%
09/12/2020 07:20'00	445	24.20	59%	431	23.90	52%
09/12/2020 07:25'00	446	24.20	59%	432	23.90	52%
09/12/2020 07:30'00	445	24.20	59%	432	23.90	52%
09/12/2020 07:35'00	446	24.20	59%	432	23.90	52%
09/12/2020 07:40'00	446	24.20	59%	432	23.90	52%
09/12/2020 07:45'00	445	24.20	59%	433	23.90	52%
09/12/2020 07:50'00	446	24.20	59%	432	23.90	52%
09/12/2020 07:55'00	448	24.20	59%	433	23.90	52%

Datum/Zeit	Raum A	begrünt		Raum B	nicht begrünt	
	ppm	°C	%RH	ppm	°C	%RH
09/12/2020 08:00'00	446	24.20	60%	433	23.90	52%
09/12/2020 08:05'00	446	24.20	59%	433	23.90	52%
09/12/2020 08:10'00	447	24.20	60%	433	23.90	52%
09/12/2020 08:15'00	447	24.20	59%	433	24.00	51%
09/12/2020 08:20'00	448	24.20	59%	433	24.00	51%
09/12/2020 08:25'00	448	24.20	59%	432	24.00	51%
09/12/2020 08:30'00	448	24.20	59%	433	24.00	51%
09/12/2020 08:35'00	449	24.30	59%	433	24.00	51%
09/12/2020 08:40'00	448	24.30	59%	434	24.00	51%
09/12/2020 08:45'00	448	24.30	59%	435	24.00	51%
09/12/2020 08:50'00	447	24.30	59%	433	24.00	51%
09/12/2020 08:55'00	449	24.30	59%	435	24.10	51%
09/12/2020 09:00'00	446	24.30	59%	435	24.10	51%
09/12/2020 09:05'00	446	24.30	59%	434	24.10	51%
09/12/2020 09:10'00	446	24.30	59%	434	24.10	51%
09/12/2020 09:15'00	446	24.30	59%	434	24.20	51%
09/12/2020 09:20'00	445	24.30	59%	435	24.20	51%
09/12/2020 09:25'00	446	24.40	59%	435	24.20	51%
09/12/2020 09:30'00	445	24.40	59%	434	24.20	51%
09/12/2020 09:35'00	445	24.40	59%	435	24.20	51%
09/12/2020 09:40'00	446	24.40	59%	435	24.20	51%
09/12/2020 09:45'00	445	24.40	59%	435	24.20	51%
09/12/2020 09:50'00	445	24.40	59%	435	24.20	51%
09/12/2020 09:55'00	445	24.40	59%	435	24.20	51%

Datum/Zeit	Raum A			Raum B		
	begrünt			nicht begrünt		
	ppm	°C	%RH	ppm	°C	%RH
09/12/2020 10:00'00	445	24.40	59%	435	24.30	51%
09/12/2020 10:05'00	444	24.40	59%	435	24.30	51%
09/12/2020 10:10'00	444	24.40	59%	434	24.20	51%
09/12/2020 10:15'00	446	24.50	59%	434	24.20	51%
09/12/2020 10:20'00	446	24.50	59%	435	24.20	51%
09/12/2020 10:25'00	445	24.50	59%	435	24.30	51%
09/12/2020 10:30'00	445	24.50	59%	435	24.30	51%
09/12/2020 10:35'00	446	24.50	59%	434	24.30	51%
09/12/2020 10:40'00	445	24.50	59%	434	24.30	51%
09/12/2020 10:45'00	444	24.50	59%	435	24.30	50%
09/12/2020 10:50'00	446	24.50	59%	436	24.30	50%
09/12/2020 10:55'00	445	24.50	59%	435	24.30	51%
09/12/2020 11:00'00	443	24.50	59%	434	24.30	50%
09/12/2020 11:05'00	441	24.50	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 11:10'00	441	24.50	59%	436	24.40	50%
09/12/2020 11:15'00	441	24.50	60%	436	24.40	50%
09/12/2020 11:20'00	442	24.60	59%	436	24.40	50%
09/12/2020 11:25'00	441	24.60	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 11:30'00	441	24.60	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 11:35'00	441	24.60	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 11:40'00	441	24.60	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 11:45'00	441	24.60	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 11:50'00	442	24.60	59%	434	24.40	50%
09/12/2020 11:55'00	442	24.60	59%	435	24.40	50%

