



UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN

Masterarbeit

Fassadenbegrünung – Auswirkungen unterschiedlicher Bewässerungsszenarien auf die Bepflanzung

verfasst von

Rebecca Braunegger, B.Eng.

im Rahmen des Masterstudiums

Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin

Wien, Juni 2022

Betreut von:

Priv.-Doz. Dipl. -Ing. Dr. Ulrike Pitha
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Department für Bautechnik und Naturgefahren

MASTERARBEIT

Fassadenbegrünung

Auswirkungen unterschiedlicher
Bewässerungsszenarien auf die Bepflanzung

The impact of various irrigation scenarios on
plants in a pot based green facade



Von Rebecca Braunegger B.Eng.

Betreuerinnen:

Priv.-Doz. Dipl. -Ing. Dr. Ulrike Pitha

Dipl. -Ing. Dr. Irene Zluwa

Wien, Juni 2022

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Ort, Datum: Wien, 24.06.2022

Unterschrift: eigenhändig unterschrieben

Danksagung

Ich danke allen, die mich während der Masterarbeit tatkräftig unterstützt haben und mir zur Seite standen.

Dankeschön!

Kurzfassung

Die Auswirkungen des Klimawandels in Bezug auf Städte und die steigende Bevölkerungsentwicklung im urbanen Raum erhöhen den Druck auf Trinkwasserressourcen und unbebaute Grünflächen. Dadurch rückt die Fassadenbegrünung als platzsparendes Begrünungselement bei gleichzeitiger Nutzung alternativer Bewässerungsquellen in den Fokus.

Im Zuge des Forschungsprojekts UVG 2.0 wurde diese Masterarbeit verfasst, die den Fokus auf troggebundene Begrünungssysteme legt, welche keinen Bodenanschluss benötigen und Möglichkeiten zur alternativen Bewässerung mit Grauwasser sowie zur Kultivierung von Nutzpflanzen eröffnen.

Ziel dieser Arbeit ist es geeignete Pflanzenarten für troggebundene Fassadenbegrünungen zu finden, welche unterschiedlichen Bewässerungsszenarien hinsichtlich Wassermenge, Wasserart und Bewässerungsintervallen ausgesetzt sind. Außerdem wird die Eignung von Nutzpflanzen für das beschriebene System untersucht, sowie die generierte Verdunstungsfläche, die von den eingesetzten Pflanzenarten erzeugt wurde.

Den Ergebnissen zu Folge können fünf der 18 ausgewählten Pflanzenarten für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit niedrigem Bewässerungsszenario empfohlen werden. Für ein troggebundenes Begrünungssystem mit mittlerem Bewässerungsszenario können 14 von 18 ausgewählten Pflanzenarten empfohlen werden und für dasselbe Begrünungssystem mit einer hohen Wasserzufuhr an Grauwasser konnten sechs von 14 ausgewählten Arten empfohlen werden.

Der Vergleich der Bewässerung eines troggebundenen Begrünungssystems mit Grauwasser oder Brunnenwasser zeigt keine wesentlichen Unterschiede in der Pflanzenentwicklung.

Die Kultivierung von Nutzpflanzen in einer troggebundenen Fassadenbegrünung ist möglich, aber weist Einschränkungen im Ertrag auf. Für diesen Zweck ist die Bewässerung mit Grauwasser durchaus einsetzbar.

Die Erhebungen der Blattfläche zeigen eine höhere Verdunstungsfläche in der mit Grauwasser bewässerten Schmuckwand, was jedoch nichts über die Verdunstungsleistung aussagt.

Schlüsselworte:

troggebundene Fassadenbegrünung - vertikale Pflanzenkläranlage – Grauwasser – Nutzpflanzen - Grauwasserreinigung

Abstract

The effects of climate change on cities and the increasing population development in urban areas raise the pressure on drinking water resources and undeveloped green spaces. As a result, green facades as a space-saving greening element with the possibility of using alternative irrigation sources are moving into the spotlight.

This master thesis was developed as part of the research project UVG 2.0. It focuses on pot-based greening systems that do not require a soil connection and open up possibilities for alternative irrigation with greywater as well as the cultivation of eatable plants.

This work aims to find suitable plant species for the pot-based green facade, which are exposed to different irrigation scenarios in terms of water amount, water type, and irrigation intervals. Furthermore, the suitability of crops for the described system is investigated, as well as the generated leaf area for evapotranspiration produced by the used plant species.

According to the results, five of 18 selected plant species can be suitable for a pot-based green facade with a low irrigation scenario. For a pot-based greening system with a medium irrigation scenario, 14 out of 18 selected plant species can be recommended and for the same greening system with a high water supply of grey water, six out of 14 selected species could be also adequate.

The comparison between the irrigation of a pot-based green facade with greywater and tap water showed no significant differences in plant development.

Cultivation of crops in a pot-based green facade is possible but has limitations in yield. Though irrigation with greywater is quite applicable for this purpose. The leaf area results show a higher evapotranspiration area in the wall irrigated with greywater, which does not say anything about the evapotranspiration performance.

Key words: Vertical Greening Systems (VGS) - Pot-based green facade – Greywater - Greywater treatment - Cultivable crops

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Herangehensweise und Forschungsdesign	3
3	Theoretische Grundlagen zu Fassadenbegrünung - Pflanzwahl, Nutzpflanzen und Bewässerung ..	5
3.1	Material und Methode	5
3.2	Funktionen und Wirkungen einer begrünten Fassade	5
3.3	Begrünungssysteme.....	8
3.4	Bewässerung von Fassadenbegrünung	9
3.4.1	Nachhaltiges Bewässerungs- und Regenwassermanagement	9
3.4.2	Verdunstungsleistung von Fassadenbegrünung.....	11
3.4.3	Anforderungen an die Wasser- und Nährstoffversorgung.....	13
3.4.4	Einsatz von Grauwasser als ressourcenschonende Bewässerungsmöglichkeit.....	14
3.5	Pflanzenwahl für wandgebundene Begrünungssysteme.....	16
3.6	Kultivierung von Nutzpflanzen in wandgebundener Fassadenbegrünung.....	17
3.7	Zusammenfassung der Theoretischen Grundlagen	18
4	Feldversuch - Material und Methode	21
4.1	Beschreibung und Verortung des Feldversuchs.....	21
4.2	Troggebundene Fassadenbegrünung.....	22
4.2.1	Pflanztröge.....	23
4.2.2	Substrat.....	23
4.2.3	Bewässerung.....	23
4.3	Versuchswände.....	24
4.3.1	Bewässerungsszenarien	24
4.3.2	Pflanzwahl und Standortbedingung.....	24
4.3.2.1	Indikatorpflanzen.....	25
4.3.2.2	Wand 1 – Trockenwand	26
4.3.2.3	Wand 2 und 3 – Schmuckwände.....	27
4.3.2.4	Wand 4 – Reinigungswand.....	28
4.3.3	Bepflanzungskonzept	29
4.4	Erhebungsmethode	30
4.4.1	Gesamteindruck der Pflanze	30
4.4.2	Kubisches Pflanzvolumen	31
4.4.3	Biomasse.....	31
4.4.4	Erhebung der Blattfläche	32
4.4.5	Erhebung des Ernteertrags	32
4.5	Analysemethode	33

4.5.1	Analyse des erhobenen Gesamteindrucks.....	33
4.5.2	Analyse des erhobenen kubischen Pflanzvolumens.....	33
4.5.3	Analyse der erhobenen Biomasse.....	33
4.5.4	Analyse des erhobenen Ernteertrags.....	33
4.5.5	Analyse der erhobenen Blattfläche.....	34
5	Ergebnisse des Feldversuchs	35
5.1	Auswertungen der Erhebungen von Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse und Blattfläche.....	35
5.1.1	Auswertungen der Erhebungen der Indikatorpflanzen.....	35
5.1.1.1	Schlussfolgerung.....	45
5.1.2	Auswertungen der Erhebungen der Trockenwand	46
5.1.2.1	Schlussfolgerung.....	62
5.1.3	Auswertungen der Erhebungen Vergleich Trockenwand und Schmuckwände.....	63
5.1.3.1	Schlussfolgerung.....	76
5.1.4	Auswertungen der Erhebungen der Schmuckwände	77
5.1.4.1	Schlussfolgerung.....	99
5.1.5	Auswertungen der Erhebungen in der Reinigungswand.....	100
5.1.5.1	Schlussfolgerung.....	118
5.2	Pflanzeneignung und Pflanzempfehlung für unterschiedliche Bewässerungsszenarien	119
5.2.1	Trockenwand - Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch).....	119
5.2.2	Schmuckwand - Bewässerungsszenario B und C (mittlerer Wasserverbrauch)	120
5.2.3	Reinigungswand - Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch)	121
5.3	Auswertungen der Erhebungen des Ernteertrags ausgewählter Nutzpflanzen.....	122
5.3.1	Schlussfolgerung.....	125
6	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse.....	125
6.1	Eignung der untersuchten Pflanzenarten für ein troggebundenes Begrünungssystem	125
6.2	Interpretation der erhobenen Biomasse.....	130
6.3	Vergleich von Brunnenwasserbewässerung (B) und Grauwasserbewässerung (C)	134
6.4	Interpretation des Ernteertrags	136
6.5	Interpretation der erzeugten Blattfläche.....	139
6.6	Conclusio	141
7	Ausblick.....	143
8	Zusammenfassung.....	145
9	Quellenverzeichnis	147
9.1	Literaturverzeichnis	147
9.2	Tabellenverzeichnis.....	154
9.3	Diagrammverzeichnis	157

9.4	Abbildungsverzeichnis	159
10	Anhang	162
11	Curriculum Vitae	167

1 Einleitung

Die hohe Bevölkerungsdichte in Städten führt zu vielen Flächennutzungskonflikten. Im Widerspruch stehen dabei der Bedarf von Wohnraum einerseits und der Wunsch nach Verbesserung der Lebensqualität der Bewohner:innen durch Parks und Grünräume andererseits. Dies führt meist zu einer Reduzierung ausgedehnter Grünflächen und Parks, da sie der Schaffung von Wohnraum, Versorgung und Infrastruktur weichen müssen (BRUNE et al., 2017). Aufgrund der Bebauungsstruktur, Oberflächenversiegelung und den fehlenden Grünflächen entsteht eine zunehmende Hitzebelastung in den Städten. Regionale Klimasimulationen städtischer Gebiete prognostizieren einen Anstieg der mittleren Anzahl der Sommertage von 2 und 7 Tagen pro Jahr im Zeitraum 2021-2050 (ZAMG, 2012). Außerdem wird dadurch der Effekt der städtischen Hitzeinseln, auch Urban Heat Islands (UHI) genannt, begünstigt. Durch das Fehlen von Vegetationsflächen werden natürliche Kühlungsprozesse wie Transpiration und Evapotranspiration verhindert. Ebenso fließt das Niederschlagswasser, das zu der Verdunstungskühle beiträgt, auf bebauten Oberflächen schneller ab und die bebauten, unbeschatteten Oberflächen heizen sich schneller auf (MA 22, 2015).

Um den Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken, entwickelte die Stadt Wien mit dem erstellten Urban Heat Islands Strategieplan (UHI-STRAT) konkrete Maßnahmen für alle Beteiligten der Stadtentwicklung. Durch Grüne Infrastrukturen (GI) und Nature Based Solutions (NBS) kann der Hitzeeffekt deutlich reduziert werden (MA 22, 2015).

Mit GI sind nicht nur Grünflächen gemeint, sondern ein strategisch geplantes Netzwerk von natürlichen und naturnahen Gebieten, die eine breite Palette an Ökosystemleistungen erbringen (NIEUWENHUIJSEN, 2021). Während NBS als von der Natur inspirierte und unterstützte Lösungen zu beschreiben sind, die eine nachhaltige Bewirtschaftung und die Wiederherstellung natürlicher und veränderter Ökosysteme fördern (EC, 2022).

Auch die Begrünung und Kühlung von Gebäuden wird als NBS sowie als Instrument von GI betrachtet (MA 22, 2015). Die multifunktional einsetzbare Begrünung an der Fassade benötigt dabei nicht zwangsläufig einen Bodenanschluss (PFOSER, 2016) und weicht damit dem Problem der Flächenknappheit aus. Sie trägt dennoch dazu bei, Regenwasser nach Starkregenereignissen gezielt zurückzuhalten und die Luftqualität zu verbessern (BERARDI et al., 2014), indem sie die Treibhausgase reduziert (IPCC, 2014). Weiters sorgt die Begrünung von Wänden für einen Schutz der Gebäude vor der Aufheizung (PFOSER, 2016) und die Umgebungstemperatur wird durch die Verdunstungsleistung gesenkt (BARTFELDER et al., 1987). Darüber hinaus schafft die Fassadenbegrünung Biotope auf kleinen Flächen, was eine Erweiterung des Artenspektrums der städtischen Flora und Fauna bedeutet (SCHLÖSSER, 2003). Ein sehr wesentlicher Aspekt für den Einsatz von Fassadenbegrünung als NBS in Städten ist die Ernährungsversorgung durch begrünte Wände. Denn der Trend zum Urban Gardening steigt stetig an und gleichzeitig sind die dafür geeigneten Flächen begrenzt. Dementsprechend könnte die Nutzpflanzenkultivierung am Gebäude einen Beitrag zur lokalen Lebensmittelproduktion leisten (PONWEISER, 2021; DIERICH et al., 2017).

Damit die genannten Funktionen gewährleistet werden können, müssen die eingesetzten Pflanzen den extremen Standortbedingungen an Gebäuden standhalten können, die vergleichbar sind mit trockenem - oder alpinem Klima (FBB, 2010). Gleichzeitig sollten sie an die zukünftigen Klimabedingungen angepasst werden und somit hitze- und trockenheitsresistenter sein (BRUNE, 2016). Außerdem ist eine geeignete Bewässerung sehr entscheidend für eine funktionierende Fassadenbegrünung (KÖHLER et al., 2012).

Einer der Hauptkritikpunkte gegen wandgebundene Fassadenbegrünungen bildet der hohe Wasserverbrauch ab. Grundsätzlich werden Fassadenbegrünung mit Leitungswasser bewässert, was zu einer zunehmenden Verknappung und Verschmutzung des städtischen Wassers führt (PUCHER et

al., o.J.). Vor dem Hintergrund der globalen Wasserknappheit, welche zurückzuführen ist auf die intensive Wassernutzung der Landwirtschaft und Industrie, den steigenden Lebensstandard, die Ernährungsumstellung und den Klimawandel (KUMMU et al., 2010), sollten alternative Wasserressourcen für die Bewässerung von vertikalen Begrünungssystemen in Betracht gezogen werden, um damit den Druck auf Trinkwasserressourcen zu verringern. Dabei kann nicht nur Regenwasser gefiltert wiederverwendet werden (KALTENBACH, 2008; PFOSER, 2016), sondern auch die Wiederverwendung von Grauwasser (GW) kommt als NBS in Frage, das sich aus allen häuslichen Abwässern mit Ausnahme der Toilettenspülung zusammensetzt (BOANO et al., 2020). Neben der Bewässerung mit Grauwasser ist auch die Reinigung von Grauwasser über eine vertikale Pflanzenkläranlage in Form eines Fassadenbegrünungssystems möglich (BOANO et al., 2020). Dazu benötigt es weitreichende Forschungen, inwiefern sich die Grauwasserbewässerung auf die Pflanzenentwicklung auswirkt und welche Arten sich zur Reinigung von Grauwasser eignen.

Aus den beschriebenen Problemfeldern heraus ergeben sich demnach vielfältige Forschungsbereiche, die sich mit der Eignung von Pflanzenarten für Begrünungswände bei gleichzeitiger Bewässerung mit Grauwasser oder einem geringen Wasserverbrauch beschäftigen sollten.

Im Rahmen des Forschungsprojekts *Urban Vertical Green 2.0* (UVG 2.0) wurden innerhalb der Projektlaufzeit vom 04/2018 - 10/2021 die Potentiale von vertikalen Bauwerksbegrünungen in drei Städten (Berlin, Wien und Ljubljana) hinsichtlich der Verwaltung und dem Management von städtischen Grünstrukturen untersucht. Dabei geht es um die Verknüpfung von Fassadenbegrünungen mit der Ernährungs-, Wasser – und Energieversorgung, um diese wertvolle Begrünungsmethode als NBS in zukünftige Umgestaltungen von Städten zu integrieren (Universität für Bodenkultur Wien 2018).

Zu diesem Zweck wurde im Zuge dieser Masterarbeit an einem konkreten Beispiel der Fassadenbegrünung geforscht, um die nachfolgenden Fragestellungen ausreichend zu untersuchen und zu beantworten.

Installiert wurden dazu vier Versuchswände in Form eines troggebundenen Fassadenbegrünungssystems im Innenhof des BOKU-Gebäudes in der Muthgasse 18, 1190 Wien. Anhand dieser wurde die Eignung von Pflanzen getestet, die unterschiedlichen Bewässerungsszenarien ausgesetzt waren. Um dies ausreichend zu untersuchen, wurden folgende Forschungsfragen bearbeitet:

1. Welche Pflanzenarten eignen sich für das getestete System der troggebundenen Fassadenbegrünung, welches unterschiedlichen Bewässerungsszenarien hinsichtlich Wassermenge, Wasserart und Bewässerungsintervallen ausgesetzt ist?
2. Wieviel Biomasse wurde in der untersuchten troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien erzeugt?
3. Wie entwickeln sich die Pflanzenarten in der untersuchten troggebundenen Fassadenbegrünung bei einer Bewässerung mit Grauwasser verglichen zu einer Bewässerung mit Brunnenwasser?
4. Wie hoch ist der Ernteertrag der essbaren Pflanzenteile in dem getesteten System der troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien?
5. Wieviel Blattfläche konnte in den Schmuckwänden des troggebundenen Fassadenbegrünungssystems als Verdunstungsfläche generiert werden?

Ziel ist es, anhand des Feldversuchs und der Erhebungsmethoden, die in Kapitel 4 beschrieben werden, geeignete Pflanzenarten für eine troggebundene Fassadenbegrünung zu finden, die mit den unterschiedlichen Bewässerungsszenarien sowie mit Grauwasserbewässerung und –reinigung

zurechtkommen. Dazu findet ein Vergleich statt, wie sich die Bewässerung mit Grauwasser verglichen zu der Bewässerung mit Brunnenwasser bzw. Leitungswasser auf die Pflanzenarten auswirken. Weiters gilt es herauszufinden, inwiefern sich Nutzpflanzen für eine troggebundene Fassadenbegrünung eignen und wie diese auf die unterschiedlichen Bewässerungsszenarien reagieren.

2 Herangehensweise und Forschungsdesign

Für die Beantwortung der Fragestellungen und zum Erreichen der Zielsetzungen, wird zunächst der Theorieteil anhand vorhandener Literatur beschrieben. Dabei werden die Funktionen und Wirkungen einer Fassade und die Formen der Begrünungssysteme beschrieben und im Anschluss wird genauer auf das Gebiet der Bewässerung von Fassadenbegrünungen eingegangen und untersucht, welche nachhaltigen Bewässerungsmöglichkeiten es gibt, sowie welche Pflanzenarten und Nutzpflanzen in einem troggebundenen Systemen eingesetzt werden können.

Im praktischen Teil wird an einem Feldversuch in Form eines troggebundenen Fassadenbegrünungssystems geforscht, welches sich im zweiten Forschungsjahr befindet und vier unterschiedlichen Bewässerungsszenarien inklusive der Grauwasserbewässerung ausgesetzt ist. Analysiert wird das kubische Volumen, die Biomasse, die Blattfläche, der Ernteertrag und der Gesamteindruck anhand vorhandener bzw. adaptierter Bewertungssysteme des Instituts für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) der Universität für Bodenkultur Wien. Anschließend werden die erhobenen Daten mittels einer deskriptiven Analyse ausgewertet und in Tabellen und Grafiken dargestellt. Die daraus ermittelten Ergebnisse geben Aufschluss über die Eignung der Pflanzenarten für verschiedene Bewässerungssysteme. Darauf basierend kann abschließend eine Pflanzenempfehlung für eine troggebundene Fassadenbegrünungen mit verschiedenen Bewässerungsszenarien abgegeben werden, sowie die Eignung von Nutzpflanzen für die verschiedenen Szenarien überprüft werden.

Einen Überblick zum Aufbau der Arbeit soll folgende Abbildung 1 geben.

Überblick zum Aufbau der Arbeit

Fassadenbegrünung - Auswirkungen unterschiedlicher Bewässerungsszenarien auf die Bepflanzung

FORSCHUNGSFRAGEN:

1. Welche Pflanzenarten eignen sich für das getestete System der troggebundenen Fassadenbegrünung, welches unterschiedlichen Bewässerungsszenarien hinsichtlich Wassermenge, Wasserart und Bewässerungsintervallen ausgesetzt ist?
2. Wieviel Biomasse wurde in der untersuchten troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien erzeugt?
3. Wie entwickeln sich die Pflanzenarten in der untersuchten troggebundenen Fassadenbegrünung bei einer Bewässerung mit Grauwasser verglichen zu einer Bewässerung mit Brunnenwasser?
4. Wie hoch ist der Ernteertrag der essbaren Pflanzenteile in dem getesteten System der troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien? Welche Nutzpflanzen eignen sich für dieses System sowie für die Bewässerung mit Grauwasser?
5. Wieviel Blattfläche konnte in den Schmuckwänden des troggebundenen Fassadenbegrünungssystems als Verdunstungsfläche generiert werden?

LITERATURRECHERCHE (THEORIE)	FELDVERSUCH (PRAXIS)
Fassadenbegrünung	Versuchsanlage - Troggebundene Fassadenbegrünung
<p>MATERIAL UND METHODE:</p> <p>Literaturrecherche und Einführung in die Thematik</p> <p>Fassadenbegrünung (Theorie)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Funktionen und Wirkungen ○ Begrünungssysteme <p>Bewässerung von Fassadenbegrünung</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Nachhaltiges Bewässerungs- und Regenwassermanagement ○ Anforderung an Wasser und Nährstoffe ○ Verdunstungsleistung ○ Grauwassereinsatz <p>Pflanzenwahl für troggebundene Fassadenbegrünung</p> <p>Kultivierung von Nutzpflanzen</p>	<p>MATERIAL UND METHODE:</p> <p>Praktische Anwendung am Feldversuch</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Wand 1 – Trockenwand (Brunnenwasser) ○ Wand 2 – Schmuckwand (Brunnenwasser) ○ Wand 3 – Schmuckwand (Grauwasser) ○ Wand 4 – Reinigungswand (Grauwasser) <p>Bewässerungsszenarien</p> <p>Pflanzwahl und Standortbedingungen</p> <p>Bepflanzungskonzept</p> <p>Erhebung und Analyse</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Gesamteindruck, Kubisches Pflanzvolumen, Biomasse, Blattfläche, Ernteertrag
<p>ZIEL: theoretische Auseinandersetzung mit Bepflanzungen wandgebundener Fassadenbegrünung und deren Bewässerungsmöglichkeiten. Abgleich bisheriger Studien zur Pflanzwahl, zu Bewässerungsmöglichkeiten und der Kultivierung von Nutzpflanzen, sowie Untersuchungen der Verdunstungsleistungen von troggebundener Begrünungen.</p>	<p>ZIEL: Feststellen der Eignung von Pflanzenarten für unterschiedliche Bewässerungsszenarien inklusive Grauwasserbewässerung</p> <p>Aufzeigen der Eignung von Nutzpflanzen zur Lebensmittelproduktion an der Fassade</p> <p>Aufzeigen der Verdunstungsleistungen anhand der erzeugten Blattfläche</p> <p>Abgabe einer Pflanzempfehlung für verwendetes System</p>
ANALYSE DER ERGEBNISSE	
DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG	

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit (Eigene Erstellung 2021)

3 Theoretische Grundlagen zu Fassadenbegrünung - Pflanzwahl, Nutzpflanzen und Bewässerung

Die Begrünung von Fassaden ist heutzutage ein immer bedeutenderer Bestandteil der grünen Infrastruktur in Städten. Nicht zuletzt, weil Fassadenbegrünung zu einer Reihe von Ökosystemdienstleistungen beiträgt. Es entsteht neuer Lebensraum für eine höhere Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren, der Abfluss von Regenwasser wird verzögert, Feinstaub wird gebunden und die Luftqualität verbessert. Außerdem wird durch die Bepflanzung Schall absorbiert und die grünen Fassaden wirken sich positiv auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen aus. Der Stadt wird zudem ein individueller Charakter durch die Begrünung verliehen (FRANCIS et al., 2011; OSTENDORF et al., 2011; KÖHLER, 2008; PÉREZ et al., 2016; THÖNNESEN, 2006; ALTHÖFER, 1996).

Dieses Kapitel umfasst die Ergebnisse einer ausführlichen Literaturrecherche, wobei zunächst die Funktionen und Wirkungen einer Fassadenbegrünung, sowie die verschiedenen Begrünungssysteme den Lesenden einen Überblick über die Thematik der Fassadenbegrünung verschaffen sollen. Weiters werden die nachhaltigen Bewässerungsmöglichkeiten und die Pflanzwahl für troggebundene Fassadenbegrünungssysteme genauer betrachtet. Um zu einem aussagekräftigen Ergebnis aus der Literatur zu kommen, wurde die im anschließenden Kapitel beschriebene Methode angewendet.

3.1 Material und Methode

Zur ausreichenden Untersuchung der Themenbereiche Fassadenbegrünung - Funktionen und Wirkungen, vorhandene Begrünungssysteme, deren nachhaltige Bewässerungsmethoden, Pflanzwahl und Kultivierung von Nutzpflanzen, sowie Verdunstungsleistung von Fassadenbegrünung, wurden verschiedene Literaturdatenbanken nach passender Literatur durchsucht. Anhand von Keywords wie Fassadenbegrünung – Green Facade – Vertical Greening Systems (VGS) - Grauwasser – Greywater – Grauwasserreinigung – Pflanzenkläranlagen - Greywater irrigation – Greywater treatment – Rainwater irrigation for VGS - Plants for VGS – Nutzpflanzen – Vertical Farming – Evapotranspiration – Cooling of VGS wurde die Suche in Literaturdatenbanken wie Scopus, Google Scholar oder ScienceDirect eingegrenzt. Auch die Kombination mehrerer Keywords wurde angewendet, um zu weiteren Ergebnissen zu kommen. Die gefundene Literatur wurde in Tabellen nach Themenbereichen sortiert und nach den Kriterien Aktualität, Vollständigkeit und Seriosität ausgewählt. Weiters wurden die für die Beantwortung der Forschungsfragen wesentlichen Kernaussagen aus der Literatur zusammengefasst.

In folgendem Abschnitt werden die vielen verschiedenen Funktionen und Wirkungen einer vertikalen Begrünung auf die Umgebung anhand bisheriger Forschungsergebnisse aus der Literatur beschrieben. Anschließend wird die Bewässerung von Fassadenbegrünung genauer betrachtet sowie auf die Pflanzwahl für wandgebundene Begrünungssysteme eingegangen. Das letzte Unterkapitel des Theorieteils behandelt die Kultivierungsmöglichkeiten von Nutzpflanzen.

3.2 Funktionen und Wirkungen einer begrünten Fassade

Eine der wichtigsten Wirkungen der Fassadenbegrünung ist die Temperaturreduktion. Gerade in dicht bebauten Gebieten kommt es hauptsächlich während der Nacht zu veränderten Windverhältnissen und höheren Temperaturen (PFOSER, 2016). Die Rede ist von urbanen Hitzeinseln (UHI). Außerdem werden ca. 80% des Strahlungseintrags an einer unbegrünten Fassade in Wärme umgewandelt. Im Vergleich dazu, kann eine Dachbegrünung in den Sommermonaten 58 % der Strahlungsbilanz in Verdunstungskälte umwandeln (PFOSER, 2016; SCHMIDT, 2003). Das heißt städtische Grünräume, die sich im Vergleich zu Bebauungselementen weniger stark aufheizen und in der Nacht stärker abkühlen,

helfen gegen die Entstehung von UHI (MA 22, 2015). Die durch Grünräume entstandene Kaltluft fließt je nach Windverhältnissen, Topografie und Bebauungsstruktur unterschiedlich weit in thermisch belastete Gebiete und kann dort zu einer Reduzierung des UHI-Effekts führen (BOLUND et al., 1999; GÓMEZ-BAGGETHUN et al., 2013). Auch die Fassadenbegrünung trägt ihren Teil zur Verbesserung des Mikroklimas bei. Die Intensität des Kühlungseffekts ist dabei nicht nur abhängig von der Größe und Ausrichtung der bepflanzten Fläche sondern auch von der Pflanzdichte bzw. der Substratschicht (KORJENIC, 2013; PFOSER, 2016). Die Kühlung geschieht durch die Beschattung von Gebäudeoberflächen aber auch durch die Reflexionsstrahlung am Gebäude. Ganz wesentlich führt außerdem die Evapotranspiration der Pflanzen und des gespeicherten Regenwassers zu einer signifikanten Minderung der Oberflächentemperaturen (SPEAK et al., 2013; PFOSER, 2016). Genauer wird auf die Verdunstungsleistung einer Fassadenbegrünung in Kapitel 3.3.3 eingegangen.

Weiters ist die Verbesserung der Luftqualität eine Funktion, zu der die Fassadenbegrünung positiv beitragen kann. Denn die hohe Schadstoffkonzentration in engen Straßenschluchten dicht bebauter Städte kann durch Vegetation gemindert werden. Dies wird beispielsweise belegt durch die Studie von SAENGER et al. (2019) in welcher festgestellt wurde, dass die Reduktion von Feinstaub in einer bepflanzten Kabine eines Glashausexperiments mit konstanter Windgeschwindigkeit um 30% höher war als in einer unbepflanzten Kabine. Oder wie PUGH et al. (2012) in ihrer Studie demonstrieren, dass die Schadstoffkonzentration von Feinstaub (PM10) und Stickstoffdioxid (NO₂) in Straßenschluchten durch Fassadenbegrünung auf Straßenebene um bis zu 60% verringert werden konnte. Die Reduktion des Feinstaubes erfolgt über die Filterung, das heißt die Zwischenablagerung von Stäuben auf der Vegetation (GORBACHEVSKAYA et al., 2007). Abhängig ist diese Deposition von der Größe der Begrünung und der Veränderung des Strömungsfelds wie Windberuhigung und Turbulenzerzeugung sowie der Geometrie des bebauten Umfelds (TOMSON et al., 2021). Die Positionierung der Bepflanzung ist demnach ein wesentlicher Faktor für ein gutes Staubfangvermögen. Dabei ist darauf zu achten, dass ungünstige aerodynamische Eigenschaften die Filterung beeinträchtigen können (GORBACHEVSKAYA et al., 2007). Außerdem spielt die Pflanzenart und deren Habitus eine Rolle für die Bindung von Feinstaub (FLOHR, 2010). Messungen ergaben eine Spitzenkonzentration der Feinstäube PM 2.5 und PM10 von 45,3% durch den Einsatz spezifischer Pflanzenarten wie *Sedum album* oder *Sedum reflexum*. Im Vergleich dazu, lag die Spitzenkonzentration ohne Bepflanzung bei 71,4% (VIECCO et al., 2018). Somit ist das Staubfangvermögen auch abhängig von der Morphologie der eingesetzten Pflanzen. Untersuchungen zeigten, dass bei Blättern mit einer dichteren Behaarung und einer Wachsschicht mit einem höheren Staubauftrag zu rechnen ist als auf glatter Blattoberfläche. Aber auch eine Oberfläche mit höherer Rauigkeit z.B. durch Lentizellen oder Längsriefen erzielen eine bessere Partikelbindung (FLOHR, 2010; WEERAKKODY et al., 2017; THÖNNESEN, 2006). Geht es um die Aufnahme von gasförmiger Verunreinigung wie Kohlenstoff, erweisen sich holzigere Strukturen als gute Staubbinder (CHAROENKIT et al., 2020). Die Fassadenbegrünung bietet demnach einen Beitrag an Oberflächen zur Deposition von Feinstaub und eignet sich besonders in Straßenschluchten, da sie die Luftdurchmischung und Turbulenzerzeugung nicht verhindert.

Nicht nur aus ökologischer Sicht ist die Begrünung von Gebäuden wertvoll, sondern auch aus der Perspektive der menschlichen Bedürfnisse. Grünräume mit einer hohen Artenvielfalt werden von uns Menschen bevorzugt und als ‚schön‘ empfunden. Außerdem tragen Grünräume zu unserem Wohlbefinden bei, rufen angenehme Erinnerungen hervor und schaffen eine Identifikation mit dem Ort (RITTEL et al., 2014). Eine Befragung von Bewohner:innen begrünter Gebäude verdeutlicht, dass die „Umweltargumente“ einer Fassadenbegrünung sich hinter die ästhetischen – und psychosozialen Aspekte des Wohlbefindens reihen. Dazu zählen das direkte Erleben der Jahreszeiten oder das Rascheln der Blätter im Wind, womit ein Bezug zur Natur hergestellt wird (LÖSCHMANN, 2001; THÖNNESEN, 2006). Außerdem wird die Identifikation und Bindung mit dem Wohnumfeld gestärkt (SCHLÖSSER, 2003).

Die Begrünung der Fassade ist auch ein wesentliches gestalterisches Merkmal im Wohnumfeld. So können Elemente am Gebäude markiert oder kaschiert werden und bauliche Akzente gesetzt werden (FREY et al., 1988). Auch übergangsweise ermöglichen immergrüne Systeme durch Verdeckung schadhafter oder unansehnlicher Fassaden und Wände eine elegantere Lösung. Wie z.B. die temporäre Überkleidung von Baufeldern. Dabei ist für die Positionierung und Proportion einer Teilbegrünung sehr wesentlich, welche Botschaft sie nach außen trägt. Neben der gezielten Betonung oder Überspielung der Gebäudeproportionen kann durch die unterschiedliche Kubatur und Anordnung der Begrünungsfelder auch Privatheit oder Öffentlichkeit eines Gebäudes vermittelt werden. Eine vollbegrünte Fassade verleiht dem Gebäude ein „Gesicht“ und ist sie zum öffentlichen Raum gerichtet verstärkt sie die Wirkung von Einladung und Nähe. Sinnbildlich verkörpert die Gebäudebegrünung eine lebenswerte Stadt für die Zukunft (PFOSER, 2016). Sie verleiht der Stadt einen Charakter und erneuert das Stadtbild, was auch Auswirkungen auf den Wert des Gebäudes hat, der bei höheren ästhetischen – und ökologischen Eigenschaften steigt (BAŞDOĞAN et al., 2016).

Die Auswirkungen von Grünräumen auf die menschliche Gesundheit sind wie beschrieben in vielerlei Hinsicht positiv. Sie fördern nicht nur die physische Gesundheit, sondern ebenso die psychischen, sozialen und ästhetisch-symbolischen Gesundheitskomponenten (RITTEL et al., 2014). Eine oft zitierte Studie des Umweltpsychologen Roger Ulrich aus dem Jahr 1984 demonstriert, dass diejenigen Krankenhauspatient:innen sich schneller erholten und weniger Schmerzmittel benötigten, welche von ihrem Bett aus einen Blick ins Grüne werfen konnten, als jene, die auf eine Steinmauer schauten (ULRICH, 1984). Dieses Ergebnis wurde auch in weiteren Studien beobachtet, in denen die Zufriedenheit der Bewohner:innen mit ihrer Nachbarschaft befragt wurde. Fiel der Blick aus dem Fenster auf natürliche Elemente wie Bäume, Gärten, Blumen, wirkte sich dies positiv auf die Zufriedenheit mit der Nachbarschaft und den Bezug zur Natur aus (KAPLAN, 2001). Zudem wird durch das Betrachten von ‚Grün‘ der Herzschlag und Blutdruck reduziert und ein Aufenthalt im Wald stärkt das Immunsystem. Auch auf die körperliche Erholung wirkt sich Sport im Grünen positiver aus als Sport in ‚grauer Umgebung‘ oder im geschlossenen Raum. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass es auch negative Auswirkungen von Grünräumen auf die Gesundheit gibt. Damit sind insbesondere die allergischen Reaktionen durch den Pollenflug bestimmter Arten gemeint, die Anwohner:innen stark belasten können (RITTEL et al., 2014). Insgesamt betrachtet wird durch die Studien deutlich, wie positiv die Auswirkungen von Grünflächen in sichtbarer Nähe sind. Diesbezüglich wird für Planungen von Begrünungen empfohlen, die visuelle Nähe von Grünstrukturen miteinzubeziehen. Das heißt wie sie von der Straße und von zu Hause aus erlebt werden (VAN HERZELE et al., 2012).

Um die Fassadenbegrünung nicht nur visuell, sondern auch direkt erlebbar zu machen, rückt der Anbau von Lebensmitteln an der Fassade als weitere Funktion in den Fokus. Dabei ist öfter die Rede von „Zero-Acreage-Farming“ kurz „Zfarming“, was die Nahrungsmittelproduktion ohne zusätzlichen Flächenverbrauch beschreibt. Hierbei werden Dächer, Fassaden und ungenutzte Innenräume für den Anbau von Nahrungsmitteln genutzt. Dabei steht nicht nur der Nahrungsmittelanbau im Fokus, sondern auch damit zusammenhängend die Vermittlung von ökologischen und sozialen Werten sowie der Erholungsfaktor dahinter (DIERICH et al., 2017). Handelt es sich um Bildungs- und sozialorientiertes Zfarming dienen die gewonnenen Produkte dem Eigenbedarf oder werden in eingebundenen Cafeterien oder Mensen verarbeitet. Im Gegensatz dazu steht beim professionellen Zfarming der kommerzielle Anbau im Vordergrund. Die Produkte werden direkt auf Märkten oder an Restaurants verkauft (THOMAIER et al., 2015). Ein Beispiel hierfür ist das New Yorker Unternehmen Gotham Greens. Auf bereits vorhandenen Dachflächen wird laut dem Unternehmen bis zu 30-mal mehr Ernte pro Hektar erbracht als bei der konventionellen Landwirtschaft (KOWITT, 2018). Ein weiteres funktionierendes Beispiel ist das Greenhost Boutique Hotel in Yogyakarta. Dort wurden für Dach und Fassade essbare Pflanzen eingesetzt, die zur Kühlung des Gebäudes beitragen und ebenso im Hoteleigenen Restaurant verarbeitet werden (SUPARWOKO et al., 2017). Bei einem gewerblichen

Anbau ist für einen hohen Ertrag ein hoher Technisierungsgrad notwendig. Somit kommen substratfreie Anbaumethoden ins Spiel. Die Rede ist beispielsweise von Hydroponik. Anstelle von Substrat wird Steinwolle oder Cocos in mit Nährstoffen versetztes Wasser getränkt. Die Nährstoffzugabe erfolgt nach dem jeweiligen Bedürfnis der entsprechenden Pflanze und führt so zu einem hohen Ertrag. Auch Krankheiten und Schädlingsbefall können in dieser kontrollierten Umgebung verhindert werden. In den sogenannten vertikalen Farmen können sämtliche Kulturpflanzen mit einer optimalen Flächeneffizienz gezogen werden. Der Wassereinsparung von bis zu 70% im Vergleich zu konventioneller Landwirtschaft stehen die hohen Kosten und der Energieaufwand für Beleuchtungsmittel und Klimaerzeugung gegenüber. Deshalb liegt der Fokus momentan auf Pflanzen mit einem hohen Anteil von essbaren Pflanzenteilen wie Salaten oder Kräutern. Für eine Optimierung der Produktivität bei gleichzeitiger Reduzierung der Systemkosten benötigt es noch weitere Forschung und Zusammenarbeit unter wichtigen Stakeholdern. So könnte der vertikale Anbau zukünftig als dauerhafte Quelle für die Lebensmittelproduktion dienen (PONWEISER, 2021; BIRKBY, 2016). Vorangegangene Literaturrecherche zeigt, dass der Forschungsbedarf für nachhaltige Alternativen beim Anbau von Nutzpflanzen hoch ist. Dennoch zeigen viele funktionierende Beispiele eine weitere Funktion der Fassade, nämlich die der Lebensmittelproduktion.

Wie in diesem Kapitel aufgezeigt wurde, wird deutlich, wie vielfältig die positiven Wirkungen einer Fassadenbegrünung auf die Umwelt und den Menschen sein können. Wie die Begrünung einer Fassade in der Umsetzung gelingen kann und welche Begrünungssysteme es gibt, wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

3.3 Begrünungssysteme

In der Literatur werden die Begrünungssysteme sehr unterschiedlich kategorisiert. Laut FLORINETH (2012) werden Fassadenbegrünungen in bodengebundene und fassadengebundene Begrünungen oder in Mischformen aus Pflanzgefäßen oder Pflanztrögen unterteilt. Besonders die fassadengebundenen Begrünungen eignen sich im innerstädtischen Bereich, da sie keinen Bodenanschluss benötigen. Allerdings ist dafür der Aufwand für die Pflege und Wartung höher als bei bodengebundenen Begrünungen und die Wasser- und Nährstoffzufuhr erfolgt automatisiert (BUGG-BUNDESVERBAND GEBÄUDEGRÜN E.V., 2020). Fassadengebundene Begrünungen oder im englischen auch „Living Walls“ genannt (KÖHLER et al., 2012) werden durch PFOSE (2016) unterteilt in Regalsysteme, modulare- und flächige Systeme. Während die wandgebundenen Begrünungssysteme in den FLL-Fassadenbegrünungsrichtlinien in horizontale- und vertikale Vegetationsflächen kategorisiert werden (FLL, 2018)

In dieser Arbeit wird Bezug genommen auf die Einteilung nach LANGERGRABER et al. (2021). Demnach wurden die verschiedenen Begrünungssysteme kategorisiert anhand ihrer Potenziale als NBS-Interventionen zur Bewältigung einer urbanen Kreislaufwirtschaft. Die vertikalen Begrünungssysteme, welche als NBS eingesetzt werden können werden demzufolge kategorisiert in bodengebundene-, wandgebundene- und troggebundene Fassadenbegrünungen. Mit einer bodengebundenen Fassadenbegrünung ist eine Begrünung durch Kletterpflanzen gemeint, welche im Boden oder in auf dem Boden stehenden Gefäßen gepflanzt sind. Eine wandgebundene Fassadenbegrünung beschreibt die Begrünung von Paneelen und technischen Strukturen, die bepflanzt werden. Diese werden wiederum an der Fassade befestigt oder können als eigenständiges System ausgeführt werden. Verglichen zu der bodengebundenen Fassadenbegrünung kann für dieses System ein breiteres Pflanzenspektrum eingesetzt werden (BUGG-BUNDESVERBAND GEBÄUDEGRÜN E.V., 2020; LANGERGRABER et al., 2021). Nach der Kategorisierung von PFOSE (2016) lassen sich die modularen- und flächigen Systeme dem wandgebundenem System unterordnen. Spricht man von

einer troggebundenen Fassadenbegrünung, sind bepflanzte Gefäße gemeint, die direkt auf dem Grund oder am Gebäude bzw. Balkon aufgestellt werden. Für dieses System eignen sich von Kletterpflanzen, über Bäume und Sträucher alle Arten von Pflanzen (LANGERGRABER et al., 2021). Handelt es sich dabei um lineare Reihung der Pflanzgefäße ist auch die Rede von einem sogenannten Regalsystem (PFOSER, 2016). Auch in der ÖNORM L1136: 2021 04 01 – *Vertikalbegrünung im Außenraum* wird die Kategorie troggebundene Vertikalbegrünung genannt. Dabei wird deutlich der Unterschied zu einer bodengebundenen Begrünung definiert, indem die Pflanzen in den Trögen wurzeln und keine Verbindung zum anstehenden Erdreich gewährleistet werden muss. Außerdem sind damit teil-oder vollflächige Vegetationsträger gemeint, die eine hinterlüftete Fassade bilden (ASI. ÖNORM L1136, 2021).

Da im Zuge des Feldversuchs dieser Masterarbeit an einer troggebundenen Fassadenbegrünung geforscht wird, welche an der Fassade montiert ist, liegt der Fokus der Arbeit auf dieser Begrünungstechnik.

Die Anforderungen an das Material sind für alle Systeme ähnlich. Das Substrat hat die Eigenschaften Formstabilität, Wasserdurchlässigkeit, Wasserspeicherung zu erfüllen (KÖHLER et al., 2012). Außerdem sollte auf das Gewicht des Substrats geachtet werden, da aufgrund einer erforderlichen Tiefe des Pflanzgefäßes schnell ein hohes Gewicht entstehen kann und somit schnell über die Belastbarkeitsgrenzen einer Fassade hinausgeht (KALTENBACH, 2008).

Über eine gut abgestimmte Pflanzwahl kann eine vollflächige Begrünung gelingen. Eine an der Fassade angebrachte Vorkonstruktion oder Kragkonsolen richtet die Pflanzgefäße so aus, dass ein natürliches Vertikalwachstum zum Licht unterstützt wird. Dennoch ist die Form- und Materialwahl der Pflanzgefäße wesentlich, da diese vor allem im Winter zur Geltung kommen. Die Pflanzwahl sollte sich nach der Winterhärte und dem Wurzelraum richten. Nichtsdestotrotz ist der Einsatz von verschiedenen Stauden, Gräsern, Farnen, Zwiebel-/Knollengewächsen und Kleingehölzen bis hin zu Kletterpflanzen möglich (PFOSER, 2016). Mehr zu der Pflanzwahl ist in Kapitel 3.4 zu lesen. Vorteil des troggebundenen Systems ist unter anderem die Austauschbarkeit der einzelnen Abschnitte, was bei anderen Systemen nur eingeschränkt möglich ist. Ein Nachteil entsteht allerdings durch die schnelle Aufheizung der Pflanztröge. Dies kann durch die innere Auskleidung mit Vlies gemindert werden (KÖHLER et al., 2012).

3.4 Bewässerung von Fassadenbegrünung

Im folgenden Kapitel wird auf einen nachhaltigen Umgang mit Wasser genauer eingegangen und dabei die Möglichkeiten für ressourcenschonende Bewässerungsmöglichkeiten aufgezeigt. Außerdem werden die Anforderung der Bewässerung einer Fassadenbegrünung genauer betrachtet und dargestellt was für eine Rolle die Pflanzen hinsichtlich der Verdunstungskälte und der Kühlung von Städten spielen.

3.4.1 Nachhaltiges Bewässerungs- und Regenwassermanagement

Um den Trockenperioden und UHI in Städten entgegenzuwirken, ist ein Bewässerungs- und Regenwassermanagement unumgänglich. Wasser ist nicht nur wichtig für die belebte Umwelt sondern der kühlende Effekt von Wasser durch dessen Verdunstungskälte verbessert das Mikroklima und wirkt sich positiv auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit aus (MA 22, 2015). Der Umgang mit Niederschlagswasser wird aufgrund der zunehmenden Starkregenereignisse und versiegelten, wasserundurchlässigen Flächen in Städten erschwert (MA 22, 2018). Durch den schnellen Abfluss des Niederschlagswasser kann keine Verdunstung und dadurch ebenfalls keine Verdunstungskühle

entstehen, was die Bildung von UHI fördert und gleichzeitig die Kanalisation überlastet (MA 22, 2015). Zielführend für einen nachhaltigen Umgang mit Regenwasser und eine Reduktion der UHI wäre die Annäherung des Wasserkreislaufs zurück zu den natürlichen Verhältnissen. Mittels Wasserrückhalt, Verdunstung und Versickerung von Niederschlagswasser wird dieser naturnahe Wasserkreislauf angestrebt und damit die Integration von NBS in Städten gefördert (MA 22, 2018; UEPA, 2012; ÖWAV, 2021).

Aus ökologisch und ökonomischer Sichtweise sollten Systeme der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung herangezogen werden, um das Niederschlagswasser in Form von Mulden, Rigolen, Sickerbelägen oder Zisternen aufzufangen und abzuleiten (SCHMAUCK, 2019). Dabei kann das Gründach für einzelne Gebäude einen messbaren Beitrag leisten, indem das Niederschlagswasser auf dem Dach gesammelt wird und anschließend entweder zur Bewässerung von Fassadenbegrünung dient oder verzögert in die Kanalisation geleitet wird (CARTER et al., 2007). Auch Fassadenbegrünung leistet einen Beitrag zum Regenwasserrückhalt. So zeigen aktuelle Forschungen, dass sogenannte Living Walls positive Effekte auf die Hydrologie und das Wassermanagement in der Stadtgestaltung haben (LOH, 2008). Beispielsweise wird in den Versuchen von OSTENDORF et al. (2011) und VAN DE WOUW et al. (2017) bestätigt, dass eine begrünte Fassade zu einem verzögerten Abfluss von Niederschlagswasser führt. Im Vergleich dazu war bei der unbepflanzten Kontrollwand schon früher ein Abfluss zu messen. Bei dem Versuch von OSTENDORFS et al. (2011) wird deutlich, dass der Rückhalt auch abhängig von den Pflanzarten ist. So hält die mit *Sedum Phedimus* bepflanzte Wand mehr Regenwasser zurück als jene mit *Sedum spurium*.

Weiters kann sich der Deckungsgrad der Pflanzen auf die Abflussdauer auswirken. Ein Feldversuch zeigt, dass eine von Blättern bedeckte Fassade über 60% des Niederschlags abfangen kann, im Vergleich zu einer lockeren astigen Bepflanzung mit unter 50% Niederschlagsaufnahme. Die vollflächige Fassade bewirkte eine Verzögerung von mindestens 30 Minuten vom Beginn der Niederschlagsereignisses bis zum ersten gemessenen Durchfluss. Im Vergleich dazu benötigte die astigere Fassade etwa 15 Minuten. Somit wird das Potential von Fassadenbegrünung im Regenwassermanagement deutlich. Innerhalb städtischer Entwässerungsinfrastruktur kann Fassadenbegrünung zur Verlangsamung von Spitzenabflüssen beitragen und Regenwasser rückhalten (TIWARY et al., 2018).

Auch innerhalb der verschiedenen Begrünungssysteme gibt es Unterschiede bezüglich der Retention. So zeigt der Vergleich zwischen einem flächigen Begrünungssystem und einem Living-Wall System mit horizontalen Pflanztrögen, dass die horizontalen Flächen des Living-Wall Systems mehr Niederschlag aufnehmen können als das Panel System (VAN DE WOUW et al., 2017; PFOSER, 2016). In einem Versuch von VAN DE WOUW et al. (2017) wurden bis zu 13,6% des auf einen Quadratmeter anfallenden Regenwassers gesammelt. Hinzu kommt der Einfluss des hierfür eingesetzten Substrats mit hoher Speicherkapazität.

Ein gelungenes Regenwassermanagement bedeutet neben dem Regenwasserrückhalt auch die Regenwassernutzung zur Bewässerung von Fassadenbegrünung. Bewirkt wird dadurch die Einsparung von Leitungswasser und gleichzeitig wird die Verdunstungskühlung gefördert (PFOSER, 2016). Dabei ist sicherzustellen, dass keine toxischen Stoffe in den Kreislauf gelangen wie z.B. Giftstoffe in Putzteilen, Dachabdeckungen oder Vogelkot (MA 22, 2019). Um eine stetige Wasserverfügbarkeit zu gewährleisten ist bei einer wandgebundenen Begrünung die Zwischenspeicherung von Regenwasser in Zisternen unverzichtbar. Die Zisternen sollten sich in kühlen Lagen wie einem Keller befinden und benötigen einen Überlauf sowie eine Förderpumpe (PFOSER, 2016). Während die Bewässerung mit Regenwasser für Dachbegrünungen häufig angewendet wird, gibt es wenige Forschungen zum Einsatz bei Fassadenbegrünungen (SÁNCHEZ-RESÉNDIZ et al., 2018; PRENNER et al., 2021). Dennoch ist es eine mögliche und ressourcenschonende Bewässerungsmethode. Ein Beispielprojekt für die

Bewässerung von einer Fassadengebundenen Begrünung mit Regenwasser ist das Aquarest Learning Center in Vancouver. Das Regenwasser wird auf dem Dach gesammelt, unterirdisch in Zisternen gespeichert und über eine Tropfbewässerung an die Pflanzen weitergegeben (KALTENBACH, 2008). Weiters wird über Simulationen von PEARLMUTTER et al. (2021) gezeigt, dass das anfallende Regenwasser auf Dächern über die Wasserkreislaufleistung einer Fassadenbegrünung in Lissabon um 44% recyclet werden könnte und in Städten wie Berlin oder Istanbul um 100%. Dabei sollten allerdings nicht die längeren Trockenperioden vergessen werden, die zu überbrücken gelten. Eine nachhaltige Methode zur Einsparung von Trinkwasser stellt dafür die Nutzung von Grauwasser dar, welches gefiltert wiederverwendet wird (PFOSER, 2016; BARRON et al., 2019; PEARLMUTTER et al., 2021). Genaueres zur Grauwasserbewässerung ist in Kapitel 3.4.4 zu lesen.

Die Bewässerung mit Regenwasser oder Grauwasser erfordert wie schon erwähnt die Installation von Wasserspeichertanks zum Auffangen des Niederschlags oder Wiederaufbereiten des Grauwassers. Dies ist mit höheren Kosten verbunden und stellt sich als Haupthindernis für den Einsatz dieser Systeme heraus. Hilfreich bei Überlegungen für den Einsatz von Regenwasser ist dabei der Blick auf die geografische Lage. So amortisiert sich dieses System in feuchteren Regionen weitaus schneller als in Gebieten mit mäßigen Niederschlägen. Außerdem sind die langfristigen Vorteile im Gesamten in Betracht zu ziehen, wobei sich die hohen Investitionskosten über einen längeren Zeitraum gesehen tragen, indem im gleichen Zug Wasser gespart wird (GHAFFARIANHOSEINI et al., 2016).

Die beschriebenen Fähigkeiten von Fassadenbegrünung mit Nutzwasser oder Regenwasser zu gedeihen und gleichzeitig der Beitrag zur Verzögerung von Abflusswasser bieten wesentliche Vorteile für das städtische Regenwassermanagement (RADIĆ et al., 2019).

3.4.2 Verdunstungsleistung von Fassadenbegrünung

Ein wesentlicher Faktor zur Abkühlung der Oberflächentemperatur von Gebäuden und der gleichzeitigen Minderung der UHI stellt die Verdunstungskälte von Pflanzen und Substrat am Gebäude dar (SPEAK et al., 2013). Gerade in städtischen Gebieten wird die durch Sonneneinstrahlung entstandene Wärme an Fassaden und anderen harten Oberflächen wieder abgestrahlt und erhöht die Gefahr für UHI. Pflanzen reduzieren diese Wärme durch deren Beschattung des Gebäudes, aber vor allem auch durch ihre Verdunstung (FBB, 2010). Die Verdunstungsleistung der Pflanzen bestimmt gleichzeitig wieviel Wasser für die Fassadenbegrünung verbraucht wird. Ein Großteil des Wassers wird über das Substrat verdunstet. Beeinflusst wird die Verdunstung dabei unter anderem von den Substrateigenschaften wie der Stärke des Aufbaus, der Flächengröße und der Menge an vorhandener Vegetation (FRANCO et al., 2012). Dabei geht je nach Wassersättigung des Substrats eine Kühle auf die Umgebung aus. Je schneller das Wasser abfließt, desto weniger Verdunstungskälte kann also entstehen. Daher wirkt sich eine Anstaubewässerung positiv auf die Verdunstungskälte aus (SCHMIDT, 2003). Diese wird demnach nicht alleine über Vegetationsbedeckung bestimmt, sondern vielmehr über die Feuchtigkeit in der Substratschicht (BEVILACQUA et al., 2015). Auch wenn die Rolle der Bepflanzung nicht unwesentlich ist. Dies zeigt der Vergleich zwischen der Evapotranspiration des Substrats ohne Bepflanzung und mit Bepflanzung. Dabei kam es bei der bepflanzten Fläche zu einem um 22% höheren Wasserverbrauch aufgrund der Transpiration der Pflanzen. Die Pflanzen tragen also nicht nur durch deren Verschattungskühlung zu einer Kühlung des Gebäudes bei, sondern auch durch deren Erzeugung von Verdunstungskälte (CONVERTINO et al., 2021; PFOSER, 2016). Auch äußere Faktoren wie die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftströmung bestimmen die Verdunstungsleistung. So zeigt der Versuch von FRANCO et al. (2012) einen höheren Wasserverbrauch bei einer stärkeren Luftströmung.

Der Vergleich der Kühlungswirkung über die Verdunstungskälte der oft verwendeten Kletterpflanzen *Hedera helix*, *Parthenocissus tricuspidata* und *Pileostegia viburnoides* zeigt, dass *Hedera* mit einer Kühlung von 7,2 °C innerhalb des Gebäudes und 5,7 °C außerhalb des Gebäudes den größten Kühleffekt erzielt (THOMSIT-IRELAND et al., 2020). Auch im Versuch von BARTFELDER et al. (1987) zeigte eine Wand, welche mit *Hedera helix* begrünt war, einen Unterschied von durchschnittlich 5,8 °C zu einer unbegrünten Fassade.

Um die thermische Wirkung von Pflanzen zu bestimmen ist der Leaf-Area-Index (LAI) ein wichtiger Parameter. Über den LAI kann die Blattmasse von Pflanzen berechnet werden, indem die einseitige Blattfläche (in m²) ins Verhältnis zu der Boden- oder Wandfläche gesetzt wird. Dabei entsteht eine dimensionslose Größe (DAHANAYAKE et al., 2017). Die Annahme, je größer der LAI einer Pflanze, desto höher die Temperaturreduktion, kann laut folgender Studie von CAMERON et al. (2014) nicht bestätigt werden. Entlang Backsteinmauern wurden die Arten *Stachys byzantina*, *Fuchsia* ‚Lady Boothby‘, *Jasminum officinale*, *Hedera helix*, *Lonicera* ‚Gold Flame‘ und *Prunus laurocerasus* in Trögen gepflanzt und evaluiert. Bei den Messungen wurde auch die Evapotranspiration berücksichtigt. Die Auswertungen zeigen, dass eine höhere Laubdicke zwar zu einer höheren Kühlung führen kann aber ein hoher LAI allein nicht ausreicht. *Stachys* hatte hier beispielsweise einen niedrigeren LAI als *Hedera*, war jedoch bei der Kühlung vergleichbar gut. Die Arten mit einem kleineren LAI wie *Fuchsia*, *Jasminum* und *Lonicera* erzeugten trotzdem eine höhere Kühlung als die Arten mit einem höherem LAI wie *Stachys*, *Prunus* und *Hedera*. Auch die Ergebnisse der Untersuchungen von BLANUSA et al. (2013) zeigten, dass bei einer ähnlichen Beschattung und ähnlichem LAI von *Sedum* und *Stachys* eine deutlich geringere Temperatur (- 11 ° C) bei *Stachys* gemessen wurde. CHAROENKIT et al. (2020) untersuchte zwölf Pflanzenarten in einem Living-Wall-System und fand heraus, dass bei einem Bedeckungsgrad von über 100% und einem LAI größer als 3 der Kühlungseffekt am höchsten war. Auch hier zeigte sich, dass nicht die Pflanzen mit dem größten LAI, sondern vorwiegend die eines mittelgroßen LAIs die beste Kühlungsperformance hatten (CHAROENKIT et al., 2020). Demzufolge hängt die Temperaturreduktion nicht allein von der Beschattung der Arten mit hohem LAI ab, sondern die Verdunstungskälte der einzelnen Pflanze spielt eine wesentliche Rolle.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Kühlwirkung einer Pflanze, ist die Wasserverfügbarkeit in den Blättern. Bei den meisten Pflanzen mit einem höheren Wasserverlust ist eine geringere Blatttemperatur zu messen. Weiters wirkt sich die Blattfarbe und – behaarung auf die Blatttemperatur der Pflanze aus. So konnte bei *Heuchera* und *Salvia* mit einer helleren Blattfarbe und mehr Blattbehaarung eine geringere Blatttemperatur gemessen werden als bei vergleichbaren Pflanzen ohne diese Eigenschaften (MONTEIRO et al., 2016).

Die Untersuchung von BLANUSA et al. (2013) zeigt deutliche Unterschiede in den Blatttemperaturen beim Vergleich der breitblättrigen Arten *Bergenia cordifolia* (große, wachsige Blätter), *Hedera hibernica* (Blätter mit dicker Epidermis, hoher Deckungsgrad) und *Stachys byzantina* (hell behaarte Blätter) mit verschiedenen *Sedum* Arten (kleine, sukkulente Blätter). Besonders bei sehr hohen Lufttemperaturen wies *Stachys* die niedrigste Blattoberflächentemperatur auf. Außerdem war sie die einzige Art, die bei Wassermangel nicht mit einer Erhöhung der Blatttemperatur reagierte, im Gegenteil zu *Sedum* und *Hedera*, welche eine Temperaturerhöhung von bis zu 4.5°C bei weniger Bewässerung aufzeigten. In diesem Experiment wurde außerdem die zusätzliche Oberflächenkühlung durch Pflanzen gerade im Vergleich mit dem unbepflanzten Substrat deutlich. Dabei unterschieden sich wiederum die Pflanzarten in ihrer Auswirkung. Während *Stachys* und *Sedum* bei guter Bewässerung eine geringere Temperatur aufwiesen als das blanke Substrat, war die Oberflächentemperatur bei *Bergenia* und *Hedera* fast gleich wie die des Substrats ohne Pflanze. Dies zeigt, dass die Blattgröße nicht allein ausreichend ist für eine größtmögliche Kühlung der Oberfläche, sondern auch die Bewässerung zu berücksichtigen ist. Denn bei trockenen Bedingungen, war bei allen Pflanzen eine geringere Temperatur zu messen (BLANUSA et al., 2013). Die Kühlungswirkung der

Stachys kann auch auf die Blattbehaarung zurückgeführt werden. Da die Blattfarbe durch die Behaarung sehr hell ist, wird die einfallende Strahlung reflektiert oder gebrochen und führt so zu einer niedrigeren direkten Wärmebelastung (GRAMMATIKOPOULOS et al., 1994). Auch die Blattdicke wirkt sich auf die Blatttemperatur aus. Demnach zeigt eine Untersuchung, dass die Sukkulente *Graptopetalum* mit ihrer deutlich höheren Blattmasse im Vergleich zu Pflanzen mit weniger massiven Blättern am längsten brauchte, um auf die Umgebungstemperatur zu reagieren, also zu kühlen oder aufgeheizt zu werden. Bestätigt wurde diese Beobachtung unter anderem auch bei der Sukkulente *Sempervivum* (ANSARI et al., 1959; MONTEIRO et al., 2016).