Datum/Zeit	Raum A			Raum B		
	begrünt	begrünt	nicht begrünt	begrünt	begrünt	nicht begrünt
	ppm	°C	%RH	ppm	°C	%RH
09/12/2020 12:00'00	442	24.60	59%	434	24.40	50%
09/12/2020 12:05'00	440	24.60	59%	434	24.40	50%
09/12/2020 12:10'00	441	24.60	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 12:15'00	440	24.60	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 12:20'00	440	24.70	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 12:25'00	439	24.70	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 12:30'00	440	24.70	59%	435	24.40	50%
09/12/2020 12:35'00	440	24.70	59%	435	24.50	50%
09/12/2020 12:40'00	441	24.70	59%	434	24.50	50%
09/12/2020 12:45'00	440	24.70	59%	434	24.50	50%
09/12/2020 12:50'00	441	24.70	59%	433	24.50	50%
09/12/2020 12:55'00	441	24.70	59%	434	24.50	50%
09/12/2020 13:00'00	438	24.70	59%	433	24.50	50%
09/12/2020 13:05'00	441	24.70	59%	434	24.50	50%
09/12/2020 13:10'00	440	24.70	59%	433	24.50	50%
09/12/2020 13:15'00	440	24.80	59%	433	24.50	50%
09/12/2020 13:20'00	441	24.80	59%	434	24.50	50%
09/12/2020 13:25'00	442	24.80	59%	433	24.50	50%
09/12/2020 13:30'00	440	24.80	59%	432	24.50	50%
09/12/2020 13:35'00	439	24.80	59%	433	24.50	50%
09/12/2020 13:40'00	441	24.80	59%	433	24.50	50%
09/12/2020 13:45'00	439	24.80	59%	433	24.60	50%
09/12/2020 13:50'00	438	24.80	59%	434	24.50	50%
09/12/2020 13:55'00	440	24.80	59%	434	24.50	50%

Datum/Zeit	Raum A			Raum B		
	begrünt			nicht begrünt		
	ppm	°C	%RH	ppm	°C	%RH
09/12/2020 14:00'00	440	24.80	59%	434	24.50	50%
09/12/2020 14:05'00	439	24.80	59%	433	24.60	50%
09/12/2020 14:10'00	440	24.80	59%	433	24.60	50%
09/12/2020 14:15'00	439	24.80	59%	433	24.60	50%
09/12/2020 14:20'00	439	24.90	59%	434	24.60	50%
09/12/2020 14:25'00	438	24.90	59%	433	24.60	50%
09/12/2020 14:30'00	438	24.90	59%	433	24.60	50%
09/12/2020 14:35'00	438	24.90	59%	433	24.60	50%
09/12/2020 14:40'00	438	24.90	59%	432	24.70	50%
09/12/2020 14:45'00	438	24.90	59%	432	24.70	50%
09/12/2020 14:50'00	438	24.90	59%	432	24.70	50%
09/12/2020 14:55'00	438	24.90	59%	432	24.70	50%
09/12/2020 15:00'00	438	24.90	59%	433	24.70	50%
09/12/2020 15:05'00	439	24.90	59%	432	24.70	50%
09/12/2020 15:10'00	438	24.90	59%	432	24.60	50%
09/12/2020 15:15'00	437	24.90	59%	432	24.60	50%
09/12/2020 15:20'00	438	24.90	59%	432	24.70	50%
09/12/2020 15:25'00	437	24.90	58%	431	24.70	50%
09/12/2020 15:30'00	437	24.90	59%	431	24.70	50%
09/12/2020 15:35'00	436	25.00	58%	431	24.70	50%
09/12/2020 15:40'00	434	25.00	58%	432	24.70	50%
09/12/2020 15:45'00	436	25.00	58%	431	24.70	50%
09/12/2020 15:50'00	434	25.00	59%	431	24.70	50%
09/12/2020 15:55'00	435	25.00	59%	431	24.70	51%

2. Testaufbau

offizieller Aushang für den 2.Testaufbau im Consultingunternehmen

NATUR IM BÜRO “FOREST FOR REST“



Über das Projekt:

Im Rahmen unseres Studiums am Innovation Incubation Center an der TU Wien, haben wir die Aufgabe einem Jahresprojekt nachzugehen, das uns wirklich am Herzen liegt. Wir haben bemerkt, dass in unserer modernen Arbeitswelt viel zu oft die Verbindung zur Natur außer Acht gelassen wird. Deswegen möchten wir gerne die Natur ins Büro holen.