Den vorangegangenen Beobachtungen zufolge ist die Kühlwirkung von Fassadenbegrünungen also nicht nur abhängig von der Pflanzwahl, sondern auch von der Intensität der Begrünung, der Bewässerung und der städtebaulichen Struktur. Eine allgemeine Aussage zu der Verdunstungsleistung einer Fassadenbegrünung ist kaum möglich, da es keine einheitliche Herangehensweise zur Erfassung der mikroklimatischen Effekte gibt. Einer der Hauptauslöser für eine höhere Verdunstung lässt sich einer höheren Bewässerungsmenge zuschreiben. Wie in Kapitel 3.4.1 beschrieben, bedarf es jedoch alternativer Methoden zur ressourcenschonenden Bewässerung von Fassadenbegrünungen, wodurch die Bewässerung mit Grauwasser in den Fokus rückt. Die Möglichkeiten und bisherigen Forschungen zur Bewässerung einer Fassadenbegrünung werden im folgenden Kapitel aufgezeigt und daran anschließend die Bewässerungsmöglichkeiten mit Grauwasser.

3.4.3 Anforderungen an die Wasser- und Nährstoffversorgung

Da es sich bei einer Fassade um einen Extremstandort handelt, der verschiedenen Einflüssen wie Wind, Sonneneinstrahlung und starken Temperaturschwankungen ausgesetzt ist, muss die Bewässerung der Bepflanzung auch auf diese Einflüsse abgestimmt werden. So kann an südseitig exponierten Fassaden angesichts der hohen Einstrahlung doppelt so viel Wasser benötigt werden als an westlich orientierten Fassaden. Auch die Pflanzauswahl sollte sich an dem regional einwirkenden Klima orientieren (MA 22, 2019). Der Wasserverbrauch ist angesichts der zunehmenden Knappheit dieser Ressource ein wichtiger Aspekt, der bei wandgebundenen Fassadenbegrünungen berücksichtigt werden sollte. Abhängig ist der Wasserbedarf von dem verwendeten Begrünungssystem, den verwendeten Pflanzen, deren Verdunstungsprozesse und dem eingesetzten Substrat. Andere Faktoren, die den Wasserbedarf bestimmen sind unter anderem die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung und die Luftströmung, welche unterschiedlich auf die Fassade einwirken (FRANCO et al., 2012). Der Wasserverbrauch variiert je nach vorhandenen Bedingungen und muss situationsbedingt abgestimmt werden. Bei einem Regalsystem oder Pflanzsystem mit Kübeln ist in der Regel ein ganzjähriger Bewässerungszyklus von einigen Minuten, mehrmals täglich erforderlich (KÖHLER et al., 2012). Der Wasserbedarf ist bei diesem System niedriger, als bei einem flächigen System, bei dem die Pflanzen direkt in der Paneele wurzeln (PRENNER et al., 2021). Dies ergibt sich aus der horizontalen Bauweise, wodurch ein Wassereinstau möglich ist und somit mehr Feuchtigkeit im System gespeichert werden kann (PFOSER, 2016). Living Walls die als Hydrokultur fungieren, können einen Wasserbedarf von 20 Liter/Quadratmeter/Tag haben (CARPENTER, 2014). Während bei unbeschatteten Topfpflanzen mit einem Wasserbedarf von 5 Liter pro m² gerechnet werden kann. Es gilt aber auch auf die einzelnen Pflanzen und deren Bedarf zu achten. So benötigt beispielsweise eine Spinat Pflanze in Freilandkulturen während der gesamten Kulturdauer 200 l/m² während eine Petersilienpflanze 400-600 l/m² Wasser benötigt (HAUERT, 2021). Bei einer guten Wasserspeicherfähigkeit des Substrats kann eine Bewässerung einmal in der Woche ausreichend sein (CARPENTER, 2014).

Um Wasser zu sparen ist ein dezidiertes Bewässerungsablauf mit wenig Abfluss anzustreben. Außerdem kann das Überschusswasser in einem Tank am Fuß der Begrünungswand aufgefangen und

wieder zurückgeführt werden. Bei weniger hohen Temperaturen oder einem Substrat mit hoher Wasserspeicherkapazität kann eine Bewässerung einmal in der Woche ausreichen (CARPENTER, 2014).

Die Bewässerung von wandgebundenen Begrünungen erfolgt im Vergleich zu bodengebundenen Begrünungen fast ausschließlich über eine künstliche Bewässerung (KALTENBACH, 2008; PÉREZ-URRESTARAZU et al., 2015), da die Bewässerung der großen Flächen und die Ansprüche der Pflanzen händisch schwer zu bewerkstelligen wären (MA 22, 2019). Automatische Bewässerungsanlagen sind in jedem Falle gegen Frosteinwirkung zu schützen (FLL, 2018), um eine dauerhafte Funktionalität der Bewässerungsanlage gewährleisten zu können, da es sonst schnell zu Pflanzenausfällen bei fehlender Wasserzufuhr kommen kann. Empfohlen wird eine automatische Bewässerung mittels einer Zeitschaltuhr. Über Sensoren im Substrat und einem Datenlogger, kann das System gesteuert und gegebenenfalls nachjustiert werden. So kann witterungsangepasst und bedarfsorientiert bewässert und Überschusswasser vermieden werden (MA 22, 2019; PFOSER, 2016).

Im Allgemeinen kommen am häufigsten Niederdruck- und Hochdrucksysteme zur Bewässerung der Begrünungswände zum Einsatz. Im Außenraum wird meist ein Niederdrucksystem mit Tropfschläuchen verwendet, die an frostsichere Leitungen angeschlossen sind. Dieses System ist wartungsexensiver und fördert einen geringeren Wasserverbrauch. Über den Abstand des Tropfers kann je nach Bepflanzung eine punktuelle, lineare oder flächenförmige Befeuchtung der Begrünung stattfinden (MA 22, 2019). Außerdem kann bei dieser Form der Bewässerung ebenso Düngemittel beigefügt werden (HOLLANDS, 2017) oder manuell während der Pflege gedüngt werden. Ob eine Nährstoffversorgung notwendig ist, hängt von den Anforderungen der Vegetation, dem Nährstoffgehalt des Substrats und der Wasserqualität ab (FLL, 2018).

3.4.4 Einsatz von Grauwasser als ressourcenschonende Bewässerungsmöglichkeit

Die in Kapitel 3.2 beschriebenen Vorteile von Fassadenbegrünungen bedeuten nicht, dass es keine Nachteile bei dieser Begrünungsform gibt. Ein wesentliches Problem an wandgebundenen- und troggebundenen Begrünungssystemen ist der hohe Wasserverbrauch. Denn diese Systeme sind auf eine ganzjährige, automatisch gesteuerte Wasserversorgung angewiesen (PFOSER, 2016; BOANO et al., 2020). Da es einen enormen Druck auf die Trinkwassersysteme durch das Wachstum der Städte gibt, steigt die Notwendigkeit zur Verwendung alternativer Wasserquellen für die Fassadenbegrünungen (GHAITIDAK et al., 2013). Eine Alternative zur Trinkwasser Bewässerung stellt die Bewässerung mit Grauwasser dar (NOLDE, 2000).

Grauwasser stellt den Anteil des Haushaltsabwassers ohne Fäkalien und Urin, welcher in Handwaschbecken, Küchenspülen, Badewannen, Geschirrspülmaschinen oder Waschmaschinen anfällt, dar. Unterteilt wird Grauwasser in der englischsprachigen Literatur häufig in light Greywater und dark Greywater je nach beeinhalteten Schadstoffen. Zu „light Greywater“ zählt das anfallende Wasser aus Haushaltsduschen und Handwaschbecken (FOWDAR et al., 2017). Bei „dark Greywater“ ist von einer höheren Belastung auszugehen wie durch Waschmaschinen und Geschirrspüler oder auch Küchenspülbecken (BOANO et al., 2020).

Aufgrund der geringen Schadstoffkonzentration von Light Greywater hat dieses ein hohes Potenzial zur Wiederverwendung. Die Anforderungen dafür sind minimal (ERIKSSON et al., 2002). In den letzten Jahren wurden gerade NBS zur Wiederverwendung von Grauwasser hinsichtlich der ökologischen, wirtschaftlichen und energetischen Vorteile untersucht (BOANO et al., 2020). Ein Beispiel für eine naturbasierte Behandlungstechnologie sind Feuchtgebiete, die jedoch in städtischen Gebieten aufgrund ihres hohen Platzbedarfs nicht allgemein anwendbar sind (LI et al., 2009). Das Prinzip der Pflanzenkläranlage kann aber auch an der Fassade in Form von grünen Wänden modifiziert werden (BOANO et al., 2020). Unter verschiedenen Fassadenbegrünungssystemen konnte die

wandgebundene Begrünung mit Pflanztrögen eine hohe Menge an Grauwasser behandeln (BOANO et al., 2021; FOWDAR et al., 2017). Das gereinigte Grauwasser ist für nicht trinkbaren Anwendungen wie z.B. Toilettenspülungen gedacht (AVERY et al., 2007; BOANO et al., 2020) oder zur Bewässerung von NBS wie der wandgebundenen Fassadenbegrünung zur Reduktion des Trinkwasserverbrauchs (BOANO et al., 2020).

Die Effizienz der Grauwasserreinigung in Pflanzenkläranlagen ist abhängig von der Interaktion zwischen Pflanzen, Biofilmen, Substrat und den Nährstoffen des Grauwassers. Durch den Kontakt der Wurzeln und des Substrats mit den Biofilmen des Abwassers werden verschiedene Prozesse in Gang gesetzt, die den Abbau der Schadstoffe begünstigen (BOANO et al., 2020). Ein Großteil der Stoffe, die in Grauwasser vorkommen, werden durch physikalische Mechanismen wie Sedimentation und Filtration über das Substrat abgeschieden und weniger über die Bepflanzung (PRADHAN et al., 2019). Dennoch tragen die Pflanzen zur Grauwasserreinigung bei, indem sie eine wichtige Rolle bei der Stickstoff- und Phosphoraufnahme des Grauwassers spielen, (PRODANOVIC et al., 2019; PRADHAN et al., 2019) und die Ansiedlung von Mikrobakterien im Wurzelraum der Pflanzen gefördert wird, welche die organischen Stoffe abbauen. Außerdem verhindert das Wurzelwachstum die Verstopfungsanfälligkeit der Systeme (BALLY et al.).

Besonders Sumpfpflanzen oder auch Helophyten eignen sich für die Voraussetzungen bei einer Bewässerung mit Grauwasser. Diese werden häufig auch als biologischer Filter an Teichrändern eingesetzt (BALLY et al.). Auch Nutzpflanzen können mit Grauwasser bewässert werden, allerdings wird hier eine Tröpfchen-Bewässerung empfohlen, da somit das Wasser in der Nähe der Wurzeln angesammelt wird und nicht direkt mit der Blattstruktur in Berührung kommt (MZINI, 2013).

Inwiefern sich die Bewässerung mit Grauwasser auf das Pflanzenwachstum und die Entwicklung der Pflanzen auswirkt, zeigen folgende Studien. Im Versuch von WALKER et al. (2016) konnten bei sieben von 43 Pflanzenarten Ausfälle oder deutliche Schadsymptome wie Chlorosen bzw. Verbräunungen bei einer Bewässerung mit Grauwasser verzeichnet werden. Alle anderen Arten zeigten keine signifikanten Unterschiede zu der Bewässerung mit Trinkwasser (WALKER et al., 2016). Auch in der Untersuchung von OULDBOUKHITINE et al. (2014) kam es bei immergrünen Pflanzen zu Farbveränderungen und Blattkräuseln. In anderen Versuchen kam es zu keinen signifikanten Auswirkungen des Pflanzenwachstums oder der Blattfläche beim Vergleich einer Bewässerung mit Trinkwasser oder Grauwasser (CHUNG, 2020; ALFIYA et al., 2012; MZINI, 2013). Bei Nutzpflanzen wie Karotten, Spinat und Kopfsalat konnte ein negativer Einfluss durch eine Grauwasserbewässerung verzeichnet werden, während Zwiebel und Rote Beete kaum Unterschiede im Wachstum bei einer Trinkwasserbewässerung zeigten (GORGICH et al., 2020). Die Verwendung von Grauwasser aus privaten Haushalten für die Bewässerung von Hausgärten hat nicht nur den Vorteil des Einsparens von Trinkwasser, sondern auch ein größeres Pflanzenwachstum sowie ein höherer Ernteertrag bei gewissen Arten kann laut mehrerer Studien durch eine Grauwasserbewässerung erfolgen (MZINI, 2013; RUSAN et al., 2007). Durch eine Bewässerung mit Grauwasser wurde ein höherer Stickstoffgehalt bei den Pflanzen gemessen, was darauf hindeutet, dass das zugeführte Grauwasser den Boden mit Nährstoffen versorgt, die für das Pflanzenwachstum und die Bodenfruchtbarkeit erforderlich sind (RUSAN et al., 2007). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Verwendung von Grauwasser für die Bewässerung von Nutzpflanzen den Ertrag und die Nährstoffe der Pflanzen erhöhen kann, wenn die Pflanzenart und das Bewässerungswasser gut untersucht werden (GORGICH et al., 2020).

Hinsichtlich des Einflusses auf die Evapotranspiration von mit Grauwasser bewässerten Pflanzen zeigten Untersuchungen, dass die physiologischen Merkmale der Pflanzen, die mit sauberem Wasser bewässert wurden, stärker waren und zu einer höheren Verdunstung führten (OULDBOUKHITINE et al., 2014). Auch CAPUTO et al. (2019) belegten in ihrer Studie, dass die Eigenschaften des Wassers die

Evaporation der Pflanzen beeinflussten. Aber auch die Eigenschaften der Pflanzenarten beeinflussen die erzeugte Verdunstungskälte. So kann eine Pflanze mehr Verdunstungskälte erzeugen, wenn sie mehr Biomasse produziert hat. Bei dieser Feststellung ist allerdings der Zusammenhang mit der Bewässerungsmenge der Pflanze zu berücksichtigen (PEDESCOLL et al., 2013).

Insgesamt gesehen kann eine breite Palette an Pflanzenarten für die Grauwasserreinigung eingesetzt werden. Es sollten jedoch Studien über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden, um die Reinigungseffizienz über längeren Zeitraum zu überprüfen (FOWDAR et al., 2017). Eine kontinuierliche Bewässerung mit Grauwasser kann zu einer Anreicherung von Salzen und Schwermetallen führen, die die Toleranzgrenze der Pflanzen überschreitet. Deshalb ist eine ordnungsgemäße Bewirtschaftung der Grauwasserbewässerung mit regelmäßiger Überwachung der Bodenfruchtbarkeit und der Qualitätsparameter für eine langfristige Verwendung von Grauwasser unerlässlich (RUSAN et al., 2007).

3.5 Pflanzenwahl für wandgebundene Begrünungssysteme

Bei der Pflanzenwahl für eine wandgebundene Begrünung spielen verschiedene Faktoren in die Auswahl mit ein. Zunächst sind das gewünschte Erscheinungsbild und optische Anforderungen an die Pflanzen wie wintergrün oder Herbstfärbung zu klären. Außerdem sind gebäudespezifische Bedingungen wie Lichtverhältnisse und Exposition zu berücksichtigen, was die Auswahl geeigneter Pflanzenarten beschränkt (PFOSER, 2016; KÖHLER et al., 2012). Es handelt sich bei wandgebundenen Begrünungen um einen Extremstandort, da der Wuchsraum im Substrat und auf der Oberfläche begrenzt ist und eine erhöhte Frosteinwirkung zu erwarten ist (FLL, 2018). Daher sollten Pflanzenarten gewählt werden die mit diesen Bedingungen gut zurechtkommen (KÖHLER et al., 2012) und eine gewisse Toleranz gegenüber wechselnden Bedingungen aufweisen (MERAL et al., 2018). Auch der Wasser- und Nährstoffbedarf der Pflanzenarten sowie das Konkurrenzverhalten zwischen den Pflanzen sind zu berücksichtigen (MA 22, 2019). Trotz der oben beschriebenen Voraussetzungen haben sich einige Pflanzenarten für wandgebundene Systeme bewährt. Darunter befinden sich Stauden, Gräser, Farne, Zwiebel-/Knollengewächse, Kleingehölze und Kletterpflanzen, die unter Berücksichtigung ihres Anspruchs an Wurzelraum und Winterhärte gut in diesen Systemen zurechtkommen (PFOSER, 2016; FLL, 2018). Bei der Verwendung nicht heimischer Arten sollte darauf geachtet werden, dass es sich dabei um nicht invasive Arten handelt (MERAL et al., 2018).

An trockenen Standorten finden sich Pflanzenarten wie Sukkulenten gut zurecht, da sie die Fähigkeit besitzen in den verdickten Sprossen und Blättern Wasser zu speichern und zudem durch ihre verdickte Außenhaut gegen starke Sonneneinstrahlung geschützt sind. Insbesondere die Sukkulente *Sedum* wird häufig für die Fassadenbegrünung eingesetzt (MA 22, 2019; KÖHLER et al., 2012). Ebenso gut eignen sich Zwiebelgewächse wie *Allium*, dessen Triebe sich gut an die senkrechte Ausrichtung anpassen (KÖHLER et al., 2012). Aber auch Gräser werden gerne eingesetzt, da sie sich gut an den sowohl trockenen als auch nassen Standort anpassen können. Demnach werden gerne Schwingel (*Festuca*), Seggen (*Carex*) und Hainsimsen (*Luzula*) eingesetzt (MA 22, 2019). Generell können bei der Pflanzenwahl für einen trockenen Standort die Lebensbereiche Freifläche (Fr_1), Steinanlagen (St_1) und Beet (B_1) nach HANSEN et al. (2016) hilfreich sein, die in Kapitel 4.3.2 aufgelistet sind.

Für Begrünungen mit frischen Standortbedingungen eignen sich überwiegend Stauden mit einem mittleren Wasseranspruch, die in den Lebensbereichen Gehölzrand (GR_2) oder in Steinanlagen (St_2) vorkommen. Dazu zählen beispielsweise Arten wie *Geranium* sp., *Bergenia* sp. oder *Heuchera* sp. (MA 22, 2019; FLL, 2018). Aber auch Arten wie *Stachys byzantina* können in einem wandgebundenen System eingesetzt werden (FLL, 2018). Zu den geeigneten Gräsern für diese Bedingungen zählen z.B. *Luzula nivea* oder auch *Pennisetum alopecuroides* (MA 22, 2019; FLL, 2018).

Für einen jahreszeitlichen Wandel sorgen im Frühling Arten wie *Carex*, *Viola*, *Arabis* und *Pachysandra* für einen Blühaspekt. Im späteren Frühling kommen Lauch Arten (*Allium*) und Zwiebelgewächse wie Blausterne (*Scilla*) und Traubenhyaizinten (*Muscari*) zur Geltung. Für den Blühaspekt im Sommer sorgen Arten wie *Heuchera*, *Hosta*, *Geranium* (KÖHLER et al., 2012) und *Iris sibirica* (BUKEA, 2020) und im Spätsommer verschiedene Asten. Im Winter sind besonders strukturbildende immergrüne Arten von hoher Wichtigkeit. Dazu zählen beispielsweise *Ilex crenata* und *Buxus sempervirens* (KÖHLER et al., 2012).

Bei geeigneten Nutzpflanzen konnten sich laut Literatur bisher Kräuter wie Salbei, Rosmarin, Thymian (BUKEA, 2020) und Schnittlauch bewähren (KÖHLER et al., 2012), aber auch Pflanzen mit essbaren Früchten wie *Fragaria vesca* in Sorten (KÖHLER et al., 2012) oder *Rubus henryi* und *Actinidia chinensis* (BUKEA, 2020). Weitere Untersuchungen zu Nutzpflanzen werden in nachfolgendem Kapitel 3.5 beschrieben.

Bei der Pflanzenwahl für eine Grauwasserbehandlung in sogenannten Pflanzenkläranlagen oder bei einer Verwendung von Grauwasser zur Bewässerung von Fassadenbegrünungen sollten mehrere Kriterien berücksichtigt werden. So sollten Arten gewählt werden deren Wurzeln anpassungsfähig sind und Überschwemmungen standhalten können. Außerdem sollte eine gewisse Toleranz gegenüber Chemikalien wie z.B. Tensiden vorhanden sein (CAPUTO et al., 2019). Demnach werden gerne Helophyten eingesetzt, da sie die Wasserqualität positiv beeinflussen können indem sie die Voraussetzungen zum besseren Abbau von Bakterien schaffen (REINEKE et al., 2020). Für einen blühenden Aspekt können *Caltha palustris* sowie die heimische Wildstaude *Iris pseudacorus*, die in Sumpfböden und an Gewässerrändern gedeiht, sorgen. Beide wurden bereits in Pflanzenkläranlagen eingesetzt. Auch Binsenarten wie *Juncus effusus* können sich für den Einsatz in diesen Bepflanzungssystemen eignen (AVERY et al., 2007; ZRAUNIG et al., 2019). Gleichermassen werden *Typha* Arten in Pflanzenkläranlagen eingesetzt (BALLY et al.; PRADHAN et al., 2019). Aber auch Farne wie *Thelypteris palustris* werden ebenso in anderen Untersuchungen als Reinigungspflanze eingesetzt (STROPPIA et al., 2020). Weiters können Seggen-Arten wie *Carex* in Grauwasserversuchen eingesetzt werden (FOWDAR et al., 2017; PRODANOVIC et al., 2020; PRODANOVIC et al., 2019).

3.6 Kultivierung von Nutzpflanzen in wandgebundener Fassadenbegrünung

Die Pflanzwahl für vertikale Begrünungselemente orientiert sich häufig an der ästhetischen und kühlenden Funktion der Pflanzen. Dabei rückt der Einsatz von Nutzpflanzen oft in den Hintergrund. Diese können jedoch einen wichtigen Beitrag zur Herstellung von Nahrung leisten. Aufgrund der zunehmenden Knappheit von Nährstoffen, Wasser, fruchtbarem Boden und Energie in vielen Ländern werden immer häufiger Überlegungen zu einer lokalen Verwertungskette in Städten getroffen. Urbane Landwirtschaft kann hier einen Beitrag leisten, um Kosten zu sparen und Emissionen durch lange Transportwege zu reduzieren. Unter Berücksichtigung der begrenzten städtischen Freiflächen, rückt dabei die Form des gebäudeintegrierten Gartenbaus in den Fokus (DIERICH et al., 2017). Auch im privaten Bereich ist der Anbau von Nutzpflanzen momentan stark im Kommen. Der immer größer werdende Trend des Urban Gardenings führt zu einer großen Nachfrage nach Gartenflächen in der Stadt. Durch die fehlenden verfügbaren Flächen werden Straßenränder, Brachflächen und Randstreifen von Flüssen zu Gartenflächen umfunktioniert. Das Interesse für eine nutzbare Gebäudebegrünung ist dementsprechend groß. Doch der Anbau von Nutzpflanzen bedeutet auch einen höheren Wartungsbedarf als herkömmliche Fassadenbegrünungen. Einzelne Pflanzstellen können mehrmals pro Jahr bepflanzt und abgeerntet werden. Ein erhebliches Hindernis für den privaten Gebrauch von Nutzpflanzen stellt die Zugänglichkeit an der Fassade dar. Außerhalb der Gebäudeteile welche von Loggien, Balkonen und Fenstern erreichbar sind, kann das großflächige Potenzial von Fassaden kaum genutzt werden. Bei einem Wunsch nach einer vollflächigen Begrünung

ist demnach teilflächig auf eine konventionelle Fassadenbegrünung zurückzugreifen (PONWEISER, 2021). Außerdem sind häufige Kritikpunkte der Lebensmittelproduktion an Gebäuden die hohen Installations- und Erhaltungskosten. Dabei stellt sich die Frage, ob der resultierende Ernteertrag, die anderen Kosten ausbalanciert. Hierfür sind weitere Forschungen im Hinblick auf Design und Anwendbarkeit erforderlich, um die vertikale Lebensmittelproduktion kostengünstiger und praktikabler zu gestalten (NAGLE et al., 2017).

Dennoch existieren bereits gut funktionierende Beispiele, bei denen die Produktivität der Nutzpflanzen an der Fassade, die des konventionellen Anbaus in der Freifläche übersteigen. An einem getesteten Living-Wall System der Pilotstudie von NAGLE et al. (2017) konnten Pflanzen wie Kohl oder Basilikum mit 12 kg/m^2 deutlich höhere Erträge erzielen als die durchschnittliche Produktionsrate einer kleinbäuerlichen Landwirtschaft mit $2,44 \text{ kg/m}^2$ (RABIN et al., 2012). Auch andere Pflanzen wie Salat und Tomaten produzierten einen größeren Ertrag. Nur ein paar wenige Arten wie Schnittlauch und Dill lagen unter dem durchschnittlichen Ertragswert (NAGLE et al., 2017). Weiters zeigt der Versuch von BERGER (2022), dass der Bedarf an Tomaten, Paprika, Schnittlauch und Rosmarin in einem troggebundenen System mit herkömmlichen Kunststofftrögen für einen Zweipersonenhaushalt ausreichend sein kann. Bestätigt wird dies von STAV (2016) indem ein Living-Wall System bis zu 1 kg Ernte pro Monat auf einen Quadratmeter vertikale Fläche erzeugen konnte. Bei den Untersuchungen zum Ernteertrag von Nutzpflanzen an der Fassade sind jedoch wesentliche Faktoren wie das Pflanzenalter (NADJAFI et al., 2014) sowie die Zugabe von Düngemitteln (OMIDBAIGI et al., 2000) große Einflussfaktoren für den Ertrag und deshalb zu berücksichtigen.

Wichtige Gestaltungsparameter für eine Fassadenbegrünung zur Lebensmittelproduktion sind ein ausreichendes Wurzelvolumen, die Auswahl von geeigneten Pflanzenarten, die Wahl des Substrats und eine gute Erreichbarkeit für die Ernte (STAV, 2016). Eine durchschnittliche Produktionsrate von Nutzpflanzen in wandgebundenen Begrünungssystemen lässt sich schwer eruieren und bedarf weiterer Forschung. Denn auch die Bewässerungsmenge spielt eine wesentliche Rolle für den Ernteertrag. Um im Freiland einen Kilo Trockensubstanz generieren zu können, benötigen Pflanzen rund $400\text{-}800$ Liter Wasser. Im Mittel bedeutet das einen Verbrauch von $3\text{-}3,5$ Liter pro m^2 und Tag (HAUERT, 2021). Aufgrund der exponierten Standortbedingungen an der Fassade ist von einem Bedarf entsprechend einer mehrmals täglichen Bewässerung auszugehen (MA 22, 2019), da wassergestresste Pflanzen weniger Trockenmasse produzieren (BUCKLEY, 2019). Um dennoch den Verbrauch von Trinkwasser zu mindern, ist eine mögliche Bewässerungsmethode zur Kultivierung von Nutzpflanzen die Bewässerung mit Grauwasser. Untersuchungen zeigten, dass sich diese positiv auf das Wachstum der Pflanzen auswirken kann (ALFIYA et al., 2012; MZINI, 2013). Zu diesem Thema sind jedoch weitreichendere Forschungen über einen längeren Zeitraum notwendig, da sich in Versuchen mit einer langfristigen Wasserzufuhr von Grauwasser zeigte, dass sich die physiologischen Merkmale der Pflanzen änderten (CAPUTO et al., 2019; OULDBOUKHITINE et al., 2014).

3.7 Zusammenfassung der Theoretischen Grundlagen

Im Folgenden werden die Keyfindings aus der Literaturrecherche zum Erreichen der Ziele aus Abbildung 1 (Aufbau der Arbeit) aufgelistet.

Zu Pflanzwahl für troggebundene Fassadenbegrünungen

- Bei troggebundenen Fassadenbegrünungen handelt es sich um einen Extremstandort, auf den die Pflanzwahl abgestimmt werden muss. Die Pflanzenarten sollten mit wechselnden Bedingungen, Konkurrenzdruck, geringem Wurzelraum und einer niedrigeren Wasserzufuhr zurechtkommen.

- Um die Palette an geeigneten Pflanzenarten für die jeweiligen Begrünungssysteme erweitern und bekräftigen zu können, sowie eine Auswahl an hitze- und trockenheitsresistenten Pflanzen in Anbetracht des Klimawandels zu treffen, sind weitere Forschungen notwendig.

Zu Bewässerung von Fassadenbegrünungen

- Eine ausreichende Bewässerung ist für den Erfolg von Fassadenbegrünungen ausschlaggebend, da sich Hitzestress auf die Entwicklung der Pflanzen und deren Kühlungsfunktion auswirkt. Wassermenge und Bewässerungsart sind abhängig von Fassade und Exposition. Empfohlen für eine troggebundene Fassadenbegrünung wird eine automatische Bewässerungsanlage mittels Zeitschaltuhr und Sensoren im Substrat.
- Es besteht ein hohes Potenzial zur Wiederverwendung von Grauwasser (speziell Light Greywater) als NBS zur Bewässerung von wandgebundenen Begrünungssystemen. Dabei kann sich die Bewässerung mit GW positiv auf die Pflanzenarten auswirken, wenn die Bodenfruchtbarkeit und die Grauwasserqualität regelmäßig und über eine längere Expositionszeit hinaus untersucht werden.

Zu Kultivierung von Nutzpflanzen

- Beim Einsatz von Nutzpflanzen sind wichtige Kriterien wie ein ausreichendes Wurzelvolumen, die Auswahl des Substrats, eine gute Erreichbarkeit zur Ernte, sowie eine ausreichende Bewässerung zu berücksichtigen. Auch Grauwasser kann für die Bewässerung von Nutzpflanzen eingesetzt werden.

Zu Verdunstungsleistung

- Die Verdunstungsleistung einer wandgebundenen Fassadenbegrünung ist unter anderem abhängig von der Pflanzwahl, Intensität der Begrünung, Bewässerungsmenge und städtebaulichen Struktur. Dabei lässt sich der Hauptfaktor für eine höhere Verdunstung einer höheren Bewässerungsmenge zuschreiben.