Die Nutzung:

Wie ihr euren Pausenraum nutzt, ist jedem selber überlassen. Fest steht, dass der Raum vollgepackt mit Pflanzen und Naturelementen ist. Wie ein Wald im Büro. Man kann sitzen, riechen, plaudern, Energie tanken, entspannen, hören, oder auch

einfach nur seinen Kaffee trinken. Das iPad bitte nach jeder Nutzung kurz zur Hand nehmen um euer Verhalten zu notieren.

Unser Ziel ist, dass wir alle von diesem Projekt profitieren können: ihr mit vielen Pflanzen, Sitzmöglichkeiten usw. in einem Bereich, der zurzeit von euch weitgehend ungenutzt ist und wir mit gewissenhaft von euch bearbeiteten Umfragen. Um unsere These zu testen ist deine Hilfe für uns also essentiell.

Die Pflanzen wurden für den Testzeitraum freundlicherweise von Obi bereitgestellt, nachher werden sie wieder zum Verkauf freigegeben, bitte deswegen gut darauf aufpassen.

Der Test:

Die Testphase beinhaltet folgende Punkte:

- Eine Visite für Fotos und Abmessungen (bereits abgeschlossen)
- Der Aufbau dieses Mockups (bereits abgeschlossen)
- Die dreiwöchige Testphase von 14.1. bis ca. 31.1.
- Die Umfragen:
 1. digitale Erhebung vor Testbeginn
 2. fortlaufende Umfrage während der Testphase (das Tablet vor der Box)
 3. digitale Erhebung nach Testende

Danke für eure Mithilfe und viel Spaß bei euren Pausen!

Laurin und Marko

Forest For Rest

Antworten der Erhebung des Nutzerverhaltens

Nutzungsverhalten // Natur im Büro (Antworten)

<i>Zeitstempel</i>	<i>Wie fühlst du dich jetzt? (nach deiner Pause) [1-7]</i>	<i>Wie hast du deine Pause verbracht? (Stichworte)</i>	<i>Konntest du dich hier und jetzt besser erholen als an einem anderen regulären Ort im Büro?</i>
14.01.2020 18:05:20	4	Geplaudert	Ja
15.01.2020 10:39:00	5	Ich hab eine kurze Pause gegönnt	Ja
15.01.2020 12:03:05	4	Gearbeitet, 1to1 meeting	Ja
15.01.2020 12:32:52	5	Augen zu	Ja
15.01.2020 12:52:57	4	Atemübungen, Hirn ausschalten	Ja
15.01.2020 13:08:52	3	Zu zweit	Ja
15.01.2020 13:16:08	5	Mit Kollegin geplaudert	Ja
15.01.2020 13:31:43	4	Sitzend mit Kaffee und Kollege	Ja
15.01.2020 14:16:28	4	Flanken ansehen, Licht und Gerausche	Ja
15.01.2020 14:59:41	3	Nachgedacht	Ja
15.01.2020 16:04:39	4	Am Handy Candy Crush gespielt und relaxed	Nein
15.01.2020 16:24:31	5	Liegend	Ja
15.01.2020 16:41:23	4	Kaffee, private emails	Ja
15.01.2020 17:43:20	5	Zu 4. mit Regenwald mit Wasserfall Geräusch	Ja
16.01.2020 08:26:01	5	frühstückend	Ja
16.01.2020 08:57:21	5	Gefrühstückt	Ja
16.01.2020 11:34:48	4	Sitzen, schweigen	Ja
16.01.2020 13:34:22	4	Podcast hören	Ja