4 Feldversuch - Material und Methode

Um die Erkenntnisse aus der vorangegangenen Literaturrecherche und die Forschungsfragen aus Kapitel 2 beantworten zu können, wurde an einem Feldversuch in Form von einer troggebundenen Fassadenbegrünung über zwei Vegetationsperioden hinweg geforscht. Das erste Forschungsjahr wurde im Zuge der Masterarbeit „Pflanzen für Living-Wall-Systeme mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien, sowie Grauwasserbewässerung und -reinigung“ von Maria Antoni 2021 betreut. Anhand deren ausführlicher Literaturrecherche hinsichtlich geeigneter Pflanzenarten für eine troggebundene Fassadenbegrünung konnte eine Pflanzauswahl für die vier Versuchswände des Feldversuchs getroffen werden. Im zweiten Versuchsjahr galt es nun die ausgewählten Pflanzenarten in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien weiterhin zu beobachten und zu bewerten, um anschließend eine Aussage treffen zu können, welche Pflanzenarten sich für die jeweiligen Bewässerungsszenarien eignen (siehe Kapitel 5.2) und inwiefern sich Nutzpflanzen bewährt haben. Um die Pflanzenarten gleichermaßen bewerten und mit dem Vorjahr vergleichen zu können wurde derselbe Boniturbogen aus dem ersten Versuchsjahr verwendet. Mit Hilfe dessen konnte über eine monatliche Bonitur der Gesamteindruck der Pflanzen erhoben werden (siehe Kapitel 4.4.1). Außerdem wurde in den Monaten April, Juli und August das kubische Volumen gemessen (siehe Kapitel 4.4.2) und am Ende der Vegetationsperiode die frische- und trockene Biomasse (siehe Kapitel 4.5.3) jeder Pflanze erhoben. Weiters wurde der Ernteertrag der Nutzpflanzen aufgenommen (siehe Kapitel 4.5.4) und die Blattfläche der Arten in den Schmuckwänden erhoben (siehe Kapitel 4.5.5). Da es im ersten Versuchsjahr zu Ausfällen kam und manche Arten nach der Winterperiode nicht mehr austrieben, wurden Ersatzpflanzungen vorgenommen (siehe Kapitel 3.3.3). Durch die anschließende Auswertung konnte mithilfe der Analysemethoden (siehe Kapitel 4.5) die Eignung der Pflanzen für die jeweiligen Bedingungen beurteilt werden und anschließend die Forschungsfragen beantwortet werden.

4.1 Beschreibung und Verortung des Feldversuchs

Der Feldversuch befindet sich im Innenhof der Universität für Bodenkultur Wien in der Muthgasse 18, im 19. Bezirk, Wien Heiligenstadt. Dort wurde an süd - bis südwestlich ausgerichteter Fassade ein troggebundenes Fassadenbegrünungssystem errichtet, das unterschiedlichen Bewässerungsmethoden ausgesetzt war. Bewässert wurde aus dem direkt angrenzenden Technikum des Instituts für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz. Bepflanzt wurden die Wände zum Start der Vegetationsperiode 2020. Um ein aussagekräftigeres Ergebnis zu erzielen, hatte der Versuch insgesamt eine Laufzeit von zwei Jahren.



Abbildung 2: Abbildung der Versuchswände Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

4.2 Troggebundene Fassadenbegrünung

Die troggebundene Fassadenbegrünung besteht aus einem fassadengebundenen teilflächigen Vegetationsträger dessen Begrünungselemente (Tröge) an eine Unterkonstruktion angebracht werden. Über diese Unterkonstruktion sind vier Einzelwände (Wand 1-4) mit einem Abstand von ≥ 50 cm an der Fassade befestigt. Jede Einzelwand besteht aus zehn Wannen (siehe Abbildung 3).

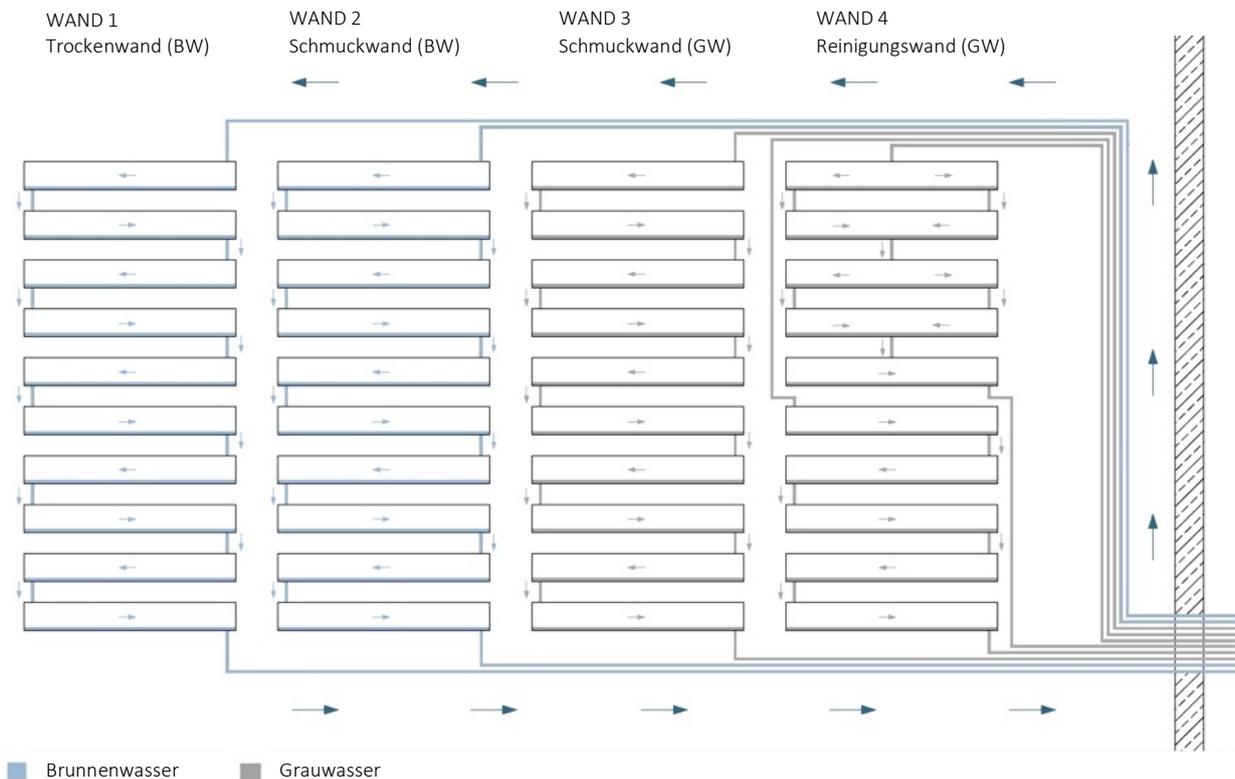


Abbildung 3: Ansicht der troggebundenen Fassadenbegrünung UVG 2.0 (Quelle: ANTONI 2021)

4.2.1 Pflanztröge

Die Pflanztröge aus Aluminium haben ein trapezartiges Profil und Abmessungen von 150 cm Breite, 20 cm Höhe, 20 cm Tiefe an der Oberkante und 12 cm Tiefe an der Unterkante. Dies entspricht einer bepflanzbaren Oberfläche von 0,3 m² pro Wanne. Sie sind mit einem Abstand von 15 cm zueinander an der Unterkonstruktion montiert. Die vorgesehene Einstauhöhe beträgt 2 cm. Innenseitig wurden die Tröge mit Vlies ausgekleidet, um die Aufheizung der Wannen im Sommer zu reduzieren und im Winter vor Frost zu schützen sowie für eine Belüftung zu sorgen.

4.2.2 Substrat

Die Zusammensetzung des anorganischen Substrats bestand aus Perlit 0/6 mm, Zeolith 2/6 mm, gebrochener Blähton 0/8 mm, sowie ungebrochener Blähton 8/16 mm und Quarzsand 0,02/2 mm (PANZENBÖCK, 2021). Dabei wurde bei der Auswahl zum einen auf das Gewicht geachtet, um die statischen Anforderungen der Konstruktion zu berücksichtigen und zum anderen waren eine ausreichend hydraulische Leitfähigkeit und Strukturstabilität wesentliche Voraussetzungen. Weitere berücksichtigte Faktoren waren die ökologische Verträglichkeit der Materialien, ausreichend Platz und eine gute Durchlüftung des Wurzelraumes (BRUNEDER, 2020).

4.2.3 Bewässerung

Die Bewässerungssysteme lassen sich in horizontale - und teil - vertikale Durchflusssysteme unterteilen. Das horizontale Durchflusssystem (in Wand 1-3) besaß den Zufluss auf einer Seite in der obersten Wanne und verlief von dort aus kaskadenförmig (siehe Abb. 1) durch die Wannen. Bis zu einer Anstauhöhe von 2 cm entstand somit eine horizontale Verteilung des Wassers, worauf die Pflanzen über ihre Wurzeln und die Kapillarfähigkeit des Substrats Zugriff hatten. Dieses System kam in Wand 4 nur in den unteren fünf Wannen zur Anwendung. In den oberen fünf Wannen wurde das teil - vertikale Durchflusssystem eingesetzt, bei welchem der Zufluss oder Abfluss abwechselnd, entweder an beiden Enden der Wannen oder in der Wannenmitte stattfand (siehe Abb. 4).

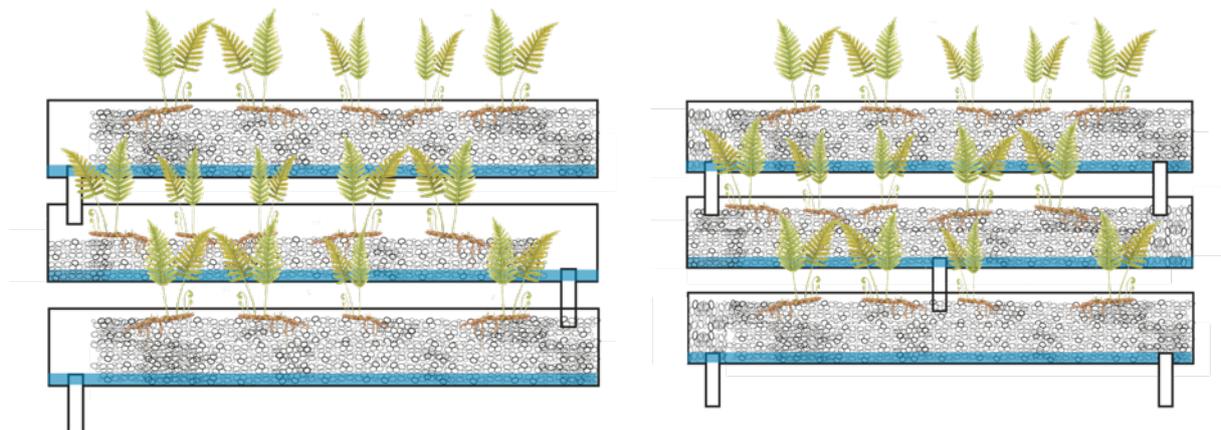


Abbildung 4: horizontales Durchflutungssystem (links), teil-vertikales Durchflutungssystem (rechts) (Quelle: Zluwa, 2022)

Der Zufluss des Brunnenwassers für Wand 1 und 2 erfolgte über einen Wasseranschluss im Inneren des Technikums der Universität für Bodenkultur. Über Pumpen wurde das Wasser in Zuflussleitungen aus einem Verbindungsrohrsystem entlang der Wand bis zur obersten Wanne geleitet. Die Beschickung von Wand 3 und 4 erfolgte über einen Grauwassertank, der sich im Wassertechnikum der BOKU befand. Darin befand sich eine Tauchpumpe, welche über ein Pumpensteuergerät und eine Zeitschaltuhr gesteuert wurde und über das Verbindungsrohrsystem an die Wände befördert wurde (PANZENBÖCK, 2021).

Zu Herstellung des synthetischen Grauwassers, wurde der Grauwassertank wöchentlich mit Produkten des täglichen Bedarfs gemischt. Mit einer Küchenwaage wurden konventionelle Reinigungsmittel wie Cremeseife, Shampoo, Duschgel, Badreiniger, Waschmittel, Weichspüler, Geschirrspülmittel, Geschirrspültabs, Regeneriersalz, Zahnpasta und Ammoniumchlorid, (zur Simulation des in der Dusche anfallenden Urins) abgewogen und anschließend in den GW-Tank geleert. Dieser wurde auf 1140 L mit Leitungswasser aufgefüllt. Ein Rührwerk im Tank sorgte für eine gute Durchmischung und verhinderte Absetzungen (RIBEIRO, 2021).

4.3 Versuchswände

Für den Versuch wurden vier Einzelwände installiert, die verschiedene Funktionen erfüllen sollen und vier unterschiedlichen Bewässerungsszenarien ausgesetzt sind.

Bei Wand 1 handelt es sich um die Trockenwand. Wand 2 und 3 sind sogenannte Schmuckwände und Wand 4 wird auch als Reinigungswand bezeichnet. Genauer werden die Versuchswände sowie deren Bewässerungsszenarien und Bepflanzung in den folgenden Kapiteln beschrieben.

4.3.1 Bewässerungsszenarien

Die Bewässerung der troggeordneten Fassadenbegrünungswände lässt sich in vier unterschiedliche Szenarien unterteilen, die einen hohen Einfluss auf die Versuchswände und dessen Bepflanzung haben und sich deutlich unterscheiden.

Bewässerungsszenario A

Szenario A wurde in der Trockenwand (Wand 1) angewendet und inszeniert eine troggeordnete Fassadenbegrünung mit geringem Wasserverbrauch. In den Monaten April und Mai wurde Wand 1 einmal die Woche mit 25 L Brunnenwasser bzw. Leitungswasser bewässert. In den Sommermonaten Juni bis August musste diese Einstellung aufgrund der höheren Temperaturen nachjustiert werden. Im Juni bekam die Wand zweimal die Woche 30 L pro Bewässerungsdurchgang und ab Juli wurde sie dreimal die Woche bewässert. In den warmen Monaten verbrauchte die Wand demnach 90L pro Woche und in den kälteren Monaten nur 25 L die Woche.

Bewässerungsszenario B und C

Für Wand 2 und 3, welche auch Schmuckwände genannt werden, kam eine tägliche Bewässerung mit Brunnenwasser (Wand 2) oder Grauwasser (Wand 3) zum Einsatz. Die Bewässerungszeit wurde hier auf 8 Minuten eingestellt, was einer Zuflussmenge von 25 Liter pro Tag bedeutet. Um einen Vergleich zwischen Szenario B und Szenario C ziehen zu können, wurden beide troggeordneten Fassadenbegrünungswände ident bepflanzt und mit der gleichen Wassermenge bewässert. Der Wasserverbrauch lässt sich auf 175 L pro Woche hochrechnen.

Bewässerungsszenario D

Dieses Szenario stellt eine troggeordnete Fassadenbegrünung mit hohem Wasserverbrauch dar und imitiert gleichzeitig die Bedingungen einer Pflanzenkläranlage. Es kommt bei Wand 4, der Reinigungswand zum Einsatz und bedeutet eine stündliche Bewässerung mit Grauwasser von insgesamt 90 Liter pro Tag. In einer Woche bedeutet dies einen Wasserverbrauch von 1260 Litern.

4.3.2 Pflanzwahl und Standortbedingung

Die Auswahl der Pflanzen basiert auf der Masterarbeit von Maria Antoni (2021), die den Versuch in der ersten Vegetationsperiode betreute sowie der Literaturrecherche aus Kapitel 3.4. Bei der Auswahl wurde auf den Wasserbedarf, den Lichtanspruch und die Blüh-, Laub-, und Fruchtaspekte geachtet.

Außerdem wurden für eine standortgerechte Bepflanzung die Lebensbereiche von HANSEN et al. (2016) herangezogen. Nachfolgende Tabelle zeigt die unterschiedlichen Lebensbereiche, die zur Einteilung der Pflanzen nach ihren Wuchsorten und Wuchsbedingungen dient.

Tabelle 1: Lebensbereiche der Stauden (Quelle: Eigene Erstellung 2021, nach HANSEN et al. 2016)

Lebensbereiche			
G	Gehölz	SF	Stein-Fugen
GR	Gehölz-Rand	MK	Mauer-Kronen
Fr	Freifläche mit Wildstaudencharakter	A	Alpinum
B	Beet	WR	Wasser-Rand
SH	Freifläche mit Steppen-Heide-Charakter	W	Wasserpflanzen
H	Freifläche mit Heide-Charakter		
St	Steinanlage		
FS	Fels-Steppe		
M	Matten		

Feuchtezahlen	
1	trockener Boden
2	frischer Bode
3	feuchter Boden
4	nasser Boden (Sumpf)
5	flaches Wasser
6	Schwimblattpflanzen (verwurzelt)
7	Untergetauchte (submerse) Pflanzen
8	Schwimmpflanzen

Lichtverhältnisse	
so	sonnig
abs	absonnig
hs	halbschattig
sch	schattig

4.3.2.1 Indikatorpflanzen

Indikatorpflanzen oder auch Zeigerpflanzen sind Arten, die nur geringe Veränderungen ihrer Lebensbedingungen tolerieren. Dadurch eignen sie sich gut als Zeigerart der vorhandenen Bedingungen (BOHNER, 2015). In den Versuchswänden kommen drei unterschiedliche Standortbedingungen hinsichtlich der Bodenfeuchte vor. Somit wurde für jeden Standort eine Indikatorart ausgewählt, die mit dem jeweiligen Bewässerungsszenario zurechtkommen sollte und damit eine Zeigerpflanze für einen trockenen, frischen oder feuchten Standort darstellt.

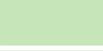
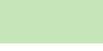
Für die Trockenwand wurde *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘ gewählt, da diese Art mit sehr trockenen Bedingungen zurechtkommt und aus diesem Grund häufig für Dachbegrünungen oder Fassadenbegrünungen eingesetzt wird (MANSO et al., 2015).

Für die Schmuckwände wurde *Geranium wallichianum* ‚Rozanne‘ gewählt, da diese Art der ausgefallenen Indikatorart aus dem ersten Versuchsjahr *Geranium wallichianum* ‚Magical all Summer Blue‘ gleicht und mit ihrer langen Blütezeit für die Schmuckwände überzeugte. Außerdem eignet sich diese Art für einen trockenen bis frischen Standort (PRASKAC, 2022).

Für die Reinigungswand (Wand 4) wurde die Indikatorart *Iris pseudacorus* eingesetzt, da sich diese Art für einen feuchten Standort gut eignet (PRASKAC, 2022). Die heimische Wildstaude wächst in Sumpfböden oder an Gewässerrändern und wird auch in Pflanzenkläranlagen verwendet (ANTONI,

2021; ZRAUNIG et al., 2019). Dementsprechend bietet Wand 4 mit einer hohen Wasserzufuhr an Grauwasser den passenden feuchten Standort für diese Art.

Tabelle 2: Pflanzwahl Indikatorarten (Quelle: eigene Erstellung 2022)

Botanischer Name	Wasserbedarf	Lichtbedarf	Lebensbereich	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe
<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	gering	so	F1/St/FS/B1-2	VIII-IX		
<i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne'	mittel	so	B2	VI-X		
<i>Iris pseudacorus</i>	hoch	so	WR4-5/Fr2-3	VI-VII		

4.3.2.2 Wand 1 – Trockenwand

Die Trockenwand (Wand 1) welche mit einer geringen Menge an Brunnenwasser bewässert wurde, stellt einen trockenen Standort dar, für welchen trockenheitsresistente Arten ausgewählt wurden sowie bisherig bewährte Fassadenbegrünungspflanzen aus der Literaturrecherche.

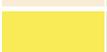
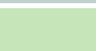
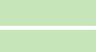
Die Bepflanzung der Trockenwand fand am Anfang der Vegetationsperiode 2020 statt. Ausgewählt und eingesetzt wurden die Pflanzen im Zuge der Masterarbeit von Maria Antoni 2020/1. Da es sich bei der Trockenwand um einen trockenen Standort handelte, kamen hauptsächlich Arten aus den Lebensbereichen Fr1, St1, FS1 nach HANSEN et al. (2016) zum Einsatz. So befanden sich Arten wie die *Achillea millefolium* 'Summer Pastels' oder *Ceratostigma plumbaginoides*, welche sich für trockene Standorte bewährt haben, (PFOSER, 2016; MA 22, 2019) in der Wand.

Für einen variierenden Blühaspekt sollten Arten wie *Iris x barbata-nana* 'Path of Gold' oder *Centranthus ruber* 'Coccineus' sorgen, die ebenfalls einen trockenen Standort tolerieren (HAMETER, 2022). Weiters waren Nutzpflanzen mit wenig Wasserbedarf wie *Thymus vulgaris* und *Satureja montana* 'Citriodora' (HAMETER, 2022; PFOSER, 2016) und trockenheitsresistente Gräser wie *Festuca cinerea* 'Silberreihel', die für wandgebundene Systeme empfohlen werden, (FLL, 2018) in der Wand. Aus einem Vorversuch befanden sich auch Gehölze wie *Daphne mezereum* und *Amelanchier laevis* in der obersten Wanne.

Durch die ausgewählten Pflanzenarten wurde überprüft, welche Arten sich für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit geringer Wasserzufuhr eignen und wie hoch der Ernteertrag in einem System wie diesem ausfällt.

Der nachfolgende Aspektkalender (siehe Tabelle 3) bietet einen Überblick über die eingesetzten Arten in der Trockenwand.

Tabelle 3: Pflanzwahl für die Trockenwand (Wand 1) (Quelle: eigene Erstellung 2022)

Botanischer Name	Wasserbedarf	Lichtbedarf	Lebensbereich	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe
<i>Achillea millefolium</i> 'Summer Pastels'	gering-mittel	so	B2/Fr1	VI-VIII		
<i>Asphodeline lutea</i>	gering	so	Fr1/St1	V-VI		
<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	gering-mittel	hs	GR/Fr1-2	VI-VII		
<i>Bergenia cordifolia</i>	gering-mittel	hs-s	GR2/St2	IV-V		
<i>Centranthus ruber</i> 'Coccineus'	gering	so	Fr1/St1	VI-IX		
<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>	gering	so	Fr1/St1	VIII-IX		

<i>Echium amoenum</i> 'Red Feathers'	gering	so	Fr1	V-VIII	
<i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'	gering-mittel	so	St1/FS1	V-VI	
<i>Festuca cinerea</i> 'Silberreihler'	gering	so	St1/FS1	VI-VII	
<i>Helleborus foetidus</i>	gering	so-hs	GR1/Fr1	III-IV	
<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	mittel	hs	GR2/Fr2	VI-VII	
<i>Iris barbata-nana</i> 'Path of Gold'	gering	so	St/B/Fr1	IV-V	
<i>Salvia officinalis</i>	gering	so	Fr/St/FS1b	VI-VIII	
<i>Satureja montana</i> 'Citriodora'	gering	so	St1/FS1	VII-IX	
<i>Thymus vulgaris</i>	gering	so	St1/FS1	VII-IX	
* <i>Daphne mezereum</i>	hoch	so-hs			
* <i>Amelanchier laevis</i>	gering	so			
* <i>Vitis vinifera</i>	mittel	so	B/Fr1-2		

* Gehölze aus Vorversuch

4.3.2.3 Wand 2 und 3 – Schmuckwände

Bei Wand 2 und 3 handelt es sich um Schmuckwände, die durch den Einsatz vieler blühender Arten einen hohen ästhetischen Charakter haben und deshalb den Namen „Schmuckwand“ tragen. Aufgrund des vorgesehenen Bewässerungsszenarios B und C (mittlerer Wasserverbrauch) wurde die Pflanzenwahl hauptsächlich auf Pflanzen beschränkt, die an frische Standorte angepasst sind, sowie auf typische Fassadenbegrünpungspflanzen, die sich bisher bewährt haben (MA 22, 2019; KÖHLER et al., 2012; FLL, 2018). Auch der jahreszeitliche Wandel war bei der Auswahl der Pflanzen wesentlich. Zu den frühblühenden Arten gehören *Bergenia cordifolia*, *Iris x barbata-nana* 'Path of Gold', *Helleborus x orientalis* 'Red Hybrids' und *Helleborus foetidus*. Für den Spätfrühling und Sommer sind Arten wie *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' und *Hemerocallis middendorffii* für den Blühaspekt verantwortlich. Im Herbst kommen Arten wie *Aster ageratoides* und *Helleborus foetidus* mit ihrer Blüte zur Geltung (HAMETER, 2022). Auch immergrüne Stauden wie *Skimmia japonica*, welche gleichzeitig einen hohen ästhetischen Wert aufweist, kommen zum Einsatz (PFOSER, 2016). Zu den wintergrünen Stauden zählen *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids' und *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' (KÖHLER et al., 2012; PFOSER, 2016).

Da ein Ziel der Pflanzenwahl auch die Integration von Nutzpflanzen umfasste, wurden in den Schmuckwänden Arten wie *Fragaria x ananassa* 'Delikatess', *Allium schoenoprasum*, *Rosmarinus officinalis* 'Jesopp's Upright' und *Salvia officinalis* eingesetzt. Außerdem befanden sich fruchtbildende Gehölze wie *Pyrus*, *Malus*, *Ribes rubrum* und *Ribes nigrum* aus einem Vorversuch in den obersten Wannern der Schmuckwände.

Die beiden Wände wurden ident bepflanzt aber unterscheiden sich in der Art der Bewässerung. Wand 2 wird mit Brunnenwasser und Wand 3 mit Grauwasser bewässert. So kann ein direkter Vergleich gezogen werden, welche Auswirkungen die unterschiedlichen Bewässerungsmethoden auf die Pflanzen haben. Alle eingesetzten Arten (ohne die Indikatorarten) sind im nachfolgenden Aspektkalender (Tabelle 4) zu sehen.

Tabelle 4: Pflanzwahl für die Schmuckwände (Wand 2 und 3) (Quelle: eigene Erstellung 2022)

Botanischer Name	Wasserbedarf	Lichtbedarf	Lebensbereich	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe
<i>Allium schoenoprasum</i>	gering	so-hs	Fr1/St1-2	VI-VIII		
<i>Aster ageratoides</i> ‚Asran‘	gering-mittel	so-hs	GR/Fr1-2	VI-VIII		
<i>Bergenia cordifolia</i>	gering-mittel	hs	GR2/St2	IV-V		
<i>Calamagrostis x acutiflora</i> ‚Karl Foerster‘	gering-hoch	hs-s	Fr1/B2	VII-VIII		
<i>Carex buchananii</i>	mittel	so	Fr2/St2	VII-VIII		
<i>Dryopteris filix-mas</i>	mittel	hs-s	G2/GR2	-	-	
<i>Fragaria x ananassa</i> ‚Delikatess‘	mittel	so	B2	IV-VIII		
<i>Helleborus orientalis</i> ‚Red Hybrids‘	gering-mittel	hs-s	Fr2/GR2	II-IV		
<i>Hemerocallis middendorffii</i>	gering	hs	Fr2/GR2	III-IV		
<i>Heuchera x cultorum</i> ‚Berry Smoothie‘	mittel	hs	GR2/Fr2	VI-VII		
<i>Iris x barbata-nana</i> ‚Path of Gold‘	gering	so	St/B/Fr1	IV-V		
<i>Rosmarinus officinalis</i> ‚Miss Jesopp’s Upright‘	gering-mittel	so	B1	V-VI		
<i>Rudbeckia fulgida</i> ‚Goldsturm‘	gering-mittel	so	B2/Fr2	VIII-X		
<i>Salvia officinalis</i>	gering	so	Fr/St/FS1	VI-VIII		
<i>Skimmia japonica</i>	mittel-hoch	so-hs		V		
* <i>Ribes nigrum</i>	mittel	so-hs	B/Fr2	V-VI		
* <i>Ribes rubrum</i>	mittel	so-hs	B/F2	IV-V		
* <i>Malus</i>	mittel	so-hs		IV-V		
* <i>Pyrus</i>	mittel	so-hs		IV-V		

*Gehölze aus Vorversuch

4.3.2.4 Wand 4 – Reinigungswand

Die Pflanzenauswahl für die Reinigungswand (Wand 4) erfolgte nach den Kriterien, welche Arten sich am besten zur Grauwasserreinigung eignen und mit feuchten Standortbedingungen zurechtkommen (AVERY et al., 2007; PRODANOVIC et al., 2019; STROPPA et al., 2020; WOLCOTT et al., 2016; ZRAUNIG et al., 2019). Das heißt, es kommen hauptsächlich Pflanzenarten aus den Lebensbereichen WR4, GR2 und Fr3 nach HANSEN et al. (2016) zum Einsatz. Da diese Wand ebenso eine Pflanzenkläranlage darstellt (PUCHER et al., o.J.), wurden Wasserpflanzen wie *Typha minima*, *Lythrum salicaria*, *Iris pseudacorus*, *Juncus effusus*, die sich bisher in Pflanzenkläranlagen bewährt haben, eingesetzt (VYMAZAL, 2013). Allerdings schied *Juncus effusus* aufgrund seines mangelhaften Zustands bereits nach einer Vegetationsperiode aus dem Versuch aus und wurde für die zweite Vegetationsperiode von der Wasserpflanze *Eriophorum vaginatum* ersetzt. Als Nutzpflanze wurde hier die Art *Mentha aquatica* eingesetzt, die sich ebenfalls für die Bedingungen der Reinigungswand eignet (AVERY et al., 2007; ZRAUNIG et al., 2019).

Folgender Aspektkalender stellt die ausgewählten Pflanzenarten für die Reinigungswand dar (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Pflanzwahl für die Reinigungswand (Wand 4) (Quelle: eigene Erstellung 2022)

Botanischer Name	Wasserbedarf	Lichtbedarf	Lebensbereich	Blütezeit	Blütenfarbe	Laubfarbe
<i>Caltha palustris</i>	hoch	so	WR4/Fr/GR2-3	IV-V	gelb	hellgrün
<i>Carex grayi</i>	mittelhoch	so	Fr/GR2-3/WR4	VI-VIII	gelbbraun	hellgrün
<i>Eriophorum vaginatum</i>	hoch	so	WR4/Fr3-4/H3-4	V-VI	hellgrün	hellgrün
<i>Eupatorium cannabinum</i>	hoch	so-hs	Fr3/GR2-3/WR4	VII-IX	rosa	hellgrün
<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'	geringmittel	hs	GR/St2	VIII-IX	lila	hellgrün
<i>Lythrum salicaria</i>	hoch	so	Fr3/WR4-5	VII-VIII	rosa	hellgrün
<i>Mentha aquatica</i>	mittel	so	WR4/Fr3	VII-IX	lila	hellgrün
<i>Ophiopogon planiscapus</i> 'Black Dragon'	mittelhoch	hs	G/GR1-2	VII-VIII	lila	dunkelgrün
<i>Thelypteris palustris</i>	hoch	so	WR4/GR/G3	-	-	hellgrün
<i>Typha minima</i>	hoch	so	WR4/Fr3	VI-VII	gelbbraun	hellgrün
<i>Valeriana officinalis</i>	hoch	so	Fr3/GR2	VI-VIII	orange	hellgrün

4.3.3 Bepflanzungskonzept

Im Gesamten befanden sich 293 Pflanzen in der Wand, wobei es sich um 39 verschiedene Arten handelt. Dabei sind die oberen Wannsen von den Wänden 1-3 nicht mitkalkuliert, da es sich dort um Pflanzen vom Vorversuch handelt, die nicht in die Ergebnisse miteinfließen.

In Wand 1 - 3 befanden sich 18 verschiedene Pflanzenarten in den jeweiligen Wänden, wovon jede Art in vierfacher Wiederholung gepflanzt wurde. In allen Wannsen, außer der obersten, wurden jeweils acht Pflanzen gesetzt. So befanden sich 72 Pflanzindividuen in jeder Wand (exklusive Wanne 1).

In Wand 4 befanden sich 14 verschiedene Pflanzarten in der Wand. Diese wurden zumeist in 6-facher Wiederholung gepflanzt, außer in Wanne 1 und 10. Dort wurden anstatt 7 Pflanzen pro Wanne 9 Pflanzindividuen gepflanzt. Insgesamt befanden sich 77 Pflanzindividuen in Wand 4, da es zu einigen Ausfällen von Arten in der ersten Vegetationsperiode kam.

Die Nummerierung der vier oder sechsfachen Wiederholung einer Art erfolgte ausgehend von der jeweils zuoberst wachsenden Pflanze in den Trögen von links oben nach rechts unten. Sie wurde in der Bonitur auf 2-3 Buchstaben gekürzt und die nachstehende Zahl gab die Wiederholung der Pflanzenart an. Zum Beispiel wird *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' in dritter Wiederholung einer Pflanze angegeben als *Rud 3*.

Da sich der Feldversuch im zweiten Versuchsjahr befand, waren die Pflanzen im Vergleich zum Vorjahr, einer Winterperiode ausgesetzt. So ist zu berücksichtigen, dass manche Arten nach dem Winter später oder nicht mehr austrieben und somit auch mit einem schlechteren Gesamteindruck bewertet wurden. Die Art *Juncus effusus* starb schon im Vorjahr im Verlauf der Vegetationsperiode (ANTONI 2021) und wurde zu Beginn der Vegetationsperiode 2021 ersetzt durch *Eriophorum vaginatum*, welche als Sumpfpflanze gut mit den vorherrschenden Bedingungen der Reinigungswand

zurechtkommen sollte (HAMETER, 2022). Da es sich bei der Art *Beta vulgaris* um eine zweijährige Art handelt (USDA et al., 2022) und die Art aus dem Vorversuch stammte, war diese im dritten Jahr nicht mehr vorzufinden.

Die Indikatorart *Geranium wallichianum* 'Magical all Summer Blue' trieb nach dem Winter in allen Wänden kaum oder gar nicht mehr aus und wurde demnach im Juni 2021 in allen Wänden durch das *Geranium wallichianum* 'Rozanne' ersetzt. Ansonsten blieben alle Pflanzen identisch wie im ersten Jahr des Versuchs (siehe Pflanzplan im Anhang).

4.4 Erhebungsmethode

Zur Beurteilung der Pflanzen und deren individuellen Entwicklung wurden verschiedene Erhebungsmethoden angewendet. Erhoben wurde der Gesamteindruck, das kubische Volumen, die Biomasse (frisch und getrocknet), der Ernteertrag der essbaren Pflanzenteile und die Blattfläche.

Begonnen wurde mit der ersten Bonitur zum Start der Vegetationsperiode im April 2021 und beendet wurde der Versuch an der Wand im September 2021 mit dem Schnitt aller Pflanzen. Die Auswertungen der Biomasse und der Blattfläche erfolgten anschließend im Labor.

4.4.1 Gesamteindruck der Pflanze

Mittels einer monatlichen Bonitur wurde von April 2021 bis August 2021 der Gesamteindruck der Pflanzenindividuen erhoben. Dabei wurden die einzelnen Pflanzen nach dem Bewertungsschema des IBLB für krautige Pflanzen bewertet (siehe Tabelle 6). Nach diesem Schema wird der Gesundheitszustand der Pflanze anhand visueller Parameter wie Erscheinungsbild, Blattanzahl, Blattgröße und Blattgesundheit erfasst und mittels einem festgelegten Punktesystem von 1 bis 9 (in Zweierschritten) bewertet. Durch den Gesamteindruck kann die Einzelpflanze verglichen werden mit der gleichartigen Pflanze im selben Versuch (THELEN-GERMANN, 2015). Bei uneindeutigen Ergebnissen, können auch gerade Zahlen zur Bewertung vergeben werden. Diese Art der Erhebung dient zur besseren Vergleichbarkeit der Arten untereinander und zur Beobachtung der Entwicklung der einzelnen Pflanze.

Tabelle 6: Bewertungsschema krautige Pflanzen – Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (Quelle: eigene Erstellung 2021, nach IBLB o.J.)

Bewertungsschema krautige Pflanzen IBLB	
9	Gesund, vital, dichter Habitus, stark wüchsig, keine Auswirkungen durch Schädlingsbefall, Krankheiten, Mangel oder mechanische Beschädigungen erkennbar
7	Gesund, wüchsig, normaler Habitus, kaum abgestorbene bzw. beeinträchtigte Pflanzenteile, kaum Auswirkungen durch Schädlingsbefall, Krankheiten, Mangel oder mechanische Beschädigungen erkennbar
5	Geschwächt, stagnierend im Wuchs, lockerer Habitus, abgestorbene bzw. beeinträchtigte Pflanzenteile, Auswirkungen von Schädlingsbefall, Krankheiten, Mangel oder mechanische Beschädigungen falls vorhanden sichtbar
3	Stark geschwächt, kümmernder Wuchs, stark aufgelockerter Habitus, viele abgestorbene bzw. beeinträchtigte Pflanzenteile, Sichtbarer Schädlingsbefall und/oder Krankheiten und/oder Mangel und/oder mechanische Beschädigungen
1	absterbend, skelettartige Struktur, überwiegend abgestorben

0 tot, abgestorben

4.4.2 Kubisches Pflanzvolumen

Für die Erhebung des kubischen Volumens wurden die Pflanzen im April, Juli und zuletzt im August gemessen. Dabei wurde die Pflanzenhöhe (h), Pflanzenbreite (b) und Pflanzentiefe (t) jedes Individuums aufgenommen und miteinander multipliziert. Das daraus resultierende kubische Volumen in m^3 oder dm^3 sagt etwas über die Wüchsigkeit/Vitalität der Pflanze aus. Hat eine Pflanze im Verlauf der Vegetationsperiode an Volumen dazugewonnen deutet dies auf Zuwachs und einen besseren Gesamtzustand hin als bei einer Pflanze, die an Volumen verloren hat (THELEN-GERMANN, 2015). Auch ein Vergleich zu dem von ANTONI (2021) erhobenen kubischen Volumen aus dem Vorjahr 2020 fand statt, um den Zuwachs über zwei Vegetationsperioden hinweg zu dokumentieren.

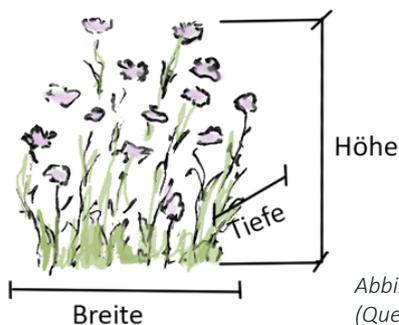


Abbildung 5: Messmethode kubisches Volumen
(Quelle: Eigene Erstellung, 2022)

4.4.3 Biomasse

Für die Erhebungsmethode der Biomasse wurden im September alle Pflanzen der Versuchswände geschnitten und deren Blattmasse, sowie oberirdische Pflanzenteile im frischen Zustand mit einer Küchenwaage (bis 1 g Genauigkeit) gewogen. Die Trocknung erfolgte in einem Trockenschrank bei 80 - 100° C bis die Gewichtskonstanz erreicht wurde. Im Anschluss wurde die Trockenmasse mit einer Feinwaage (bis 0,01 g Genauigkeit) gewogen. Die dabei erhobenen Werte werden als „Biomasse trocken“ bezeichnet.



Abbildung 6: Erhebung der Biomasse
(Quelle: Eigene Erstellung 2021)

4.4.4 Erhebung der Blattfläche

Die Blattfläche oder Leaf Area spielt eine wichtige Rolle bei der Wachstumsanalyse einer Pflanze. Dabei wurden die einzelnen Blätter einer Pflanze von den holzigen Teilen entfernt und das einseitige Blattgewebe mittels eines DIN A3 Scann Geräts aufgenommen. Anhand der entstandenen Pixelzahl des Scans konnte das Verhältnis der Fläche der Blätter (dunkle Pixel) zu der Scannfläche in DIN A3 (helle Pixel) errechnet werden. Die Pixelzahl der dunklen Fläche, also der Pflanzenblätter, gibt die Größe der Blattfläche an und wurde in dm^2 umgerechnet.



Abbildung 7: Erhebung der Blattfläche von *Rudbeckia fulgida* (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

4.4.5 Erhebung des Ernteertrags

Um den Ernteertrag der essbaren Pflanzenteile zu erheben, wurden die gewonnenen Früchte in unregelmäßigen Abständen geerntet und die Frischemasse gewogen. Bei den Kräutern wurden die essbaren Blattteile am Ende der Vegetationsperiode abgeschnitten und sowohl im frischen Zustand als auch im trockenen Zustand nach Trocknung im Trockenschrank gewogen.



Abbildung 8: Erhebung des Ernteertrags von *Fragaria x ananassa* (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

4.5 Analysemethode

Die gewonnenen Ergebnisse aus den Erhebungsmethoden wurden im Anschluss über im folgenden Kapitel beschriebene Methoden analysiert, um in Kapitel 6 dann interpretiert und diskutiert werden zu können.

4.5.1 Analyse des erhobenen Gesamteindrucks

Um eine Eignung der Pflanzenarten für troggebundene Fassadenbegrünung festzustellen, wurde die Wertung des Gesamteindrucks unterteilt in gut geeignet (MW Gesamteindruck > 7), bedingt geeignet (MW Gesamteindruck 6-7) und nicht geeignet (MW Gesamteindruck < 6). So kann eine Aussage getroffen werden, welche Pflanzenarten sich für die jeweiligen Fassadenbegrünungswände mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien eignen und für welche Pflanzenarten keine Pflanzempfehlung gegeben werden kann (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Bewertungsschema der Pflanzeignung nach Antoni 2021 (Eigene Erstellung 2021)

Pflanzeignung		
Mittelwert des Gesamteindrucks		
>7	6-7	<6
gut geeignet	bedingt geeignet	nicht geeignet
Pflanzempfehlung		keine Pflanzempfehlung

4.5.2 Analyse des erhobenen kubischen Pflanzvolumens

Die erhobenen Werte des kubischen Volumens wurden aus der Bonitur im Monat Juli entnommen, da zu diesem Zeitpunkt der phänologische Zustand einen ähnlichen Zustand hatte wie zu selbiger Zeit im Jahr davor (ZAMG, 2021). Anhand der Daten konnte ein Vergleich des kubischen Volumens zwischen Juli 2020 und Juli 2021 gezogen werden. Dies gibt Auskunft, wie sich eine Pflanzenart innerhalb einer troggebundenen Fassadenbegrünung über einen längeren Zeitraum verändert. Hat die Pflanze etwa an kubischen Volumen dazu gewonnen oder ist im zweiten Jahr ein Rückgang des Volumens festzustellen?

4.5.3 Analyse der erhobenen Biomasse

Durch die Erhebung der Biomasse kann festgestellt werden wieviel Frische- und Trockenmasse eine Pflanzenart in der jeweiligen Versuchswand produziert hat und inwiefern sich die verschiedenen Bewässerungsszenarien auf das Wachstum der Pflanzen ausgewirkt haben. Je höher die Biomasse ausfällt, desto mehr Zuwachs konnte die Pflanze verzeichnen (THELEN-GERMANN, 2015). Korreliert das Gewicht der Trockenmasse mit dem kubischen Volumen, das heißt ist bei einer Pflanzenart eine hohe Biomasse bei gleichzeitig großem kubischem Volumen festzustellen, spricht dies für eine positive Bilanz des Wachstums einer Pflanze. Außerdem kann über den Vergleich von Frische – und Trockenmasse ein Verhältnis errechnet werden, was aussagt wieviel Prozent von der Originalsubstanz dem Wassergehalt der Pflanze zuzuschreiben ist (HAND, 2002).

4.5.4 Analyse des erhobenen Ernteertrags

Um eine Aussage der erhobenen Ernte treffen zu können wurde der Ertrag der Kräuter in Frischmasse und Trockenmasse erhoben sowie der Fruchttertrag von den Nutzpflanzen mit Fruchtanteil. Um die Ergebnisse den Untersuchungen aus der Literatur gegenüberzustellen, wurde anschließend in Kapitel 6.4 hochgerechnet, wieviel Ertrag auf einen Quadratmeter Pflanzfläche von

der jeweiligen Art in einem troggebundenen System mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien zu erwarten wäre.

4.5.5 Analyse der erhobenen Blattfläche

Da es in Wand 1 und Wand 4 viele Ausfälle oder schwer zu erfassende Blattflächen aufgrund von Blattläusen oder anderen Krankheiten gab, wurde diese Methode nur bei den Schmuckwänden (Wand 2 und 3) angewendet. Von diesen beiden Versuchswänden konnte die Blattfläche aller Pflanzen außer *Carex buchananii*, aufgrund fehlender Entwicklung der Blattfläche, errechnet werden. Bei den zwei verschiedenen *Iris* Arten, entspricht der erhobene Blattflächenwert von *Iris pseudacorus* aufgrund der Blattähnlichkeit dem der *Iris x barbata-nana*. Durch die Erhebung von drei möglichst unterschiedlich großen Pflanzenindividuen jeder Art, entsteht ein durchschnittlicher Blattflächenwert für eine Pflanzenart in einer troggebundenen Fassadenbegrünung. Setzt man diese Werte ins Verhältnis mit dem erhobenen kubischen Volumen, ergibt sich eine Korrelationsformel, die zur Berechnung der Blattflächen gleicher Arten dient. Dazu wird ausschließlich das kubische Volumen einer Pflanzenart benötigt, welche den X-Wert angibt. Der Y-Wert gibt die Leaf Area in dm^2 an (siehe Diagramm 1). Anhand der durch die Formel entstandenen Werte konnte für Wand 2 und 3 hochgerechnet werden, wieviel Blattfläche eine Pflanzenart in den Monaten April und Juli 2021 erzeugte und im gleichen Zug wieviel Blattfläche alle Arten in einer troggebundenen Fassadenbegrünungswand mit Bewässerungsszenario B oder C generieren konnten. Dadurch soll einerseits der Zuwachs der Blattfläche dokumentiert werden und andererseits Rückschluss gezogen werden, wieviel Verdunstungs- und Beschattungsfläche eine troggebundene Fassadenbegrünung wie diese produzieren konnte.

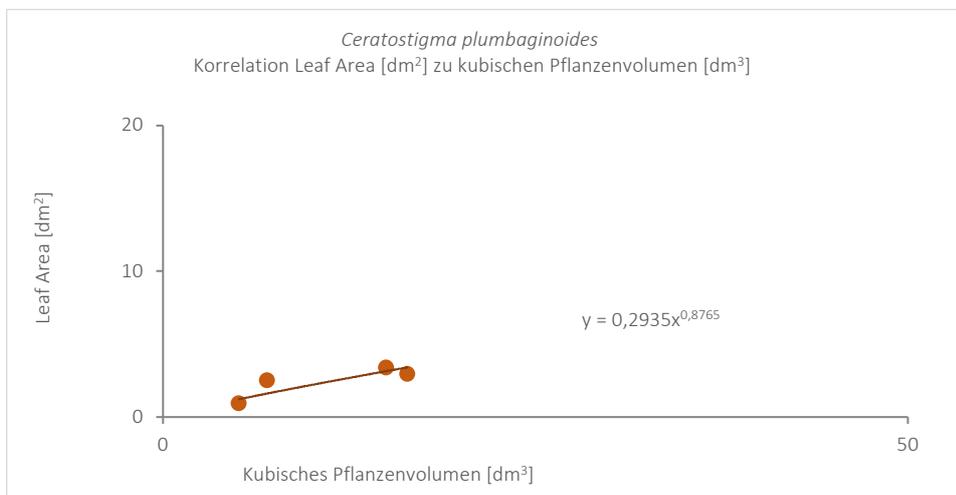


Diagramm 1: Beispiel zur Errechnung der Blattfläche (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

5 Ergebnisse des Feldversuchs

Dieses Kapitel beinhaltet die Auswertung aller im Feldversuch erhobenen Parameter und Ergebnisse. Diese umfassen die Erhebungen des Gesamteindrucks, des kubischen Volumen, der Biomasse, der Blattfläche und die Ertragsmessungen.

5.1 Auswertungen der Erhebungen von Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse und Blattfläche

Die Erhebung des Gesamteindrucks dient zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage, welche die Eignung der Pflanzenarten für unterschiedliche Bewässerungsszenarien betrifft und wodurch anschließend in Kapitel 5.2 eine Pflanzempfehlung resultiert. Weiters wird mittels der erhobenen Daten des kubischen Volumens und der Biomasse aufgezeigt, inwiefern sich die Entwicklung der Pflanzenarten hinsichtlich der Bewässerung mit Brunnenwasser oder Grauwasser unterscheidet (Forschungsfrage 3). Forschungsfrage 2 wird durch die Ergebnisse der erhobenen Biomasse beantwortet, welche aussagt, inwiefern sich die unterschiedlichen Bewässerungsszenarien (wenig Wasser bis sehr viel Wasser) auf die Biomasseproduktion und damit die Entwicklung der Pflanzenarten ausgewirkt haben. Auch die Blattfläche ist ein Indikator für die Entwicklung der Pflanzenarten und lässt zusätzlich einen Rückschluss ziehen, wie diese mit der Verdunstungsleistung der einzelnen Versuchswände zusammenhängt (Forschungsfrage 5).

5.1.1 Auswertungen der Erhebungen der Indikatorpflanzen

Zunächst werden die Indikatorarten *Sedum telephium* 'Herbstfreude', *Geranium wallichianum* 'Rozanne' und *Iris pseudacorus* betrachtet, welche sich in allen vier Versuchswänden befanden.

- *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘

Als Indikatorart für einen trockenen Standort wurde *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘ eingesetzt. Diese Art befindet sich in allen vier Begrünungswänden und sollte vor allem in Wand 1, einer trogebundenen Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch), gut zurechtkommen.

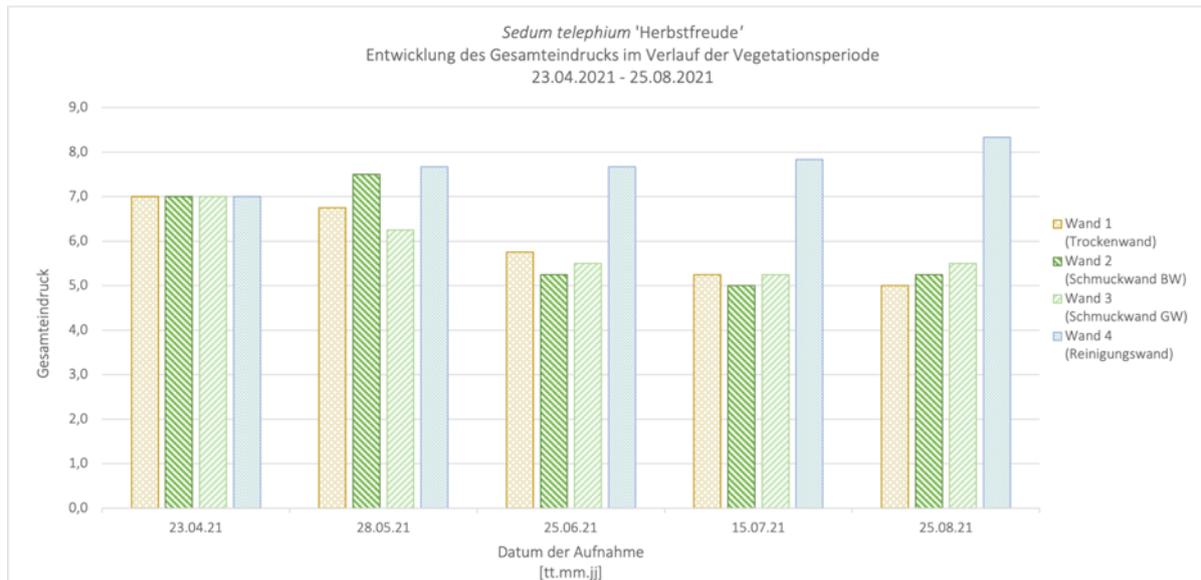


Diagramm 2: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘ (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Wie in Diagramm 2 veranschaulicht wird, war bei *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘ zu Beginn der Vegetationsperiode der Mittelwert des Gesamteindrucks mit 7,0 in allen vier Wänden ident. Ab Mai zeigte sich jedoch eine Verschlechterung des Gesamteindrucks in Wand 1 und 3, während er in Wand 2 und 4 leicht anstieg. Im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode verschlechterte sich der Gesamteindruck in Wand 1- 3. Nur Wand 4 konnte einen stetigen Anstieg des Gesamteindrucks verzeichnen, welcher im August mit 8,3 den höchsten Mittelwert ausmachte.

Die Ergebnisse zeigen somit, entgegen den Erwartungen, dass das *Sedum* die besten Werte in Wand 4, der Wand mit der größten Wasserzufuhr erreichte und die schlechtesten Werte in Wand 1.

Im Juni konnte am *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘ in Wand 2 Mehltau festgestellt werden, was sich aber über den weiteren Verlauf zurückbildete.

Die erste Blüte war ab August zu verzeichnen.



Abbildung 9: Entwicklung *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘ in Wand 1 und Wand 4 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Tabelle 8: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Sedum telephium* 'Herbstfreude' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Sedum telephium</i> ‚Herbstfreude‘								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Sed 1	6,0	40,6	21,7	-18,9	119	12,77	1:9,3
	Sed 2	6,0	21,6	42,0	20,4	162	16,64	1:9,7
	Sed 3	6,0	32,2	17,6	-14,6	103	10,29	1:10
	Sed 4	5,8	50,1	23,2	-26,9	121	11,66	1:10,3
Mittelwert		6,0	36,1	26,13	-10	126,25	12,84	1:9,8
W2	Sed 1	6,2	40,3	29,4	-10,9	124	13,43	1:9,2
	Sed 2	5,8	31,1	18,0	-13,1	90	8,74	1:10,2
	Sed 3	5,8	<u>86,4</u>	31,3	-55,1	116	11,66	1:9,9
	Sed 4	6,2	36,2	33,1	-3,1	158	16,19	1:9,7
Mittelwert		6,0	48,5	27,95	-20,55	122	12,51	1:9,7
W3	Sed 1	6,6	11,3	42,9	31,6	154	13,21	1:11,6
	Sed 2	5,8	22,5	12,1	-10,4	53	4,79	1:11
	Sed 3	5,6	20,9	15,2	-5,7	64	5,14	<u>1:12,4</u>
	Sed 4	5,6	22,5	15,5	-7	110	10,47	1:10,5
Mittelwert		5,9	19,3	21,43	2,13	95,25	8,40	1:11,3
W4	Sed 1	8,2	48,7	64,3	15,6	157	19,66	1:7,9
	Sed 2	7,0	28	25,3	-2,7	152	16,58	1:9,1
	Sed 3	<u>8,6</u>	51,5	50,05	-1,45	352	37,35	1:9,4
	Sed 4	7,6	60,1	<u>97,2</u>	37,1	<u>433</u>	<u>65,96</u>	1:6,5
	Sed 5	7,4	27,6	72,11	<u>44,51</u>	267	25,02	1:10,6
	Sed 6	7,4	14,5	40,59	26,09	164	15,06	1:10,8
Mittelwert		7,7	38,4	58,26	19,86	254,17	29,94	1:8,4

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Die Ergebnisse aus Tabelle 8 können wie folgt analysiert werden: Der Mittelwert des Gesamteindrucks war in Wand 1-3 nahezu identisch, was eine bedingte Eignung des *Sedums* für diese Wände bedeutet. Gut geeignet ist das *Sedum* in Wand 4 mit einem Mittelwert von 7,7.

Bestätigt wird die Wertung des Gesamteindrucks in Anbetracht des kubischen Volumens. So ist das kubische Volumen in Wand 4 mit einem Mittelwert von 58,26 dm³ deutlich höher als in den anderen Wänden, wo es sich kaum unterscheidet (W1 und W2) oder mit 21,43 dm³ (in W3) kaum mehr als ein Drittel des kubischen Volumens von Wand 4 ausmacht.

Betrachtet man die Entwicklung des kubischen Volumens über zwei Vegetationsperioden, so zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Aufnahmen im Juli 2020 und Juli 2021. Insgesamt betrachtet war im Jahr 2021 bei zwölf von 18 Arten ein negativer Zuwachs zu beobachten. Nur Wand 4 überwiegte mit einem positiven Zuwachs. Der Vergleich der beiden Jahre zeigte im Gesamten eine bessere Entwicklung des Volumens im Jahr 2020. Daraus lässt sich Schlussfolgern, dass die Entwicklung des kubischen Volumens über einen längeren Zeitraum betrachtet werden muss, um einen Entwicklungstrend feststellen zu können.

Auch die Biomasse war sowohl im frischen als auch im getrockneten Zustand die Höchste in Wand 4 und die geringste in Wand 3. Dabei wird eine starke Abweichung der Biomasse in den einzelnen Wänden sehr deutlich. Der durchschnittliche Wert der Biomasse von Wand 4 beträgt mehr als das 3-fache von der durchschnittlichen Biomasse in Wand 3. Das Gewicht der trockenen Biomasse gegenüber dem der frischen Biomasse kann durchschnittlich mit einem Verhältnis von 1:10 angegeben werden.

Tabelle 9: Erhebungen Blattfläche von *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Sedum telephium</i> ‚Herbstfreude‘				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Sed 1	1,36	4,89	3,53
	Sed 2	1,71	8,62	6,91
	Sed 3	1,24	4,96	3,72
	Sed 4	0,94	6,30	5,36
Mittelwert		1,31	6,19	4,88
W2	Sed 1	2,47	6,35	3,88
	Sed 2	1,57	4,16	2,59
	Sed 3	1,36	6,69	5,33
	Sed 4	1,62	7,02	5,40
Mittelwert		1,76	6,06	4,30
W3	Sed 1	1,17	8,77	7,60
	Sed 2	0,79	2,96	2,17
	Sed 3	0,97	3,60	2,63
	Sed 4	1,04	3,65	2,61
Mittelwert		0,99	4,75	3,75
W4	Sed 1	2,44	12,42	9,98
	Sed 2	1,8	5,57	3,77
	Sed 3	<u>3,54</u>	10,02	6,48
	Sed 4	1,96	<u>17,72</u>	15,76
	Sed 5	1,09	13,71	12,62
	Sed 6	1,76	8,37	6,61
Mittelwert		2,10	11,30	9,20

Maximalwert

Ein Blick auf die Leaf Area (Blattfläche) von *Sedum telephium* ‚Herbstfreude‘ in Tabelle 9 zeigt mit 11,30 dm² die größte durchschnittliche Blattfläche in Wand 4. Diese Werte korrelieren mit denen des kubischen Volumens und der Biomasse. Ausgehend von der Leaf Area im April 2021, konnte in allen Wänden ein Zuwachs verzeichnet werden. Auch die Zuwachs Werte sind in Wand 4 die größten.

- Geranium wallichianum 'Rozanne'

Für einen mittelfeuchten Standort, welche die Schmuckwände (Wand 2 und 3) darstellen, diente die Indikatorart *Geranium wallichianum* 'Rozanne'. Diagramm 3 zeigt die Entwicklung des Gesamteindrucks von Juni 2021 bis August 2021, da diese Art erst im Juni eingesetzt wurde.

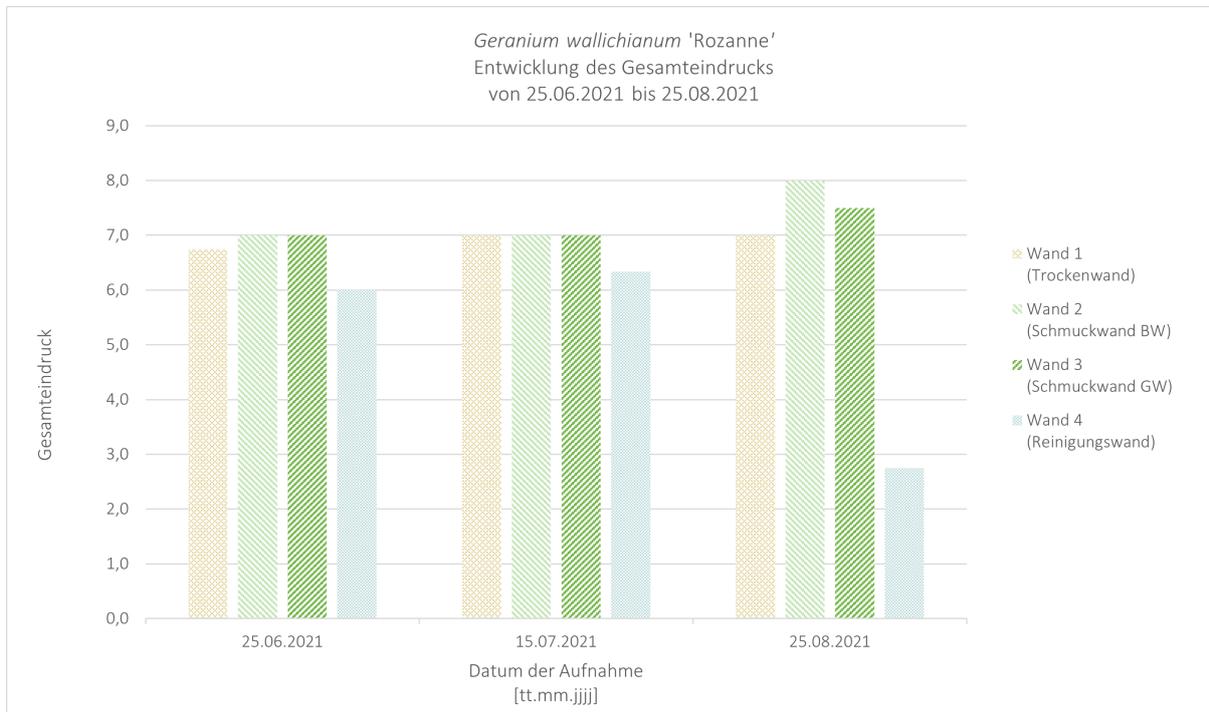


Diagramm 3: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Geranium wallichianum* 'Rozanne' (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Diagramm 3 zeigt eine positive Entwicklung des Gesamteindrucks in Wand 2 und 3. In Wand 1 stagnierte die Art bei einem durchschnittlichen Wert von 6,9 und Wand 4 zeigte eine negative Entwicklung. So erreichte das *Geranium* im August nur noch einen Mittelwert von 2,8 und ist dementsprechend für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch) nicht geeignet. Für Wand 1-3 ist es schwer eine Aussage zu treffen, da das *Geranium* nur eine Entwicklungszeit von drei Monaten hatte. Dennoch zeichnet sich ab, dass der Gesamteindruck bei einem mittelfeuchten Standort wie in Wand 2 und 3 mit über 7,0 positiv ausfällt.

Die erste Blüte konnte im Juni dokumentiert werden.