16.01.2020 14:30:26	5	Plaudern	Ja
16.01.2020 14:37:02	4	Liegen, Pflanzen anschauen, auf Vogelgezwitscher hören. Bewusst machen dass man sonst bei Pausen nur ins Handy sonst starren würde ohne greenbox	Ja
16.01.2020 14:54:02	5	Kaffee zu zweit	Ja
16.01.2020 16:16:16	5	Apfe essen	Ja
17.01.2020 09:24:33	5	tratschend und zur Ruhe kommend	Ja
17.01.2020 13:45:27	5	Café und Plausch	Ja
17.01.2020 16:29:19	5	Lesend	Ja
21.01.2020 10:57:01	5	Tee getrunken und anschließend 10 min liegend	Ja
21.01.2020 13:10:28	4	In die Luft schauen	Ja
21.01.2020 14:08:51	4	Meeting abgehalten	Ja
21.01.2020 15:20:54	3	Nachgedacht	Ja
21.01.2020 17:24:23	2	Gesessen und den Raum auf mich wirken lassen	Nein
22.01.2020 11:37:02	2	Gesessen und den Raum auf mich wirken lassen	Nein
22.01.2020 13:06:28	4	Essend, danach war ich kurz hier	Ja
22.01.2020 14:01:00	4	sitzend, in Absprechung	Ja
22.01.2020 14:51:06	5	Tee trikend	Ja
22.01.2020 17:09:13	5	Nachgedacht	Ja
23.01.2020 12:32:16	3	Sitzend und still	Ja
23.01.2020 14:13:19	4	Mit geschlossenen augen	Ja
23.01.2020 15:14:14	4	Kaffeetrinkend	Ja
24.01.2020 10:59:12	3	Nachdenklich	Ja
24.01.2020 16:56:07	4	Hier gechillt	Ja
26.01.2020 17:57:50	5	Kaffee und Kuchen	Ja
27.01.2020 10:48:39	4	Besprechung	Ja
27.01.2020 13:37:36	4	Schlafen	Ja
27.01.2020 14:52:16	4	Kurz hingelegt und Augen zu	Ja
27.01.2020 15:24:09	4	Tee	Ja

27.01.2020 15:44:39	4	Leise	Ja
28.01.2020 10:42:54	2	Kaffee	Ja
28.01.2020 13:14:06	4	Kaffee	Ja
29.01.2020 16:39:56	4	Arbeitend	Ja
04.02.2020 13:20:08	5	Kurze Abstimmung	Ja
04.02.2020 14:52:00	4	Mit kollegin	Ja
05.02.2020 14:35:13	5	Sitzend,mit kollegin	Ja
06.02.2020 10:38:00	5	Schulung	Ja
06.02.2020 15:03:04	4	Plausch	Ja
10.02.2020 13:11:40	2	Dösen	Ja
11.02.2020 12:29:07	5	Interner Termin	Ja
11.02.2020 12:55:06	3	Powernap + Cafe	Ja
11.02.2020 13:02:04	4	Geplaudert und getrunken	Ja
12.02.2020 15:30:12	4	Zwischenmahlzeit	Ja
12.02.2020 15:50:59	4	Hab mich kurz hingelegt	Ja
13.02.2020 11:51:10	5	Kiwi gegessen	Ja
13.02.2020 13:58:00	4	alleine	Ja
13.02.2020 16:01:31	3	Banane essen	Ja
14.02.2020 10:29:17	4	Präsentation üben	Ja

<i>Warum bzw. warum nicht?</i>	<i>Wie lange warst du circa im Pausenraum?</i>
Entspanntere Atmosphäre als anderswo, Neues entdecken	13
Mal was anderes	10
Grün, erst nerviges Rauschen&Tropfen, später angenehmes Gezwitscher	1 Stunde
Ruhe	7
neue Umgebung, teilweise ruhiger, Duft	5 min
	10 min
Andere Atmosphäre, neuer Raum, naturgefühl (das Rauschen stört Teil bisschen)	10 min
Abgetrennter Raum	7 min
Abschalten	3 Min
Mehr Ruhe	5 min
Weil sehr oft jemand vorbeigegangen ist und dachte dass gleich jemand kommt	10 Minuten
Das Vogelgezwitscher gefällt mir	10
Grundsätzlich besser, weil abgeschottet. Aber Geräuschkulisse am Gang leider trotzdem sehr laut durch Parkettböden, Hall	10min
Weil schön	10 min
noch keiner da, angenehme Stimmung	10 min