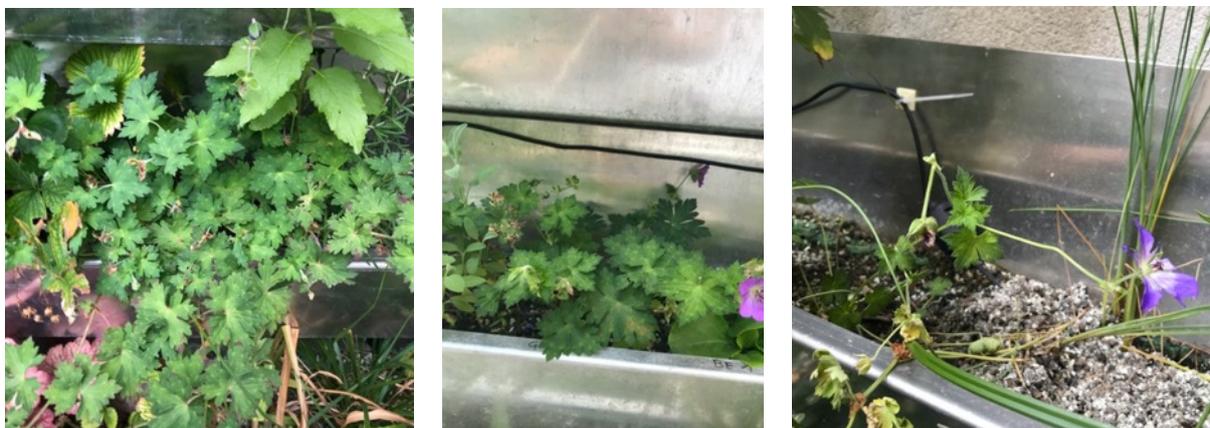


Abbildung 10: Entwicklung von *Geranium wallichianum* 'Rozanne', Juli 2021, Wand 2 und Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 10: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Geranium wallichianum* ‚Rozanne‘ (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Geranium wallichianum ‚Rozanne‘								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm³)	Volumen Juli 21 (dm³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Ger 1	7,0	44,4	10,3	-34,1	13	5,33	1:2,4
	Ger 2	6,7	44,4	7,8	-36,6	19	7,09	1:2,6
	Ger 3	7,0	40,4	20,9	-19,5	21	5,90	1:3,5
	Ger 4	7,0	37,4	12,5	-24,9	19	6,41	1:2,9
Mittelwert		6,9	41,7	12,9	-28,78	18,00	6,18	1:2,9
W2	Ger 1	7,0	81,3	<u>35,9</u>	-45,4	<u>34</u>	<u>13,65</u>	1:2,4
	Ger 2	7,0	101,3	16,3	-85	25	6,00	1:4,1
	Ger 3	7,0	<u>127,8</u>	9,0	-118,8	10	2,25	<u>1:4,4</u>
	Ger 4	7,0	86,1	10,6	-75,5	19	5,08	1:3,7
Mittelwert		7,0	99,1	18,0	-81,18	22,00	6,75	1:3,2
W3	Ger 1	7,0	9,7	5,8	-3,9	15	4,06	1:3,6
	Ger 2	7,0	44,6	24,9	-19,7	21	6,55	1:3,2
	Ger 3	<u>7,3</u>	57,6	13,7	-43,9	21	6,67	1:3,1
	Ger 4	<u>7,3</u>	40,4	6,9	-33,5	15	5,92	1:2,5
Mittelwert		7,2	38,1	12,8	-25,25	18,00	5,80	1:3,1
W4	Ger 1	4,7	3,0	5,9	<u>2,9</u>	2	0,81	1:2,4
	Ger 2	2,3	65,0	0,0	-65	-	-	-
	Ger 3	5,0	76,6	11,1	-65,5	1	0,38	1:2,6
	Ger 4	6,3	111,2	7,5	-103,7	11	2,63	1:4,1
Mittelwert		4,6	63,95	6,13	-57,83	3,50	0,96	1:3,6

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Mit einem Mittelwert von 6,9 bis 7,2 zeigte der Gesamteindruck in Wand 1-3 kaum einen Unterschied zwischen den einzelnen Arten (siehe Tabelle 10). Dagegen war in Wand 4 ein sehr geringer Mittelwert außer bei einer Art (*Ger 4*) zu erkennen. So wird deutlich, dass sich diese Art für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch) nicht eignet.

Das kubische Volumen verdeutlicht eine Varianz hinsichtlich der Größe der einzelnen Arten. Im Durchschnitt zeigte *Geranium* in Wand 2 das größte kubische Volumen auf und erreichte damit das dreifache Volumen von Wand 4. Vergleicht man das kubische Volumen mit dem Vorjahr so war ein deutlich höheres kubisches Volumen im Juli 2020 zu verzeichnen. Allerdings handelte es sich hierbei um eine andere Pflanzensorte *Geranium wallichianum* ‚Magical Summer Blue‘. Dennoch war auch bei dieser Art in Wand 2 das durchschnittliche kubische Volumen am größten. Bezüglich des Zuwachses war in allen vier Wänden ein negativer Zuwachs festzustellen außer bei einer Art in Wand 4.

Im Gegenteil zu dem kubischen Volumen zeichnete sich in der Biomasse kein deutlicher Unterschied zwischen den Wänden 1-3 ab. Die größte Produktion der Biomasse war bei *Ger 1* in Wand 2 mit 13,65 g zu wiegen. Dies entspricht der doppelten Biomasse der meisten Arten. In Wand 4 wurde die geringste trockene Biomasse von durchschnittlich 0,96 g gewogen. Das Verhältnis zwischen trockener- und frischer Biomasse beträgt durchschnittlich 1:2,9.

Tabelle 11: Erhebungen der Blattfläche von *Geranium wallichianum* 'Rozanne' (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

<i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Ger 1	*	0,60	0,60
	Ger 2	*	0,39	0,39
	Ger 3	*	1,79	1,79
	Ger 4	*	0,80	0,80
Mittelwert			0,89	0,89
W2	Ger 1	*	<u>4,16</u>	<u>4,16</u>
	Ger 2	*	1,22	1,22
	Ger 3	*	0,48	0,48
	Ger 4	*	0,62	0,62
Mittelwert			1,62	1,62
W3	Ger 1	*	0,24	0,24
	Ger 2	*	2,35	2,35
	Ger 3	*	0,93	0,93
	Ger 4	*	0,32	0,32
Mittelwert			0,96	0,96
W4	Ger 1	*	0,25	0,25
	Ger 2	*	0,00	0,00
	Ger 3	*	0,67	0,67
	Ger 4	*	0,36	0,36
Mittelwert			0,32	0,32

*Blattfläche konnte nicht erhoben werden, Ersatzpflanzung *Geranium* erfolgte erst im Mai Maximalwert

Da das im Jahr zuvor gepflanzte *Geranium wallichianum* 'Magical Summer Bluet' nach dem Winter nicht oder nur sehr mager austrieb, erfolgte eine Ersatzpflanzung im Mai. Demnach konnte keine Blattfläche für den Monat April erhoben werden. Die Blattfläche für Juli zeigte keine großen Differenzen unter den Pflanzenarten (siehe Tabelle 11). Die größte Blattfläche konnte in Wand 2 bei Ger 1 gemessen werden. Diese Art wies auch das höchste kubische Volumen auf und hatte die größte Biomasse.

- *Iris pseudacorus*

Für die Reinigungswand (Wand 4), die als feuchter Standort zu beschreiben ist, wurde *Iris pseudacorus* als Indikatorart eingesetzt.

In folgendem Diagramm wird der Gesamteindruck über die gesamte Vegetationsperiode dargestellt.

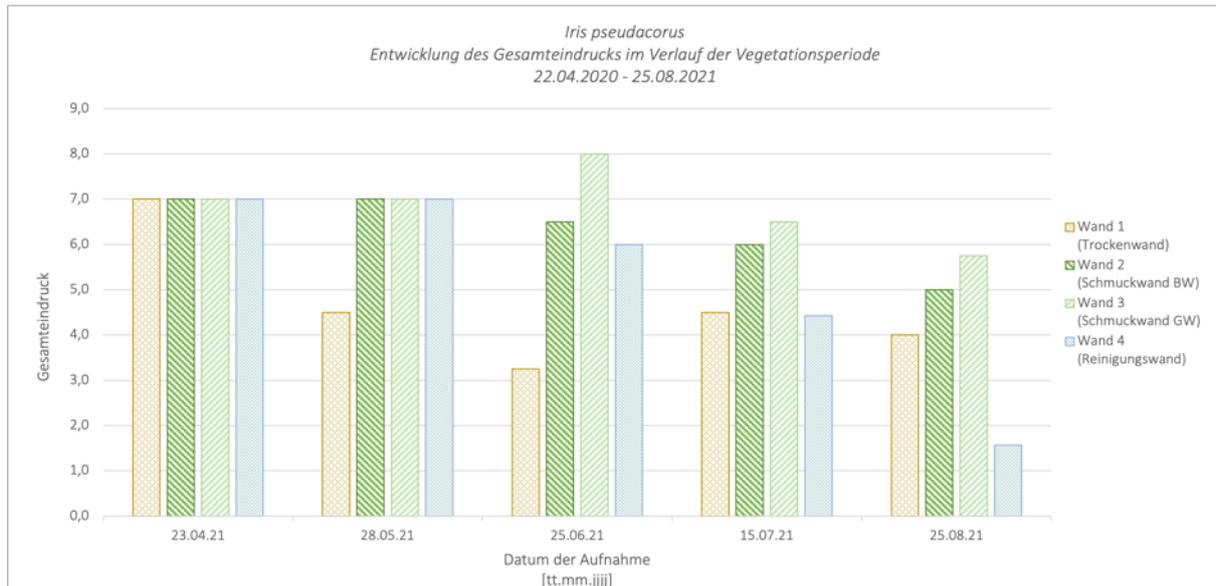


Diagramm 4: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Iris pseudacorus* (Quelle: Eigene Erstellung 2021)



Abbildung 11: Entwicklung von *Iris pseudacorus*, April, Mai und Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der anfängliche Mittelwert von 7,0 in allen Wänden verringerte sich schnell in Wand 1 und pendelte sich bei einem Gesamteindruck von 4,0 ein. In Wand 2 und 3 verlor *Iris pseudacorus* ebenso an Vitalität, wobei die Art in Wand 3, welche mit Grauwasser bewässert wurde etwas besser abschnitt. In der Reinigungswand (Wand 4) war ab Juni eine Verschlechterung zu sehen bis hin zum August, wo der Mittelwert nur noch 1,6 betrug. Dies bedeutet, dass sich die Indikatorart für feuchte Standorte in diesem Fall nicht für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch) eignet. Dabei ist zu vermerken, dass vor allem in Wand 4 teils mechanische Schäden aber auch vermehrt ein Befall von Ameisen auftauchte.

Die erste Blüte konnte im Mai beobachtet werden und im Juli kam es zur Fruchtbildung bei manchen Arten. In Wand 4 war ab Juni ein vermehrter Ameisenbefall an den Blättern zu erkennen. In späterer Folge war auch in den anderen Versuchswänden ein Befall von Ameisen und Blattläusen zu verzeichnen.

Tabelle 12: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Iris pseudacorus* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Iris pseudacorus</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Iris p. 1	1,2	108,5	0,0	-108,5	-	-	-
	Iris p. 2	3,0	48,4	0,7	-47,7	1	0,94	1:1
	Iris p. 3	5,4	21,7	18,5	-3,2	9	3,48	1:2,5
	Iris p. 4	4,6	51,1	13,6	-37,5	8	3,44	1:2,3
Mittelwert		3,6	57,4	8,2	-49,23	6	2,62	1:2,2
W2	Iris p. 1	6,2	54,4	16,2	-38,2	5	3,52	1:1,4
	Iris p. 2	6,6	39,2	33,4	-5,8	<u>36</u>	6,15	<u>1:5,8</u>
	Iris p. 3	6,6	75,4	36,3	-39,1	11	5,84	1:1,8
	Iris p. 4	6,2	54,8	64,8	10	24	6,99	1:3,4
Mittelwert		6,4	56,0	37,7	-18,28	19,00	5,63	1:3,3
W3	Iris p. 1	5,8	4,0	14,4	10,4	5	3,35	1:1,4
	Iris p. 2	<u>6,8</u>	39,0	61,9	<u>22,9</u>	18	<u>11,31</u>	1:1,5
	Iris p. 3	6,6	34,2	27,9	-6,3	21	8,89	1:2,3
	Iris p. 4	6,6	20,0	14,4	-5,6	11	4,19	1:2,6
Mittelwert		6,5	24,3	29,7	5,35	13,75	6,94	1:1,9
W4	Iris p. 1	6,2	68,2	<u>66,7</u>	-1,5	27	10,5	1:2,5
	Iris p. 2	5,4	<u>241,7</u>	50,8	-190,9	2	0,95	1:2,1
	Iris p. 3	4,4	125,6	4,4	-121,2	7	5,55	1:1,2
	Iris p. 4	5,2	56,1	34,0	-22,1	9	5,78	1:1,5
	Iris p. 5	5,6	89,1	65,3	-23,8	8	5,55	1:1,4
	Iris p. 6	6,0	52,8	7,2	-45,6	8	4,48	1:1,7
Mittelwert		5,5	105,6	38,1	-67,52	10,17	5,47	1:1,8

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Betrachtet man den Gesamteindruck von *Iris pseudacorus* (siehe Tabelle 12), so war in den Wänden 1 und 4 ein geringer Gesamteindruck zu erkennen, der auf einen geschwächten Wuchs oder die Auswirkungen von Schädlingsbefall zurückzuführen ist. Dies spricht gegen eine Eignung dieser Art in der Trockenwand (Bewässerungsszenario A) und Reinigungswand (Bewässerungsszenario D). In den Schmuckwänden (2 und 3) ist eine bedingte Eignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B (Brunnenwasser) und C (Grauwasser) festzustellen.

Im Gegenteil zu den Werten des Gesamteindrucks schnitt die Reinigungswand (Wand 4) im kubischen Volumen am besten ab. So befand sich auch die Art mit dem höchsten kubischen Volumen von 66,7 m³ in dieser Wand. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die meisten Arten in Wand 4 ein gutes Wachstum aufweisen konnten aber der Gesamteindruck aufgrund anderer Einflüsse wie Schädlingsbefall und mechanischer Schäden schlechter ausfiel. In Wand 1 hingegen war anhand des Volumens ein deutlich geringes Wachstum, sowie der komplette Ausfall einer Art zu erkennen.

Im Jahresvergleich mit 2020 war das kubische Volumen im zweiten Jahr in allen Wänden außer in Wand 3 geringer ausgefallen. Das höchste kubische Volumen aus dem Vorjahr mit 241,7 m³ betrug beispielsweise das Vierfache des höchsten Volumens aus dem Jahr 2021. Dies bedeutet insgesamt eine negative Wachstumsentwicklung für *Iris pseudacorus* im zweiten Wuchsjahr. Der größte

Wachstumsverlust war in den Wänden mit extremeren Bewässerungsszenarien (Wand 1 und 4) zu erkennen.

Anhand der Biomasse wird deutlich, dass die Indikatorart für einen feuchten Standort in den Wänden mit mittlerem und hohem Wasserverbrauch ähnlich viel Biomasse produzierte und in der Wand mit geringem Wasserverbrauch am wenigsten Biomasse erzeugt wurde.

Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse betrug im Durchschnitt 1:2,1.

Tabelle 13: Erhebungen der Blattfläche von *Iris pseudacorus* (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

<i>Iris pseudacorus</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Iris p. 1	1,02	0,00	-1,02
	Iris p. 2	1,50	0,91	-0,59
	Iris p. 3	1,11	3,78	2,67
	Iris p. 4	1,9	3,31	1,41
Mittelwert		1,38	2,00	0,62
W2	Iris p. 1	1,95	3,57	1,62
	Iris p. 2	1,74	4,89	3,15
	Iris p. 3	1,23	5,07	3,84
	Iris p. 4	1,31	6,51	5,20
Mittelwert		1,56	5,01	3,45
W3	Iris p. 1	1,59	3,39	1,80
	Iris p. 2	3,2	6,38	3,18
	Iris p. 3	1,72	4,52	2,80
	Iris p. 4	1,34	3,39	2,05
Mittelwert		1,96	4,42	2,46
W4	Iris p. 1	3,13	6,59	3,46
	Iris p. 2	2,74	<u>5,86</u>	<u>3,12</u>
	Iris p. 3	3,33	2,03	-1,30
	Iris p. 4	3,26	4,92	1,66
	Iris p. 5	<u>3,52</u>	6,53	3,01
	Iris p. 6	1,59	2,51	0,92
Mittelwert		2,93	4,74	1,81

Maximalwert

Die Ergebnisse der Blattfläche (siehe Tabelle 13) zeigen den durchschnittlich höchsten Wert mit 5,01 dm² in Wand 2, welcher den Werten in Wand 3 und Wand 4 sehr ähnlich ist. Nur in Wand 1 ist die durchschnittliche Blattflächengröße geringer. Ein Blattflächen Zuwachs kann bei fast allen Arten verzeichnet werden. Am größten ist der Zuwachs in Wand 2. Diese Ergebnisse stimmen überein mit den Ergebnissen der Biomasse aus Tabelle 12.

5.1.1.1 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Indikatorarten zeigen, dass die Arten, die ursprünglich als Zeigerpflanze für einen bestimmten Standort eingesetzt wurden (ANTONI, 2021), nicht unbedingt an ihren favorisierten Standorten die besten Ergebnisse erbrachten (Siehe Diagramm 5).

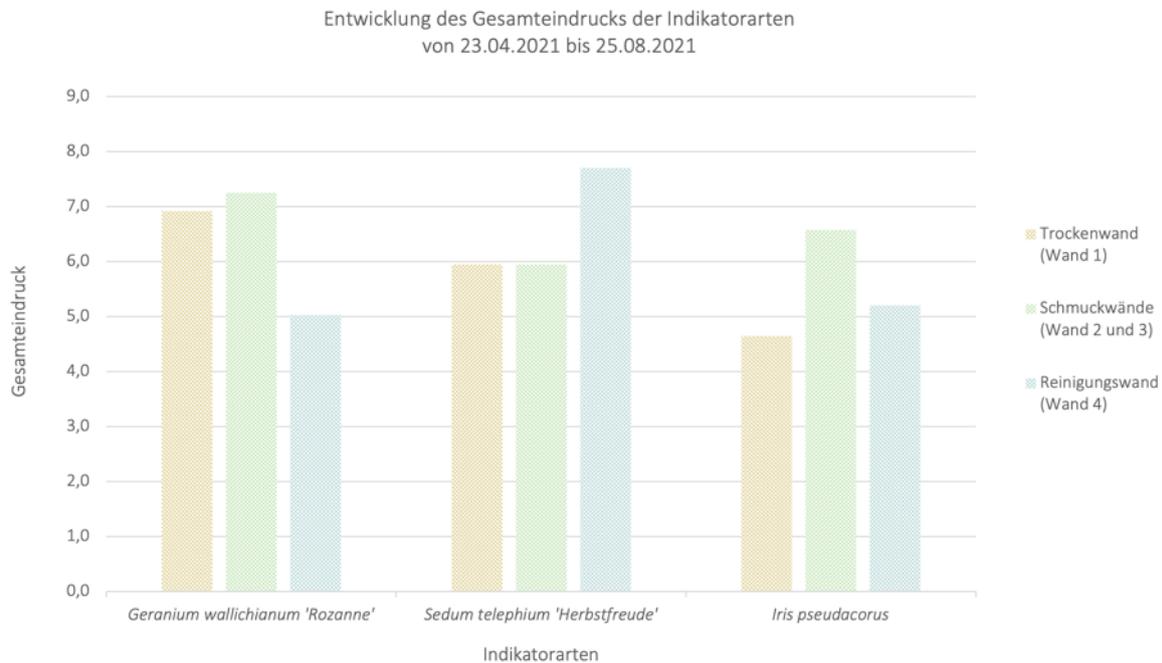


Diagramm 5: Entwicklung des Gesamteindrucks der Indikatorarten (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

Aus den Erhebungen geht hervor, dass die Art *Sedum telephium* 'Herbstfreude', welche mit Vorliebe an trockenen Standorten eingesetzt wird (MA 22, 2019) in dem Feldversuch die besten Ergebnisse in der Reinigungswand zeigte, der Wand mit einem feuchten Standort und der höchsten Wasserzufuhr. Auch die Zeigerpflanze für einen feuchten Standort *Iris pseudacorus* zeigte in den Schmuckwänden mit einer mittleren Wasserzufuhr die besten Werte und nicht wie erwartet in der Reinigungswand mit einer feuchten Standortbedingung. Ursache für einen schlechteren Gesamteindruck in der Reinigungswand (Wand 4) kann jedoch auch der Schädlingsbefall in dieser Wand sein. Nur die Indikatorart *Geranium wallichianum* 'Rozanne' erzielte in den Schmuckwänden mit frischem Substrat, welches diese Art bevorzugt die besten Ergebnisse. Allerdings wurde diese Art erst im Juni 2021 eingesetzt und nicht wie die anderen Indikatorarten im Vorjahr.

Verglichen zum ersten Versuchsjahr 2020 konnte bei den Indikatorarten im zweiten Versuchsjahr (2021) kein Zuwachs im kubischen Volumen gemessen werden außer bei einigen *Sedum* Individuen in der Reinigungswand. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit eines längeren Beobachtungszeitraums für Feldversuche wie diesen, um die Pflanzenentwicklung über eine Vegetationsperiode hinaus bewerten zu können.

5.1.2 Auswertungen der Erhebungen der Trockenwand

In der Trockenwand befanden sich neben den Indikatorpflanzen, die in allen Versuchswänden vorzufinden sind, überwiegend Pflanzen, die laut Literatur mit trockenen Verhältnissen zurechtkommen. Die Ergebnisse der trockenresistenten Pflanzenarten werden nachstehend dargestellt, um eine Eignung für eine Trockenwand mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) feststellen zu können.

- *Achillea millefolium* 'Summer Pastels'

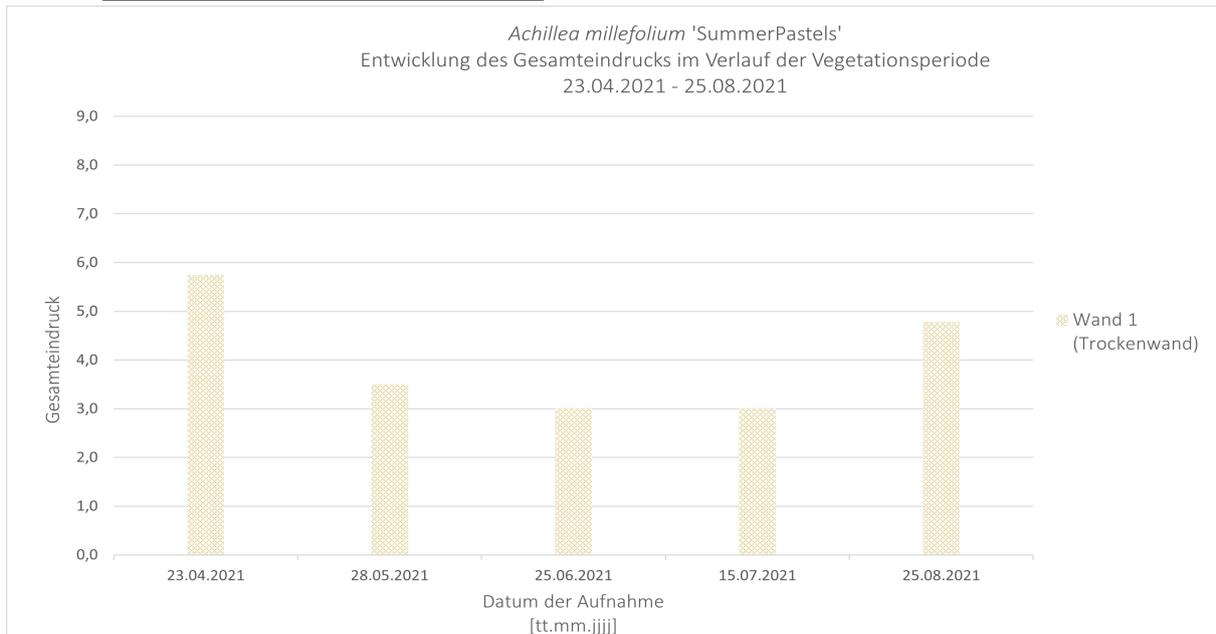


Diagramm 6: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Achillea millefolium* 'Summer Pastels' (Quelle: eigene Erstellung 2021)



Abbildung 12: Entwicklung von *Achillea millefolium* 'Summer Pastels' April, Mai und Juni 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Schon zu Beginn der Vegetationsperiode war ein recht niedriger Mittelwert des Gesamteindrucks (unter 6,0) der Art *Achillea millefolium* 'Summer Pastels' festzustellen (siehe Diagramm 6). Dieser sank im weiteren Verlauf auf 3,0 ab. Erst im August konnte eine leichte Verbesserung im Gesamteindruck verzeichnet werden, dennoch lässt sich eine Eignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) ausschließen.

Tabelle 14: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Achillea millefolium* 'Summer Pastels' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Achillea millefolium</i> 'Summer Pastels'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Ach 1	7,0	55,9	23,1	-32,8	30	10,76	1:2,7
	Ach 2	3,4	49,0	3,5	-45,5	3	2,29	1:1,3
	Ach 3	2,0	34,8	0,0	-34,8	-	0,41	-
	Ach 4	2,2	35,3	0,1	-35,2	-	0,5	-
Mittelwert		3,7	43,8	6,7	-37,1	8,75	3,49	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Bis auf eine Art (*Ach1*) ergab sich gemäß Tabelle 14 ein sehr niedriger Gesamteindruck für *Achillea millefolium* 'Summer Pastels' in der Trockenwand mit Bewässerungsszenario A. Aufgrund dessen, kann keine Eignung für diese Art ausgesprochen werden.

Das größte Volumen der Pflanzenart war bei dem Exemplar in der obersten Wanne zu verzeichnen. Die anderen Exemplare wiesen zum Teil ein kaum messbares Volumen auf, was auf ein sehr geringes Wachstum zurückzuführen ist. Verglichen mit dem Vorjahr 2020 war das kubische Volumen im Jahr 2021 bei allen Arten geringer. Somit ergab sich durchschnittlich ein negativer Zuwachs von -37,1 dm³.

Die frische Biomasse der Arten *Ach 3* und *Ach 4* konnte aufgrund der Waage mit einer Messgenauigkeit von bis zu 1 g nicht erhoben werden. Bei den anderen Arten stimmen die Ergebnisse der Biomasse mit denen des Gesamteindrucks und des Volumens überein. Das heißt je höher das Volumen war, desto mehr Biomasse produzierte die Pflanze. Die trockene- und frische Biomasse der zwei erhobenen Arten stehen in einem Verhältnis von 1:2.

- *Echium amoenum* 'Red Feathers'

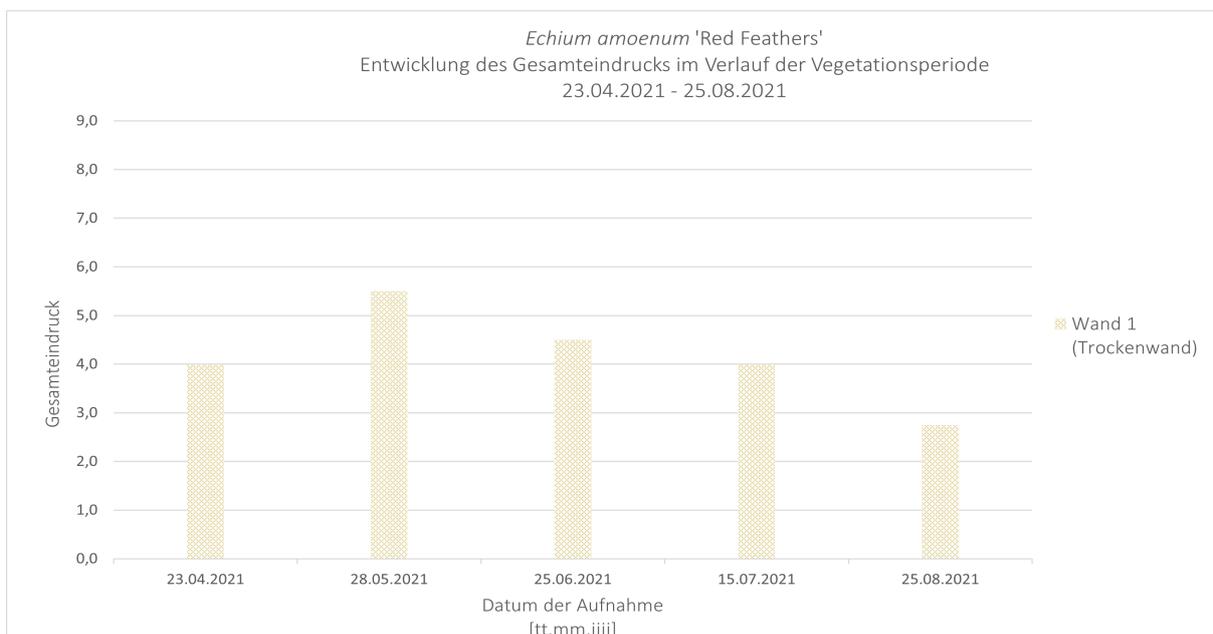


Diagramm 7: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Echium amoenum* 'Red Feathers' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der Mittelwert des Gesamteindrucks von *Echium amoenum* 'Red Feathers' blieb im Verlauf der Vegetationsperiode sehr gering und pendelt sich bei einem Wert um die 4,0 ein. Im Monat August erreichte der Gesamteindruck seinen Tiefstwert mit 2,7.

Die Blüte konnte in den Monaten Juni bis August verzeichnet werden. Bei einem Pflanzindividuum wurden im Juni Läuse entdeckt.



Abbildung 13: Entwicklung von *Echium amoenum* 'Red Feathers', April, Mai, Juli 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Mit einem Mittelwert des Gesamteindrucks von 4,2 in Wand 1 zählt *Echium amoenum* 'Red Feathers' als nicht geeignet für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (siehe Tabelle 15). Den Höchstwert erreicht die oberste Art *Ech 1* mit einem Gesamteindruck von 5,6.

Auch das kubische Volumen ist sehr gering und bei der zuoberst gepflanzten Art am höchsten. Ein sehr geringes Volumen ist bei *Ech 3* zu vermerken.

Im Juli 2020 wurde außer bei *Ech 1* ebenfalls kein großes kubisches Volumen ermittelt. Der Zuwachs nach einem Jahr ist mit -1,16 im negativen Bereich. Dies deutet darauf hin, dass *Echium amoenum* 'Red Feathers' im zweiten Jahr kein Volumen dazugewinnen konnte.

Tabelle 15: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Echium amoenum* 'Red Feathers' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Echium amoenum</i> 'Red Feathers'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Ech 1	<u>5,6</u>	<u>8,4</u>	<u>4,6</u>	-3,8	-	<u>2,37</u>	-
	Ech 2	5,2	2,0	4,1	<u>2,1</u>	-	1,57	-
	Ech 3	2,0	2,7	0,0	-2,7	-	0,25	-
	Ech 4	3,8	3,1	2,9	-0,22	-	0,57	-
Mittelwert		4,2	4,05	2,90	-1,16	1,0	1,19	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Aufgrund eines sehr geringen Gewichts (unter 1 g) der frischen Biomasse fehlen die Werte für drei Arten im frischen Zustand. Die trockene Biomasse ergab insgesamt einen Mittelwert von 1,19 g in der Trockenwand. Das Verhältnis konnte nicht erhoben werden.