Dunkel,ruhig -es war ein bissl laut weil grad alle Leute ankommen,Kopfhörer wären toll	10
Ruhe	5 Minuten
Ruhe und dunkel	10 min
Viel grün und entspannte Geräuschkulisse	10 min
Weil man sonst bei ner Pause nur aufs Handy geschaut hätt	3 min
Ruhiger als im Büro	10 Minuten
Durchatmen, allein sein, auf grüne Pflanzen schauen	3
Nette Gesellschaft in ruhiger Atmosphäre	10 min
Abgeschirmte Akustik	10 Min
Pflanzen machen glücklich	5 min
Ich habe die Stille genossen	20
Kein pc und alleine	5 mim
Angenehme Alternative zu fadem Meetingraum	40 min
Weil mich niemand gestört hat	10 min
Bekomme sofort Kopfweh und ungutes Gefühl von enge	10
Bekomme sofort Kopfweh und ungutes Gefühl von enge	10
Entspannender	5
weil ich aufblühen konnte	15
Ruhe	5
Weil es entspannt	10

Kann mich hier kurz zurückziehen	5 min
Kleiner Raum,man ist sehr für sich	7 min
Tageslichtlampe, abgeschiedenheit	10 Minuten
Ruhr	10
	10 min
Sommergefühl	5
Saatkrähenrufe	10
Dunkler	10
Ruhe Ecke	3 Minuten
Abwechslung	5
Kurze Pause ohne Arbeit. Besser wäre es, wenn ich keine Aussengeräusche gehört hätte- Schrittgeräusche. Komplett abgetrennter Raum hätte sich besser angefühlt.	10 min
	7
andere Atmosphäre	5
	10
Wir komme runter	10
	20 mins
Besseres umstellen von Arbeit und Pause	10 min
	30 min
Atmosphäre	10
Dunkler keine Leute	10-15 min

Chillig	30
Iva und Pflanzen	10
Weg vom PC	10 min
	10 min
Stille	5 min
Grün ansehen	3 Min
	5 min
	5 min
Stille	35 min

Antworten der Erhebung und Enderhebung

Erhebung + Enderhebung // Natur im Büro (Antworten)

<i>Zeitstempel</i>	<i>Los geht's: denk an deine letzten drei Arbeitswochen, wie sehr hast du dich gefreut ins Büro zu kommen? [1-7]</i>	<i>Was hat sich in deinem Arbeitsumfeld (z.B. Einrichtung) verbessert und wie hat sich das in deinem Alltag geäußert?</i>	<i>Wie sehr stimmst du zu, dass deine KollegInnen super Arbeit geleistet haben (während der letzten drei Arbeitswochen)? [1-7]</i>	<i>Wie erholt bist du nach deinen Pausen? (Zeitraum: letzten drei Arbeitswochen) [1-7]</i>	<i>In deinen letzten drei Arbeitswochen: wie produktiv warst du nach deinen Pausen im Vergleich zu davor? [1-7]</i>
Antworten Erhebung					
13.01.2020 19:05:47	4	In den letzten drei Wochen: Nichts.	6	5	3
14.01.2020 08:36:40	3	zuletzt keine Änderungen	6	3	4
14.01.2020 08:45:51	4	noch nichts	6	3	5
14.01.2020 08:52:57	4	-	7	5	6
14.01.2020 10:26:52	6	Ich habe Büro gewechselt was sich eigentlich nicht wirklich ausgewirkt hat.	7	3	4
14.01.2020 10:57:59	4	nichts	6	4	4
17.01.2020 11:26:12	6	nichts	5	4	4
20.01.2020 08:39:10	5	Die Atmosphäre	7	5	5
20.01.2020 09:53:02	4	Ruheoase bekommen, vorerst noch gar nicht	7	3	3
20.01.2020 12:09:55	3	nichts	5	5	3
20.01.2020 15:49:43	6	nichts	7	4	4
21.01.2020 11:32:05	6	Neues Büro, neuer Arbeitsplatz	7	5	4
21.01.2020 13:59:10	4	umgezogen in anderen Raum	5	3	4
23.01.2020 09:09:58	3	Keine Änderungen für mich	7	3	4
Antworten Enderhebung					

09.03.2020 15:45:03	4	n/a	6	5	5
09.03.2020 15:46:51	4	keine Veränderung bzw. keine Auswirkung	5	4	4
09.03.2020 15:47:08	7	Pflanzen	7	5	5
09.03.2020 15:47:30	5	Wir haben die Pflanzen aus dem Forest im Team und den einzelnen Büros aufgeteilt, das heißt es ist jetzt viel grüner und das steigert eindeutig mein Wohlbefinden und meine Motivation.	6	5	5
09.03.2020 15:47:34	4	neuer Sitzplatz, ich arbeite produktiver	5	7	3
09.03.2020 15:47:44	6	entspanntere Atmosphäre, angenehmer Raumduft, leichte Hintergrundmusik	6	5	6
09.03.2020 15:51:54	6	mehr Pflanzen in den Büroräumen	6	5	5
09.03.2020 15:53:45	2	wir haben jetzt die ehemaligen Jungle-Pflanzen in unserem Büro... das ist nett. In meinem Alltag hat sich dadurch aber nichts verändert	4	3	3
09.03.2020 15:57:38	4	Green Box	6	5	5
09.03.2020 16:11:58	6	ein zusätzlicher Rückzugsort hat mir geholfen, mal kurz abzuschalten und Energie zu tanken.	7	6	5

09.03.2020 16:46:17	4	Die Pflanzen, die vorher im "Natur im Büro"-Eck gestanden sind wurden jetzt in den Zimmern verteilt. Diese wirken sich durchaus positiv auf die Stimmung aus.	6	5	6
09.03.2020 17:11:29	3	Mehr Pflanzen in meinem Zimmer (nachdem der Pausengarten abgebaut war)	7	4	4
09.03.2020 19:57:14	6	Bewusst kurze Pause zwischendurch gemacht	6	6	5
10.03.2020 10:25:24	6	neue möbel, keine wirkliche auswirkung auf meinen gemütszustand	6	5	4
10.03.2020 13:25:51	6	ist grüner geworden	7	5	5

<i>Eine persönliche Frage: denk an deine letzten drei Arbeitswochen, hattest du das Gefühl dass dich dein Umgebung (z.B. Einrichtung) deprimiert? [1-7]</i>	<i>Was hast du in letzter Zeit so in deinen Arbeitspausen gemacht? (Stichworte sind genauso super wie ganze Sätze)</i>	<i>Wie oft hast du "Natur im Büro" in etwa genutzt?</i>	<i>Was fehlt dir in dem Pausenraum?</i>	<i>Hast du Verbesserungsvorschläge für "Natur im Büro"?</i>
	1 Gegessen, geplaudert, eingekauft, gedöst.			
	4 meistens fürs Essen/Kaffee genutzt, um wieder produktiver zu werden			
	2 gegessen, den Geschirrspüler ausgeräumt, mit KollegInnen geredet			
	3 essen, plaudern			
	2 essen und danach einen nap			
	4 essen			
	4 gegessen & mit KollegInnen gequatscht			
	4 Essen, frische Luft schnappen, plaudern			
	3 gegessen, kaffee getrunken			
	2 Meistens nur Mittagspausen. Teilweise private Telefonate			
	2 Kaffee trinken, kurz hinausgehen / Runde um den Häuserblock spazieren, im Büro auf Lehnssesseln, zeitweise am Handy			
	1 Gegessen :)			
	4 Essen & kleine Besorgungen; Großteils keine längeren Pausen gemacht			
	2 Essen			
	2 Zeit im Green Room genossen, entspannt, Gegessen	15 Mal	Mehr Ruhe-ev. Kopfhörer	
	4 Mittagessen	2-3 Mal ca.	Mehr bzw. bequemere Sitzgelegenheiten	Hätte aus meiner Sicht mehr Sinn, wenn die Pflanzen direkt im Büro verteilt werden würden bzw. wirklich im Pausenraum selbst (gemütlichere Gestaltung im Allgemeinen) - so hatte es wenig Auswirkungen da sehr klein und unpraktisch.
	2	10 mal	Essen	Nein