- *Asphodeline lutea*

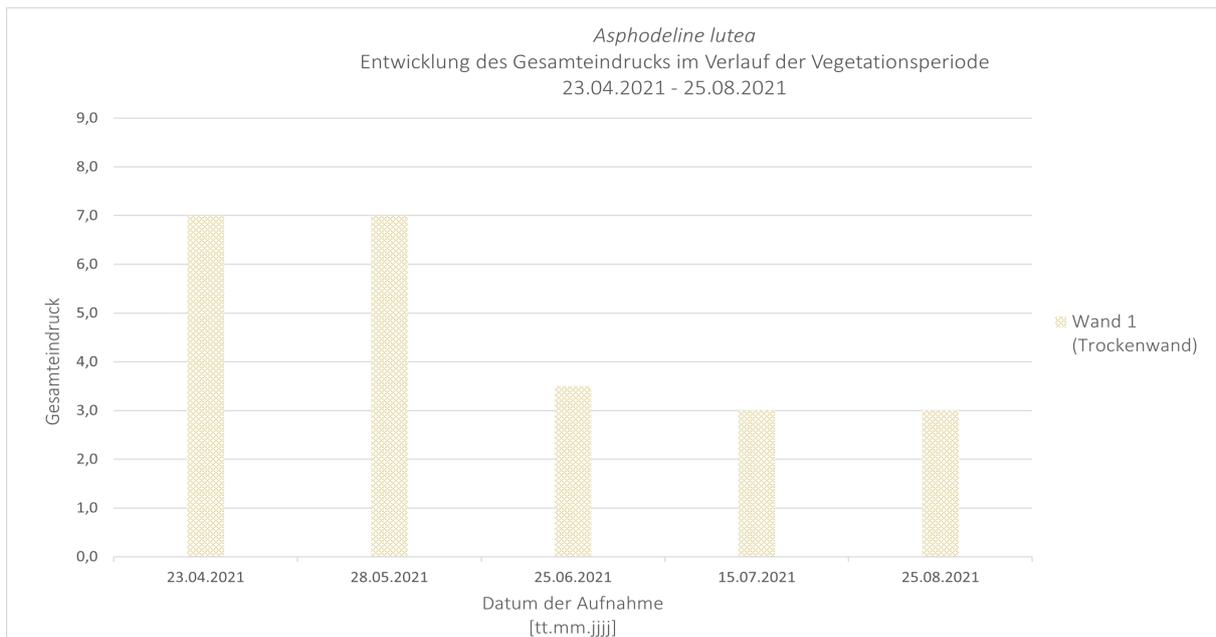


Diagramm 8: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Asphodeline lutea* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Wie in Diagramm 8 zu sehen ist, entwickelte sich der Gesamteindruck von *Asphodeline lutea* in den ersten Monaten stabil und sank im Juni auf einen Mittelwert von 3,5 ab bis im August nur noch ein Gesamteindruck von 3,0 erteilt wurde.



Abbildung 14: Entwickeln von *Asphodeline lutea*, April, Mai, August, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Bis auf eine Art, die als bedingt geeignet bewertet wurde, erreichen alle anderen Arten einen Mittelwert des Gesamteindrucks, der insgesamt keine Eignung für *Asphodeline lutea* aufweist (siehe Tabelle 16).

Auch beim kubischen Volumen zeigen sich markante Unterschiede zwischen der Art mit dem größten Volumen (As 2) und den anderen Arten, die ein deutlich kleineres Volumen entwickelt haben, bis hin zu einer Art, die ein kubisches Volumen von 0,0 dm³ zeigte.

Verglichen zu dem kubischen Volumen 2020, erreichte *Asphodeline lutea* im Vorjahr ein deutlich höheres Volumen, was im Durchschnitt ungefähr viermal so groß war als im Jahr 2021. Der Zuwachs ist bei allen Arten im negativen Bereich.

Tabelle 16: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Asphodeline lutea* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Asphodeline lutea</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm³)	Volumen Juli 21 (dm³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	As 1	4,6	34,8	0,5	-34,3	1	0,57	1:1,7
	As 2	<u>6,2</u>	<u>49,1</u>	<u>17,2</u>	-31,9	<u>8</u>	<u>1,68</u>	1:4,7
	As 3	3,4	3,3	0,0	<u>-3,3</u>	1	0,4	1:2,5
	As 4	4,6	7,5	0,8	-6,7	2	1,08	1:1,8
Mittelwert		4,7	23,7	4,6	-19,1	3,00	0,93	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Das Gewicht der trockenen Biomasse zeigt im Vergleich zu dem kubischen Volumen keinen großen Unterschied zwischen den Arten.

Das Verhältnis zwischen trockener und frischer Biomasse lässt sich mit durchschnittlich 1:2,7 angeben. Das heißt die frische Biomasse macht 2,7-mal das Gewicht der trockenen Biomasse aus.

- *Centranthus ruber* 'Coccineus'

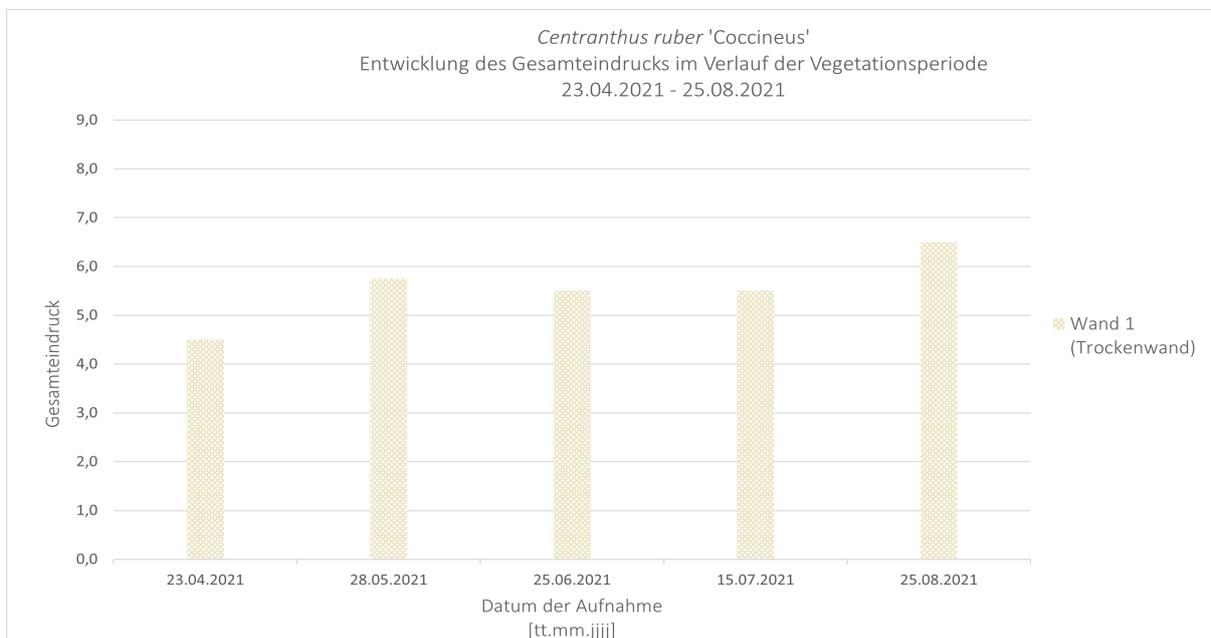


Diagramm 9: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Centranthus ruber* 'Coccineus' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Centranthus ruber 'Coccineus' entwickelte sich laut Diagramm 9 im Verlauf der Vegetationsperiode von einem anfänglichen Gesamteindruck von 4,5 im April zu einem Mittelwert von 6,5 im August. Dennoch war die Bilanz des Gesamteindrucks eher auf niedrigem Niveau.

Eine Blüte konnte im August verzeichnet werden. Bei allen Arten war ein Befall von Ameisen und Läusen zu dokumentieren.

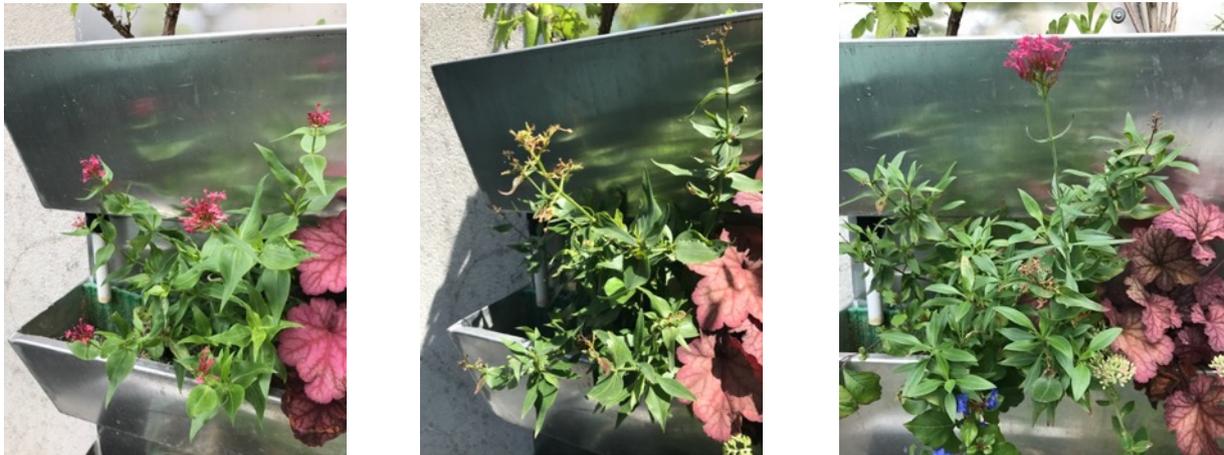


Abbildung 15: Entwicklung von *Centranthus ruber* 'Coccineus', Mai, Juli, August 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 17: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Centranthus ruber* 'Coccineus' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Centranthus ruber</i> 'Coccineus'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Cen 1	<u>6,6</u>	<u>60</u>	<u>26,0</u>	-34	<u>80</u>	<u>15,22</u>	1:5,2
	Cen 2	5,6	34,2	17,6	<u>-16,6</u>	20	4,21	1:4,7
	Cen 3	5,0	46,4	11,0	-35,4	33	5,7	<u>1:5,7</u>
	Cen 4	5,0	42,4	7,6	-34,8	8	1,95	1:4,1
Mittelwert		5,5	45,75	15,55	-30,20	35,25	6,77	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Wie in Tabelle 17 zu sehen ist, ist der Gesamteindruck von *Centranthus ruber* 'Coccineus' bei allen Arten ähnlich hoch und erreicht einen Mittelwert von 5,5 in der Trockenwand. Die oberste Art erreicht mit 6,6 einen Wert der als bedingt geeignet eingestuft werden kann. Auch der Befall von Ameisen und Läusen, der ab Juli bei den Arten *Cen 2* und *Cen 3* beobachtet wurde, könnte die Bewertung des Gesamteindrucks beeinflusst haben. Insgesamt eignet sich diese Art für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) nicht.

Im kubischen Volumen unterscheiden sich die vier gepflanzten Arten deutlicher. So misst die oberste Art *Cen 1* mit 26 dm³ mehr als dreimal so viel Volumen als die Art in der untersten Wanne mit 7,6 dm³.

Auch im Vorjahr 2020 hatte die Art in der obersten Wanne das größte kubische Volumen. Aber auch im Gesamten betrachtet waren die anderen Arten im kubischen Volumen im Vorjahr größer als im Juli 2021. So ist bei allen vier Arten ein negativer Zuwachs zu dokumentieren.

Wie auch bei den anderen Erhebungen war die Biomasse sowohl im frischen als auch im trockenen Zustand bei *Cen 1*, der Art in dem obersten Pflanztroge am größten. Damit ist sie im frischen Zustand

10-mal so hoch wie bei *Cen 4*. Die übrigen Arten korrelieren mit den Werten des kubischen Volumens. Das bedeutet je höher das kubische Volumen ist, desto höher ist auch die Biomasse.

Die trockene Biomasse im Verhältnis zur frischen Biomasse lässt sich durchschnittlich mit 1:4,9 berechnen.

- *Festuca cinerea* 'Silberreiher'

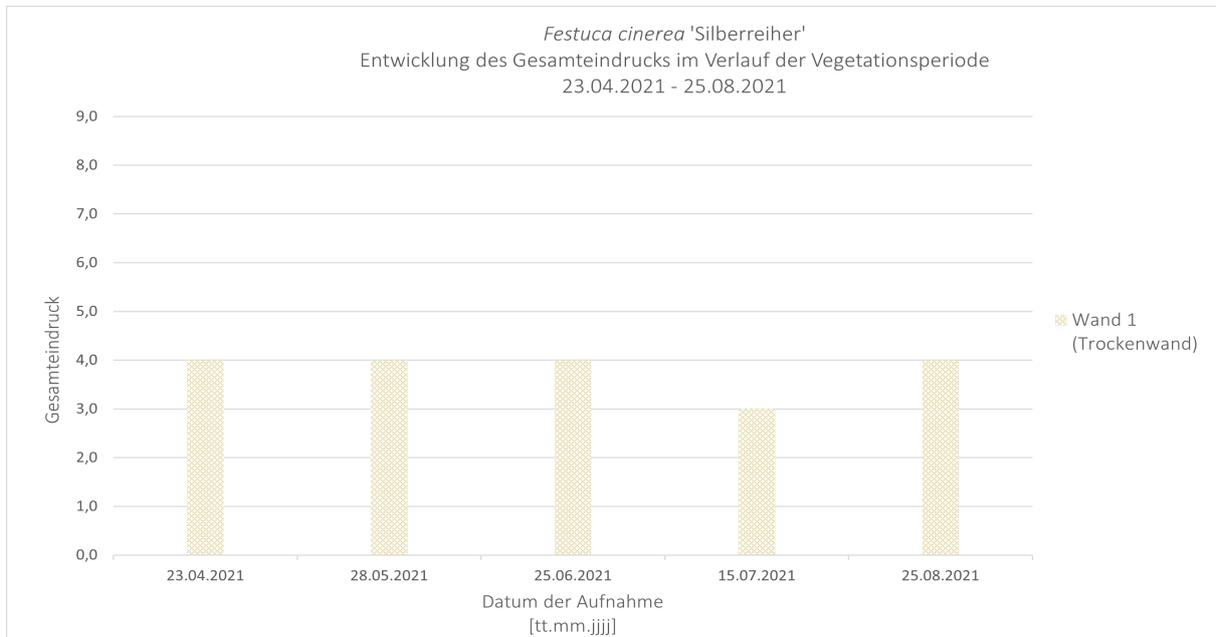


Diagramm 10: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Festuca cinerea* 'Silberreiher' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der Gesamteindruck von *Festuca cinerea* 'Silberreiher' zeigt sich in seiner Entwicklung von April bis August stagnierend auf einem Mittelwert von 4,0 außer im Juli, wo der Mittelwert nur 3,0 beträgt (siehe Diagramm 10).

Tabelle 18: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Festuca cinerea* 'Silberreiher' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Festuca cinerea</i> 'Silberreiher'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Fe 1	2,6	6,8	3,8	-3,0	*	7,62	-
	Fe 2	<u>3,4</u>	7,6	4,1	-3,5	*	9,79	-
	Fe 3	2,8	<u>8,7</u>	<u>6,4</u>	-2,3	*	11,38	-
	Fe 4	3,8	4,9	6,1	<u>1,2</u>	*	<u>11,60</u>	-
Mittelwert		3,2	7,0	5,1	-1,9	-	10,10	-

*Biomasse frisch wurde nicht erhoben, da ein zu großer Trockenanteil vorhanden war

geeignet bedingt geeignet nicht geeignet Maximalwert

Festuca cinerea 'Silberreiher' erreicht bei allen vier Arten einen Gesamtmittelwert des Gesamteindrucks von 3,2, was bedeutet, dass sich diese Art für eine trockengebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) nicht eignet (siehe Tabelle 18).

Betrachtet man das kubische Volumen, so gibt es innerhalb der Individuen nur sehr geringe Unterschiede. Im ersten Jahr 2020 betrug das kubische Volumen im Durchschnitt 7,0 im Vergleich zu 2020, wo es 5,1 erreichte. In beiden Jahren ist die Art *Fe 3* die Art mit dem größten Volumen. Der Zuwachs ist jedoch bei dieser Art und den darüber liegenden negativ. Nur bei der Art in der untersten Wanne konnte ein minimaler Zuwachs festgestellt werden.

Da *Festuca cinerea* 'Silberreiher' im frischen Zustand zum Ende der Vegetationsperiode vorwiegend trockene Pflanzenteile zeigte, wurde für diese Art keine frische Biomasse erhoben. Im getrockneten Zustand ist der Höchstwert der Biomasse ganz im Gegenteil zum kubischen Volumen bei der Art in der untersten Wanne zu verzeichnen.



Abbildung 16: Entwicklung von *Festuca cinerea* 'Silberreiher', Mai, Juli, August 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

- Thymus vulgaris

Die Art *Thymus vulgaris* in der Trockenwand (Wand 1) zeigte, wie in Diagramm 11 zu sehen ist, eine positive Entwicklung im Verlauf der Vegetationsperiode. Im April lag der Mittelwert noch bei 4,0 und erreichte im Juli den Höchstwert mit 6,0. Damit weist diese Art nur eine bedingte Eignung für eine trogebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) nach.

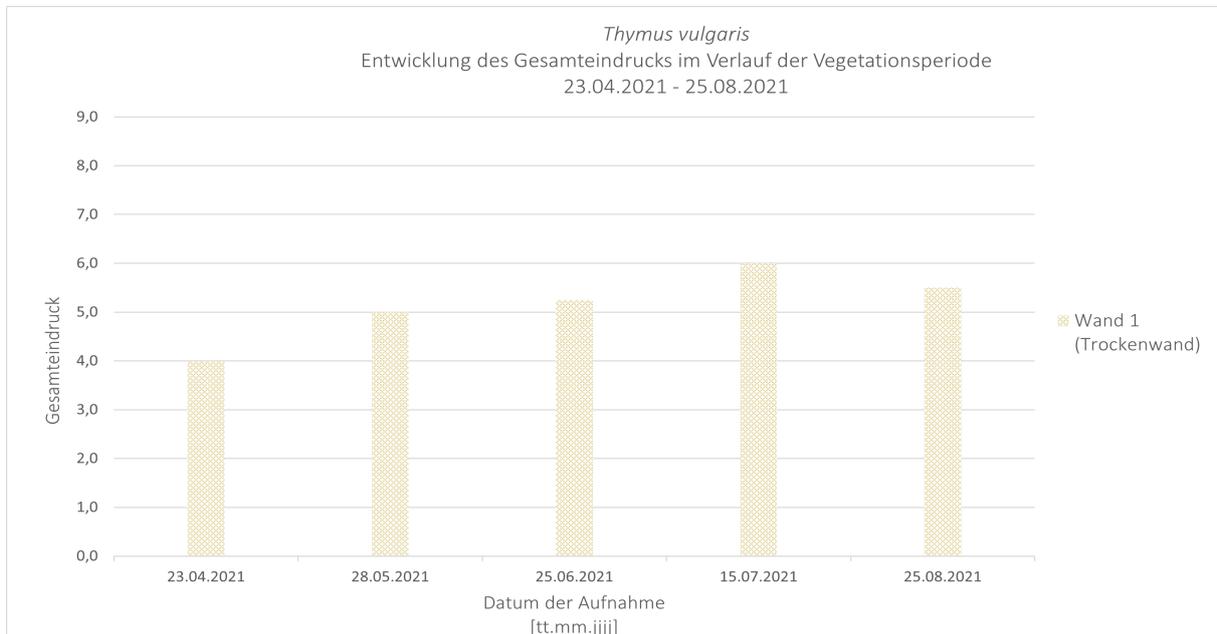


Diagramm 11: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Thymus vulgaris* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die Art in den obersten Reihen *Thy 1* wurde stark bedrängt von *Aster ageratoides* 'Asran' und demnach in ihrer Entwicklung beeinträchtigt.

Die Blüte konnte im Mai dokumentiert werden.



Abbildung 17: Entwicklung von *Thymus vulgaris*, Mai, Juli, August 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 19: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Thymus vulgaris* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Thymus vulgaris</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Thy 1	3,0	6,9	1,0	-5,9	1	0,41	1:2,4
	Thy 2	5,6	<u>19,2</u>	<u>15,6</u>	-3,6	9	5,17	1:1,7
	Thy 3	<u>6,6</u>	8,0	7,2	<u>-0,8</u>	<u>13</u>	<u>6,29</u>	1:2
	Thy 4	5,4	4,4	2,9	-1,5	4	1,24	<u>1:3,2</u>
Mittelwert		5,2	9,6	6,7	-3,0	6,75	3,28	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Aufgrund des niedrig bewerteten Gesamteindrucks laut Tabelle 19 wird *Thymus vulgaris* für dieses System als nicht geeignet betrachtet. Dabei sticht die zuoberst gepflanzte Art mit einem besonders niedrigsten Gesamteindruck heraus.

Im zweiten Versuchsjahr 2021 sticht eine Art (*Thy 2*) mit einem kubischen Volumen von 15,6 dm³ heraus. Die anderen Arten erreichten ein deutlich geringeres Volumen wie die oberste Art mit 1,0 dm³. Auch im Juli 2020 wurde, verglichen zu den anderen Arten, bei *Thy 2* ein höheres kubisches Volumen dokumentiert. Im direkten Vergleich der beiden Wachstumsjahre ist das kubische Volumen im Juli 2020 besser ausgefallen. Somit gab es bei allen Arten keinen Zuwachs.

Ein Blick auf die Biomasse zeigt, dass kein Zusammenhang mit dem kubischen Volumen besteht. Das heißt die Art mit dem höchsten kubischen Volumen ist nicht gleichzeitig die Art mit der größten Biomasse. Am meisten Biomasse produzierte *Thy 3* mit 13 g. Das durchschnittliche Verhältnis von getrockneter- zu frischer Biomasse lässt sich mit 1:2,3 angeben.

- Helleborus foetidus

Die Entwicklung des Gesamteindrucks von *Helleborus foetidus* stieg im Mai leicht an und stagnierte im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode auf einem sehr niedrigen Niveau bis im August nur noch ein Mittelwert von 1 erreicht wurde (siehe Diagramm 12). Aufgrund dieser Bewertungen kann eine Eignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) ausgeschlossen werden.

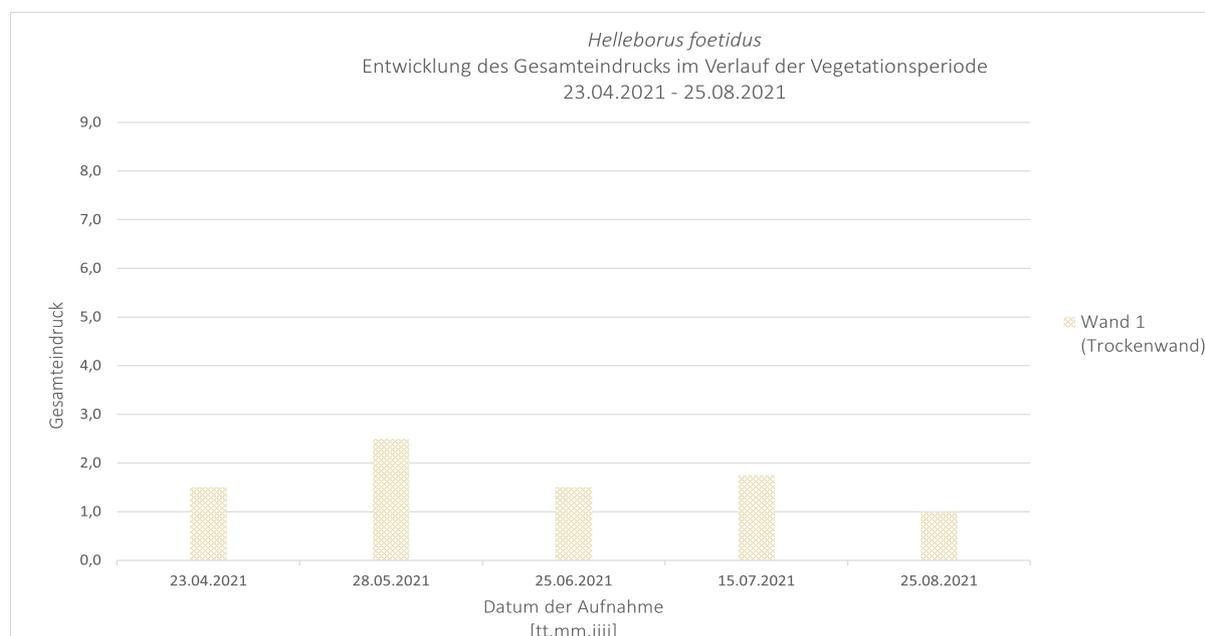


Diagramm 12: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Helleborus foetidus* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 20: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen und Biomasse von *Helleborus foetidus* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Helleborus foetidus</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Hel f. 1	0,8	<u>0,3</u>	0,0	-0,3	*	0,13	-
	Hel f. 2	0,8	0,6	0,0	-0,6	*	0,21	-
	Hel f. 3	<u>3,4</u>	4,2	<u>1,1</u>	-3,1	*	<u>0,45</u>	-
	Hel f. 4	1,6	3,3	0,2	-3,1	*	0,35	-
Mittelwert		1,65	2,10	0,33	-1,78	-	0,29	

*Gewicht konnte nicht erhoben werden, da zu gering (<1g)

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Durchschnittlich ist der Gesamteindruck mit einem Wert von 1,65 sehr niedrig ausgefallen. Dies bedeutet, dass im Verlauf der Vegetationsperiode nur noch absterbende oder skelettartige Strukturen vorzufinden waren (siehe Tabelle 20).

Auch das Volumen deutet auf eine sehr geringe Entwicklung der Art hin. So beträgt das kubische Volumen maximal 1,1 dm³ bei der dritten Art. Im Vorjahr erzielte das kubische Volumen zwar höhere Werte, aber fiel dennoch sehr gering aus.

Die Biomasse konnte im feuchten Zustand nicht gemessen werden, da sie zu unter 1 g betrug. Im trockenen Zustand wurde bei der dritten Art die größte Biomasse mit 0,45 g gemessen. Dies korreliert mit dem kubischen Volumen, welches bei dieser Art das größte war.



Abbildung 18: Entwicklung von *Helleborus foetidus* in der Trockenwand April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung)

- *Satureja montana* ‚Citriodora‘

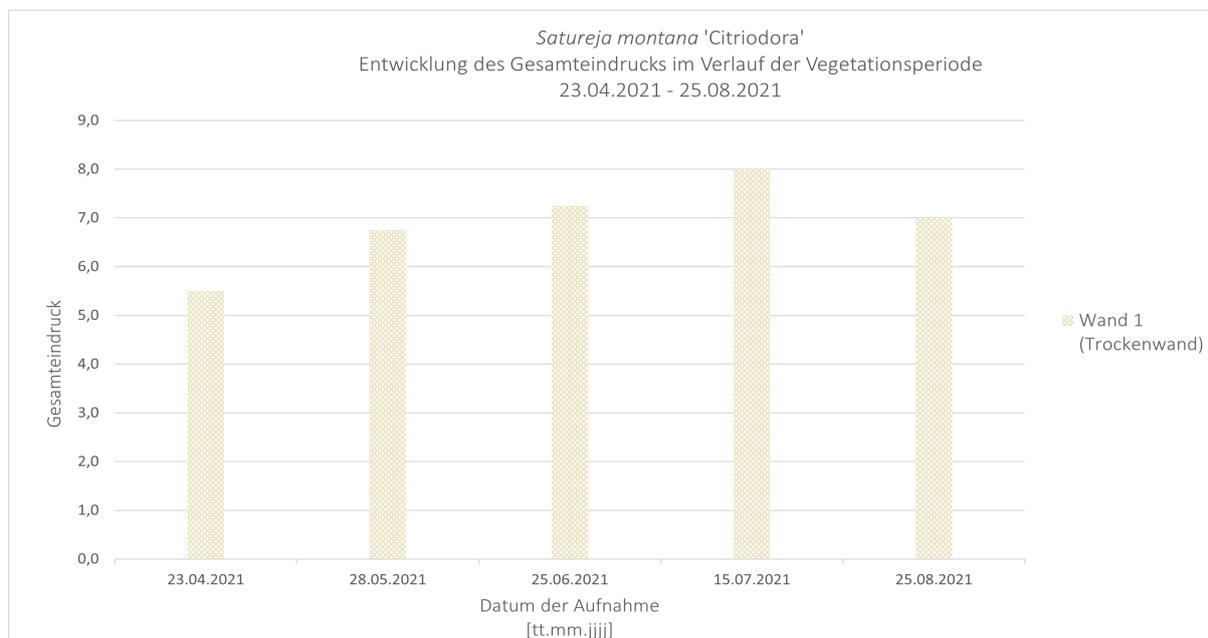


Diagramm 13: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Satureja montana* ‚Citriodora‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Satureja montana entwickelte sich im Verlauf der Vegetationsperiode stetig positiv. Nur im August ist ein Abwärtstrend zu erkennen (siehe Diagramm 13). Der Höchstwert des Gesamteindrucks wurde im Juli 2021 mit 8,0 gemessen.

Eine Blüte wurde während der Bonitur nicht dokumentiert, aber die Art in der obersten Wanne zeigte im August verwelkte Blütenköpfe.

Tabelle 21: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen und Biomasse von *Satureja montana* ‚Citriodora‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Satureja montana</i> ‚Citriodora‘								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Sat 1	<u>8,2</u>	<u>34,3</u>	<u>24,3</u>	-10,0	<u>31</u>	<u>17,52</u>	1:1,7
	Sat 2	6,8	17,3	15,4	<u>-1,9</u>	21	9,43	1:2,2
	Sat 3	6,8	33,0	11,5	-21,5	24	11,79	1:2
	Sat 4	5,8	9,6	3,4	-6,2	5	1,53	<u>1:3,2</u>
Mittelwert		6,9	23,6	13,7	-9,9	20,25	10,07	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Im Mittelwert erreichte *Satureja montana* ‚Citriodora‘ in der Trockenwand einen Gesamteindruck von 6,9 (siehe Tabelle 21). Dabei wurde die Art in der obersten Wanne mit einem Gesamteindruck von 8,2 am besten bewertet. Insgesamt weist die Art eine bedingte Eignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) auf.

Auch im kubischen Volumen erweist sich die höchstgepflanzte Art *Sat 1* mit einem Volumen von 24,3 dm³ als die größte Art. Verglichen zu den anderen Arten, erreichte diese Art ein deutlich größeres Volumen. Im Vorjahr war auch die oberste Art, die Art mit dem größten Volumen. Auch die anderen Arten wiesen ein höheres Volumen im Juli 2020 auf als im Juli 2021. Somit gab es keinen positiven Zuwachs zu verzeichnen.