3		ca. 1-2 Mal pro Woche	mehr Platz und Offenheit in den Gesamtraum hinein; bequemere Sitzmöglichkeit	Danke, euer Projekt war wirklich großartig!
4	Café getrunken, mit Kollegen geplaudert, Handyspiel gespielt	ca. 1 Mal täglich	mehr Platz	eventuell noch einen Duft implementieren
1	Kaffee, geplaudert	3-4 x die Woche	etwas mehr Platz, mehr Abschottung, Duft	siehe oben
1	Kaffee trinken, Spaziergang außer Haus	10x		
3	das gleiche wie davor, bin nur ab und zu in dem Jungle rumgesessen. ohne große Auswirkung. War alles in allem nicht sehr besonders ehrlich gesagt, wobei das echt viel potential hätte. Tipp von mir: Fragebogen Auswahlmöglichkeiten aussagekräftiger gestalten. Bessere Kommunikation zum gesamten Projekt, Why, how, what,... Öftere Wartung des Jungles und sowas wie Wandteppiche im Jugle Style, um ein 360grad Feeling zu schaffen.. Positiv: Das Vogelgezwitscher war echt nett im Hintergrund. Viel erfolg mit dem Projekt.	absolut.. keine Ahnung. Ca 2-3 mal die Woche bin ich kurz drinnen gessessen	in DIESEM? oder in dem den wir e schon haben?	ja siehe 1.Seite
4	Essen & whatsapp		10 Pflanzen, Vogelzwtischern, Luftbefeuchter - so wie es war mit der Greenbox	
2	Stille oder Vogelgezwitscher genießen & Mini Kaffeepausen alleine oder zu zweit im Forrest	mind 4-Mal die Woche	Vogelgezwitscher ;)	Mehr Tageslicht, Liegeplatz, Noise Cancelling Kopfhörer
3	Essen, im Dschungel sitzen und in die Luft schauen	ca 5 - 10x	Tageslicht	Ein Ort an dem Tageslicht ist
1	Eingekauft, gegessen, geplaudert	10 Mal	in Natur im Büro? Bei uns bequemere Sitzgelegenheiten. Könnte auch mit etwas mehr Liebe gestaltet sein. Im Pausenraum derzeit: Keine gemütliche Sitzgelegenheit	Schöne Übertöpfe für die Pflanzen, eine bequemere Couch
2		4x die Woche (Pausen und Besprechungen)		Natur-Sound teilweise nicht so gut (manchmal wie neben der Autobahn aufgenommen)
2	essen, einkäufe erledigen, ab und zu einen nap	ca 5 - 7 mal	eine couch zum schlafen	eine couch zum schlafen



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

DANKSAGUNG

Allen voran gilt mein Dank Frau Professorin Azra Korjenic, die sich binnen kürzester Zeit von meiner Idee begeistern ließ und der Betreuung zugestimmt hat. Dadurch konnte ich erst in die spannende Materie der ökologischen Bautechnologien eintauchen.

Ganz besonders bedanke ich mich auch bei meinem Betreuer Florian Teichmann. Ich habe mich dank ihm während der Erstellung dieser Arbeit immer gut umsorgt gefühlt und konnte in angenehmer und kollegialer Atmosphäre in vielen Gesprächen eine Vielzahl von Anregungen erhalten. An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meiner ursprünglichen Betreuerin Jutta Hollands bedanken, die aufgrund ihrer Karenzierung von Florian abgelöst wurde.

Der größte Dank gilt meiner Familie und meiner Freundin Ece, auf die ich stets in allen Lebenslagen zählen kann. Für euren Rückhalt und eure Motivation ein Danke aus tiefstem Herzen!

Zu guter Letzt auch ein Danke an all meine Studienkollegen, Freunde und Weggefährten, die mit mir meine Studienzeit so einzigartig und unvergesslich gemacht haben!

Laurin Akantisz
unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic
Univ.Ass. Dipl.-Ing. Florian Teichmann

E207-03 Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie
Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

Wien, im Februar 2021