Sowohl im frischen als auch im trockenen Zustand produzierte *Satureja montana* ‚Citriodora‘ in der obersten Wanne die größte Biomasse. Das Verhältnis von trockener- und frischer Biomasse entspricht durchschnittlich 1:2,2.

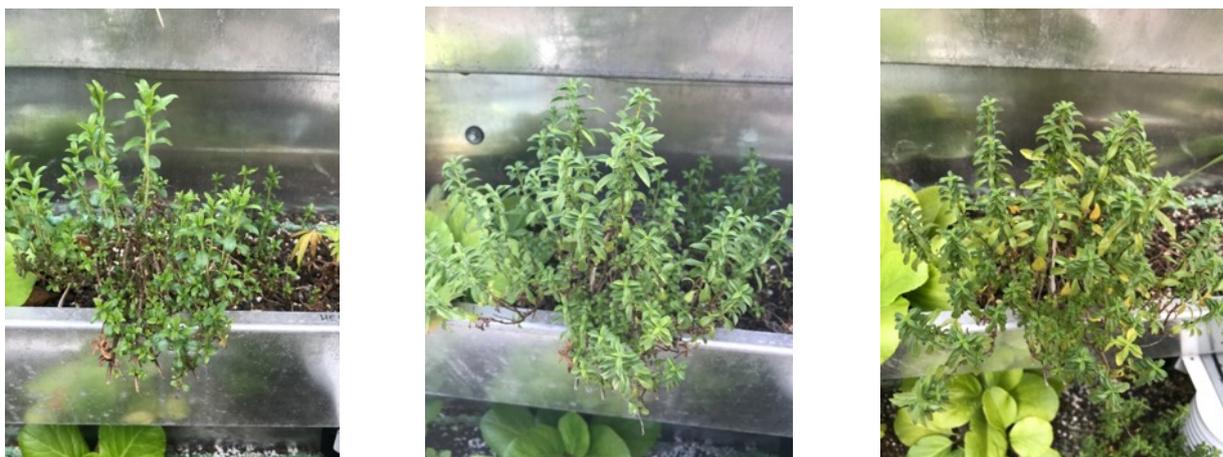


Abbildung 19: Entwicklung von *Satureja montana* ‚Citriodora‘ in der Trockenwand, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Der erste Blütenansatz konnte im April verbucht werden.

- *Euphorbia polychroma* 'Bonfire'

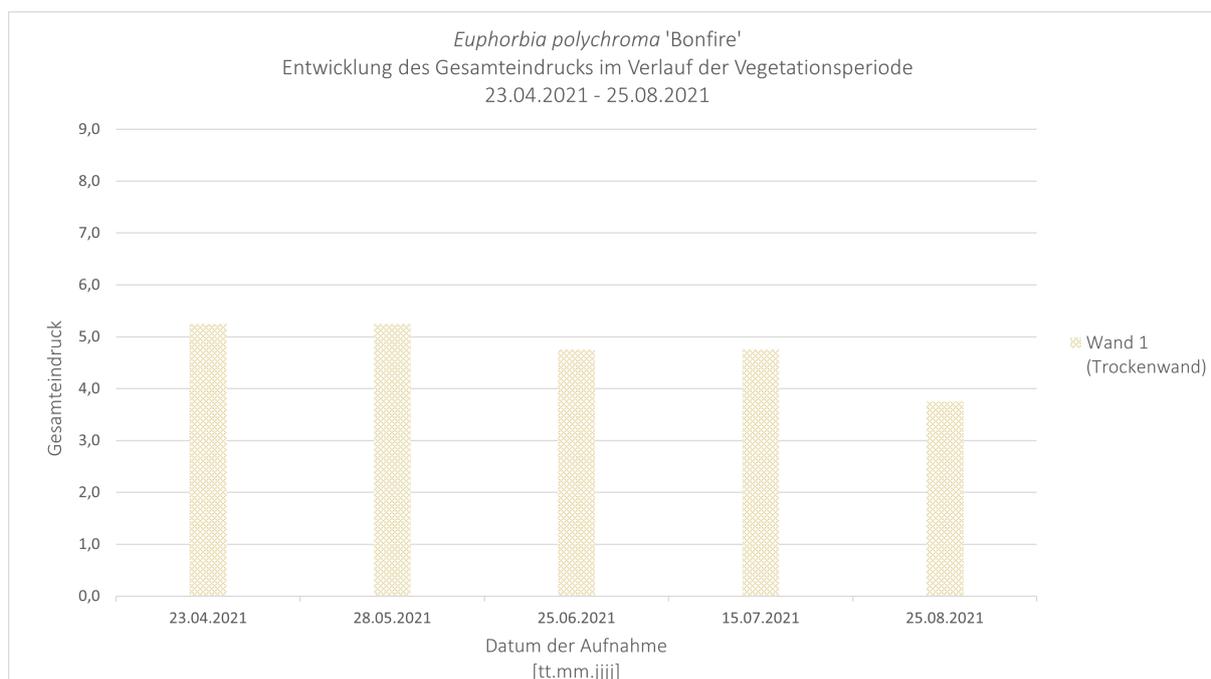


Diagramm 14: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Euphorbia polychroma* 'Bonfire' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die Art *Euphorbia polychroma* 'Bonfire' entwickelte sich in ihrem Gesamteindruck während der Vegetationsperiode stagnierend auf einem anfänglichen Wert von 5,3 und nimmt bis in den Monat August in ihrem Gesamteindruck ab mit einem Wert von 3,8 (siehe Diagramm 14). Demnach ist eine Eignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) für diese Art auszuschließen.

Tabelle 22: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse *Euphorbia polychroma* 'Bonfire' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Sat 1	<u>6,6</u>	<u>81,0</u>	<u>13,2</u>	-67,8	<u>5</u>	1,75	<u>1:2,8</u>
	Sat 2	6,0	8,8	9,3	<u>0,5</u>	2	1,19	1:1,6
	Sat 3	0,0	3,7	0,0	-3,7	0	0	-
	Sat 4	6,4	19,4	<u>13,2</u>	-6,2	<u>5</u>	<u>1,8</u>	1:2,7
Mittelwert		4,8	28,2	8,9	-19,3	3,00	1,19	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Wie in Tabelle 22 zu sehen ist, erreicht der Gesamteindruck im Mittel aller Arten einen Wert von 4,8, was als nicht geeignet zu bewerten ist. Hierbei ist ein Blick auf die einzelnen Arten allerdings von Bedeutung, da alle Arten bis auf eine (Sat 3) mit einem Gesamteindruck von über 6,0 bewertet wurden. Die dritte Art wurde mit 0 bewertet, da es nach dem Winter zu einem Ausfall dieses Individuums kam. Wenn man dies berücksichtigt, ist *Euphorbia polychroma* 'Bonfire' durchaus als bedingt geeignet einzustufen.

Im kubischen Volumen ist unter den Individuen kein markanter Unterschied zu vermerken. Mit einem Maximalwert von 13,2 dm³ ist das kubische Volumen allerdings als niedrig zu bewerten

Gerade in Anbetracht desselben Monats im Jahr zuvor, wo das kubische Volumen einen Maximalwert von 81,0 dm³ erreichte. Wobei dieser Wert nur bei einer Art gemessen wurde und als eine Ausnahme zu sehen ist. Dennoch ist der Zuwachs im zweiten Jahr mit -19,3 dm³ als negativ zu bewerten, was bedeutet, dass die Entwicklung dieser Art über einen längeren Zeitraum betrachtet werden muss.

Die erhobene Biomasse erreicht einen Mittelwert von 1,19 g und ist mit ihrer trockenen- zu frischen Biomasse mit einem Verhältnis von 1:1,6 in Relation zu setzen.

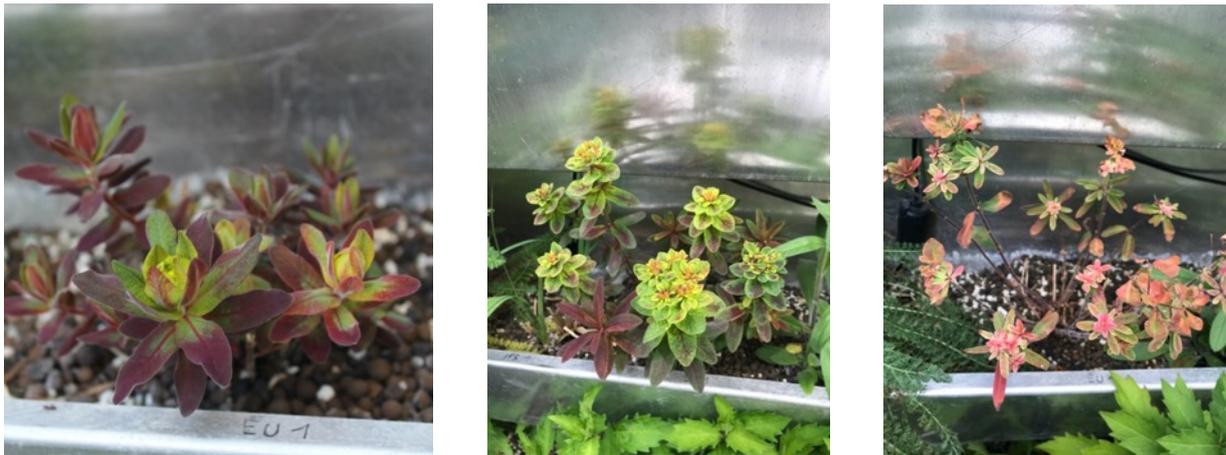


Abbildung 20: Entwicklung von *Euphorbia polychroma* 'Bonfire' in der Trockenwand April, Mai, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung)

- *Ceratostigma plumbaginoides*

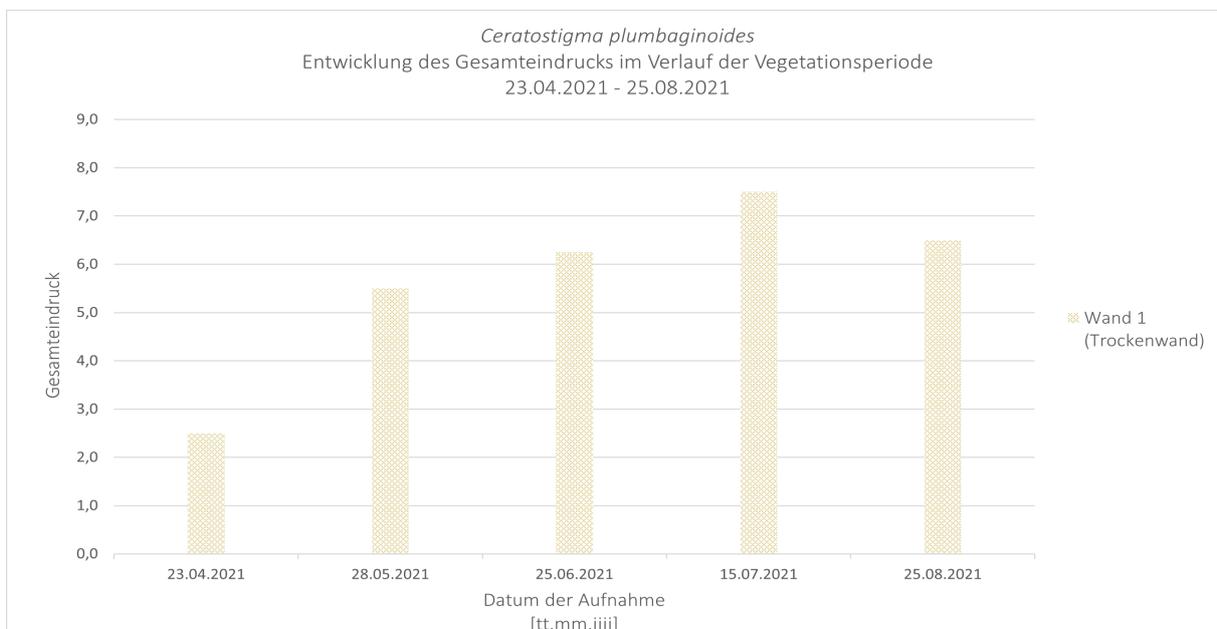


Diagramm 15: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Ceratostigma plumbaginoides* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der im April noch sehr gering bewertete Gesamteindruck von *Ceratostigma plumbaginoides* erholte sich schnell und stieg im Verlauf der Vegetationsperiode auf einen Maximalwert von 7,5 im Juli 2021 (siehe Diagramm 15). Im August sank der Mittelwert jedoch wieder auf 6,5 ab.

Eine Blüte konnte im August verzeichnet werden.

Tabelle 23: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Ceratostigma plumbaginoides* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Cer 1	5,8	2,7	<u>18,9</u>	<u>16,2</u>	<u>21</u>	<u>7,39</u>	1:2,8
	Cer 2	<u>6,2</u>	5,5	7,8	2,3	17	6,68	1:2,5
	Cer 3	5	<u>9,2</u>	3,0	-6,2	3	1,69	1:1,7
	Cer 4	4,4	8,6	2,3	-6,3	4	1,37	<u>1:2,9</u>
Mittelwert		5,35	6,50	8,00	1,50	11,25	4,28	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Wie in Tabelle 23 zu sehen, erreicht die Art *Ceratostigma plumbaginoides* in Wand 1 einen Mittelwert von 5,35 und ist daher für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A nicht geeignet. Nur *Cer 2* kommt auf einen höheren Mittelwert im Gesamteindruck.

Beim kubischen Volumen grenzt sich eine Art (*Cer 1*) mit einem deutlich höheren kubischen Volumen von den anderen Arten ab. Mit 18,9 dm³ ist dies mehr als doppelt so viel, als bei *Cer 2*. Im Jahresvergleich ist zu sehen, dass dieselbe Art (*Cer 1*) im Jahr zuvor das niedrigste Volumen hervorbrachte. Insgesamt zeigt der Mittelwert ein leicht höheres Volumen im Jahr 2021.

Die Art mit dem größten Volumen zeigt laut Tabelle 23 auch den größten Wert sowohl in der frischen als auch in der getrockneten Biomasse. Auffällig ist bei *Ceratostigma plumbaginoides* außerdem, dass die Arten in den oberen Wannen eine höhere Biomasse und ein höheres Volumen entwickelten als die Arten in den unteren Reihen.

Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse beträgt durchschnittlich 1:2,07.

Tabelle 24: Erhebungen der Blattfläche von *Ceratostigma plumbaginoides* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Cer 1	<u>0,04</u>	<u>3,86</u>	<u>3,82</u>
	Cer 2	<u>0,04</u>	1,78	1,74
	Cer 3	0,00	0,77	0,77
	Cer 4	0,00	0,61	0,61
Mittelwert		0,02	1,76	1,74

Maximalwert

Tabelle 24 zeigt die Blattfläche und deren Zuwachs von *Ceratostigma plumbaginoides*. Bei allen Arten ist ein positiver Zuwachs von April bis Juli zu erkennen, jedoch in einem geringen Ausmaß. Die größte Blattfläche ist bei *Cer 1* mit 3,86 dm² zu verzeichnen und damit sechsmal so groß wie *Cer 4* mit 0,61 dm². Auch der Zuwachs ist der größte bei *Cer 1*.



Abbildung 21: Entwicklung von *Ceratostigma plumbaginoides* in der Trockenwand, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

5.1.2.1 Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich aus den Ergebnissen der Pflanzenarten in der Trockenwand (1) ableiten, dass die meisten Arten mit einer geringen Wasserzufuhr, wie es bei Wand 1 der Fall war, in einer trogebundenen Fassadenbegrünung nicht gut zurechtkamen. Für kaum eine Pflanzenart konnte eine gute Bewertung im Gesamteindruck gegeben werden. Der mangelhafte Zustand der Pflanzen ist auch an der oft sehr geringen Biomasse und dem niedrigen kubischen Volumen der Arten festzustellen. Lediglich die Arten *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' und *Satureja montana* 'Citriodora' eigneten sich hinsichtlich ihres Gesamteindrucks für die gering bewässerte Begrünungswand.

Verglichen zum Vorjahr war das gemessene kubische Volumen bei allen Arten bis auf *Bergenia cordifolia* und *Ceratostigma plumbaginoides* geringer im zweiten Versuchsjahr.

5.1.3 Auswertungen der Erhebungen Vergleich Trockenwand und Schmuckwände

Im folgenden Unterkapitel werden die Ergebnisse der Arten dargestellt, die sowohl in der Trockenwand (Wand 1) als auch in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3) wuchsen. Dazu zählen die fünf Arten *Aster ageratoides* 'Asran', *Salvia officinalis*, *Heuchera x cultorum*, *Bergenia cordifolia*, *Iris x barbata-nana* 'Path of Gold'. Somit können die Auswirkungen der unterschiedlichen Bewässerungsszenarien auf die Pflanzenarten in troggebundener Fassadenbegrünung veranschaulicht werden.

- *Aster ageratoides* 'Asran'

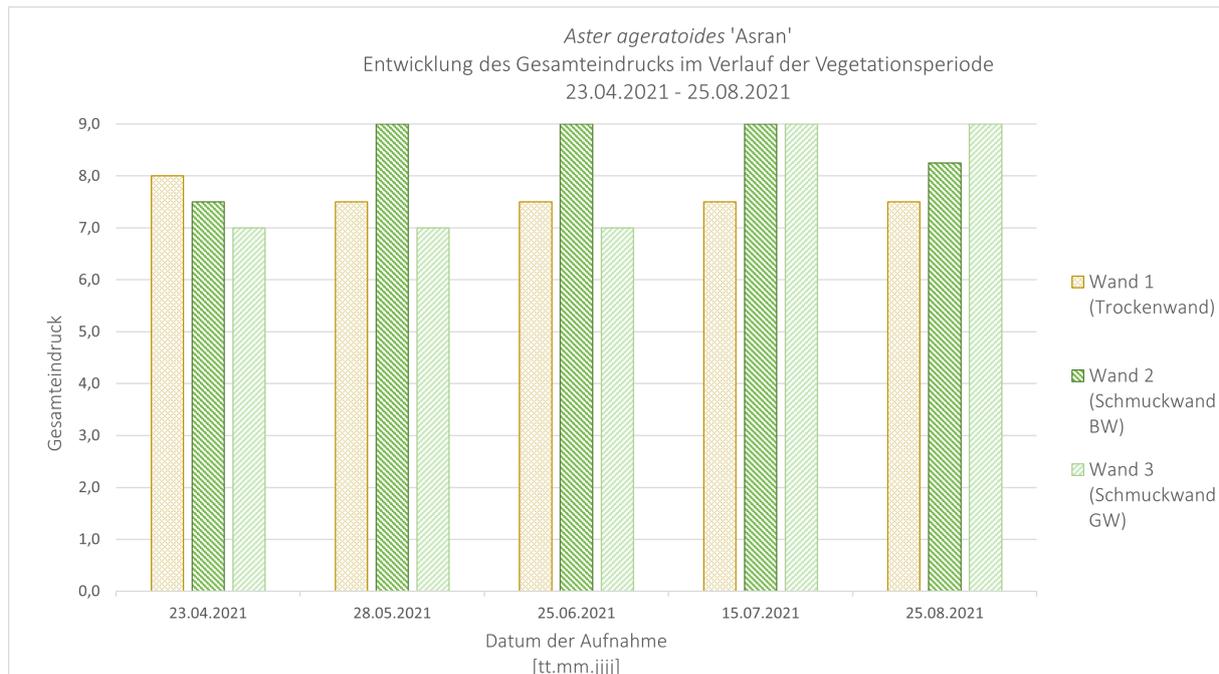


Diagramm 16: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Aster ageratoides* 'Asran' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Wie in Diagramm 16 dargestellt, entwickelte sich der Gesamteindruck von *Aster ageratoides* 'Asran' in den Monaten April bis Juli 2021 unterschiedlich in den Versuchswänden 1-3. In der Trockenwand (Wand 1) wurde der Gesamteindruck zu Beginn am höchsten bewertet und sank leicht ab auf einen Wert von 7,5, welcher konstant blieb. Die Schmuckwände starteten zunächst mit einem ähnlich hohen Gesamteindruck im April und stiegen unterschiedlich schnell auf einen Gesamteindruck von bis zu 9,0 bis in den August hinein.

Diese Art bildete stark Ausläufer und bedrängte benachbarte Arten. Der erste Blütenansatz konnte im August verzeichnet werden.



Abbildung 22: Entwicklung von *Aster ageratoides* in Wand 1 (links), Wand 2 (mitte), Wand 3 (rechts) Mai 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Tabelle 25: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Aster ageratoides* 'Asran' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Ast 1	<u>9,0</u>	<u>87,1</u>	84,6	-2,5	137	<u>42,97</u>	1:3,1
	Ast 2	7,0	86,0	37,7	-48,3	56	15,9	1:3,5
	Ast 3	7,4	56,3	26,9	-29,4	42	13,29	1:3,1
	Ast 4	7,0	59,5	28,5	-31,0	45	13,49	1:3,3
Mittelwert		7,6	72,2	44,4	-27,8	70	21,41	
W2	Ast 1	8,0	60,8	80,0	19,2	90	28,32	1:3,1
	Ast 2	8,6	56,0	52,7	-3,3	73	20,73	1:3,5
	Ast 3	<u>9,0</u>	35,7	<u>96,9</u>	<u>61,2</u>	92	26,59	1:3,4
	Ast 4	8,6	64,2	63,9	-0,3	71	20,33	1:3,4
Mittelwert		8,6	54,2	73,4	19,2	81,5	23,99	
W3	Ast 1	8,6	41,6	71,8	30,2	109	31,77	1:3,4
	Ast 2	7,8	24,3	20,3	-4	47	13,38	1:3,5
	Ast 3	8,2	30,7	35,4	4,7	63	18,25	1:3,4
	Ast 4	8,4	43,6	55,5	11,9	60	17,71	1:3,3
Mittelwert		8,3	35,1	45,8	10,70	69,75	20,28	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

In allen drei Wänden zeigt sich *Aster ageratoides* 'Asran' als durchaus geeignete Art für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit verschiedenen Bewässerungsszenarien (A, B und C). Der Mittelwert von Wand 1 ist im Vergleich zu den Wänden 2 und 3 geringer aber dennoch als sehr positiv zu bewerten. Die Schmuckwände (Wand 2 und 3) lassen sich in der Bewertung ihres Gesamteindrucks nicht deutlich unterscheiden (siehe Tabelle 25).

Betrachtet man das kubische Volumen der verschiedenen Wände, so sticht Wand 2, welche mit Brunnenwasser bewässert wurde, mit einem durchschnittlichen höheren Wert heraus. Wand 1 und

Wand 3 ähneln sich in ihrem gemessenen Volumen. Was bei allen Wänden auffällt, ist dass die Art in der obersten Wanne meistens ein deutlich größeres kubisches Volumen misst, als die anderen Arten.

Verglichen mit dem ersten Wachstumjahr, wurde im Juli 2020 das größte kubische Volumen in Wand 1 gemessen. Der durchschnittliche Zuwachs ist im zweiten Wachstumjahr demnach nur in Wand 2 und Wand 3 positiv. Dabei unterscheiden sich hier die Individuen untereinander. Von insgesamt 12 Arten gab es bei 5 Arten einen positiven Zuwachs.

Die Biomasse wog im frischen, als auch im trockenen Zustand in allen drei Wänden ähnlich viel. Auch hier fällt auf, dass die Arten in den obersten Wannen der jeweiligen Wände die größte Biomasse produzierten. Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse kann durchschnittlich mit 1:3,3 angegeben werden.

Tabelle 26: Erhebungen der Blattfläche von *Aster ageratoides* 'Asran' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Ast 1	<u>8,20</u>	17,87	9,67
	Ast 2	4,14	12,46	8,32
	Ast 3	7,66	10,71	3,05
	Ast 4	5,36	10,99	5,63
Mittelwert		6,34	13,01	6,67
W2	Ast 1	5,48	17,43	<u>11,95</u>
	Ast 2	6,09	14,47	8,38
	Ast 3	7,39	<u>18,99</u>	11,60
	Ast 4	5,95	15,77	9,82
Mittelwert		6,23	16,67	10,44
W3	Ast 1	5,68	17,60	11,92
	Ast 2	5,05	9,45	4,40
	Ast 3	4,36	12,11	7,75
	Ast 4	6,57	14,80	8,23
Mittelwert		5,42	13,49	8,08

Maximalwert

Die Blattfläche unterscheidet sich in allen drei Wänden nicht markant. Ein Maximalwert der Leaf Area wurde in Wand 2 bei der Art *Ast 3* erreicht. Dies ist jedoch eine Ausnahme. Sonst zeichnet sich wie bei der Biomasse und dem kubischen Volumen ab, dass die obersten Arten in jeder Wand in ihrer Blattfläche größer sind als die weiter unten wachsenden Arten. Hinsichtlich des Zuwachses ist ebenfalls der größte Zuwachs bei den zuoberst gepflanzten Arten zu vermerken (siehe Tabelle 26).

- *Iris barbata-nana* 'Path of Gold'

Der Gesamteindruck von *Iris barbata-nana* 'Path of Gold' in den Wänden 1-3 wurde in folgendem Diagramm 17 dargestellt. Zu Beginn der Vegetationsperiode im April zeigte sich kein wesentlicher Unterschied zwischen den drei unterschiedlich bewässerten Wänden. Dies änderte sich jedoch schnell im weiteren Verlauf. Während *Iris b.* in der Trockenwand (Wand 1) über die Monate hinweg in ihrem Gesamteindruck stagnierte oder sich verschlechterte, war in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3) zunächst eine Verbesserung des Gesamteindrucks zu beobachten. Auch dieser nahm allerdings in den Monaten Juli und August wieder ab. Der Vergleich zwischen Wand 2 und Wand 3 zeigt

durchschnittlich einen minimal geringeren Gesamteindruck in Wand 3 (Bewässerungsszenario C – Grauwasser).



Diagramm 17: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Iris barbata-nana* 'Path of Gold' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 27: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Iris barbata-nana* 'Path of Gold' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Iris barbata-nana</i> 'Path of Gold'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Iris b. 1	6,4	19,4	15,1	-4,3	20	<u>4,84</u>	1:4,1
	Iris b. 2	5,6	13,2	9,4	-3,8	6	1,94	1:3,0
	Iris b. 3	5,6	10,5	3,9	-6,6	3	1,39	1:2,1
	Iris b. 4	5,6	22,4	2,5	-19,9	3	1,58	1:1,8
Mittelwert		5,8	16,4	7,7	-8,65	8	2,44	
W2	Iris b. 1	<u>7,4</u>	15,5	<u>37,4</u>	21,9	19	4,35	1:4,3
	Iris b. 2	7,0	12,0	17,3	5,3	15	3,60	1:4,1
	Iris b. 3	6,6	17,2	6,9	-10,3	15	2,85	1:5,2
	Iris b. 4	7,0	24,3	14,6	-9,7	20	3,60	1:5,5
Mittelwert		7,0	17,3	19,1	1,8	17,25	3,60	
W3	Iris b. 1	7,0	2,6	32,0	<u>29,4</u>	<u>22</u>	4,73	1:4,6
	Iris b. 2	6,2	14,0	17,5	3,5	12	2,57	1:4,6
	Iris b. 3	6,8	<u>30,3</u>	13,5	-16,8	16	3,85	1:4,1
	Iris b. 4	7,0	9,5	14,8	5,3	15	3,22	1:4,6
Mittelwert		6,8	14,1	19,5	5,35	16,25	3,59	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Laut Tabelle 27 ist für die Art *Iris barbata-nana* 'Path of Gold' der Gesamteindruck in Wand 1 mit 5,8 als nicht geeignet zu bewerten. Dagegen erreichte die Art in Wand 2 einen Mittelwert von 7,0 und

eignet sich dementsprechend für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B (mittlerer Wasserverbrauch). Für Wand 3 kann nur eine bedingte Eignung dieser Art ausgesprochen werden. Der Unterschied unter den Individuen der beiden Schmuckwände ist im Gesamteindruck nicht prägnant.

In Anbetracht des kubischen Volumens kann ein deutlicher Unterschied zwischen der Trockenwand und den Schmuckwänden festgestellt werden. So erreichte *Iris barbata-nana* 'Path of Gold' in den Schmuckwänden im Mittelwert ein Volumen von über 19,0 dm³ und damit fast die dreifache Größe der Arten in der Trockenwand.

Ein Jahr zuvor glich das kubische Volumen in der Trockenwand dem der Schmuckwände. Im zweiten Versuchsjahr erreichte keine Art in der Trockenwand einen positiven Zuwachs. Während den Schmuckwänden insgesamt ein minimaler Zuwachs zugesprochen werden kann. Beachtlich ist vor allem der Zuwachs von *Iris b. 1* in Wand 3, die im Vorjahr noch ein sehr geringes Volumen aufwies und im zweiten Jahr das höchste Volumen dieser Wand erreichte.

Insbesondere im frischen Zustand der Pflanzenindividuen ist ein Unterschied zwischen den Schmuckwänden und der Trockenwand zu erkennen. So ist das geringste Gewicht in Wand 1 zu verorten, während sich das Gewicht in den Schmuckwände ähnelt. Im trockenen Zustand hingegen ist diese Abweichung nicht mehr so deutlich. Trotz des deutlich geringeren kubischen Volumens in Wand 1, sticht hier die Art in der obersten Wanne mit der größten trockenen Biomasse heraus. Auch in Wand 2 und 3 produzierte die zuoberst wachsende Art die größte Biomasse.

Das Verhältnis zwischen trockener- und frischer Biomasse lässt sich durchschnittlich mit 1:4 errechnen.

Tabelle 28: Erhebungen der Blattfläche von *Iris barbata-nana* 'Path of Gold' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Iris barbata-nana</i> 'Path of Gold'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Iris b. 1	2,53	3,46	0,93
	Iris b. 2	1,41	2,82	1,41
	Iris b. 3	1,67	1,93	0,26
	Iris b. 4	1,02	1,59	0,57
Mittelwert		1,66	2,45	0,79
W2	Iris b. 1	2,71	<u>5,13</u>	<u>2,42</u>
	Iris b. 2	1,61	3,67	2,06
	Iris b. 3	1,9	2,47	0,57
	Iris b. 4	2,53	3,41	0,88
Mittelwert		2,19	3,67	1,48
W3	Iris b. 1	2,45	4,80	2,35
	Iris b. 2	1,41	3,69	2,28
	Iris b. 3	<u>2,79</u>	3,30	0,51
	Iris b. 4	2,07	3,43	1,36
Mittelwert		2,18	3,81	1,63

Maximalwert

Die sowohl für den Monat April als auch für Juli errechnete Blattfläche in Wand 1, ist geringer als in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3). Dennoch wurde ein positiver Zuwachs der Blattfläche für alle Arten in der Trockenwand gemessen. Die Blattflächen der Arten in den Schmuckwänden kamen einander gleich. Dabei ist der Zuwachs in Wand 3 doppelt so hoch als in Wand 1 (siehe Tabelle 28).



Abbildung 23: Entwicklung von *Iris barbata-nana* 'Path of Gold' in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung)

- *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie'

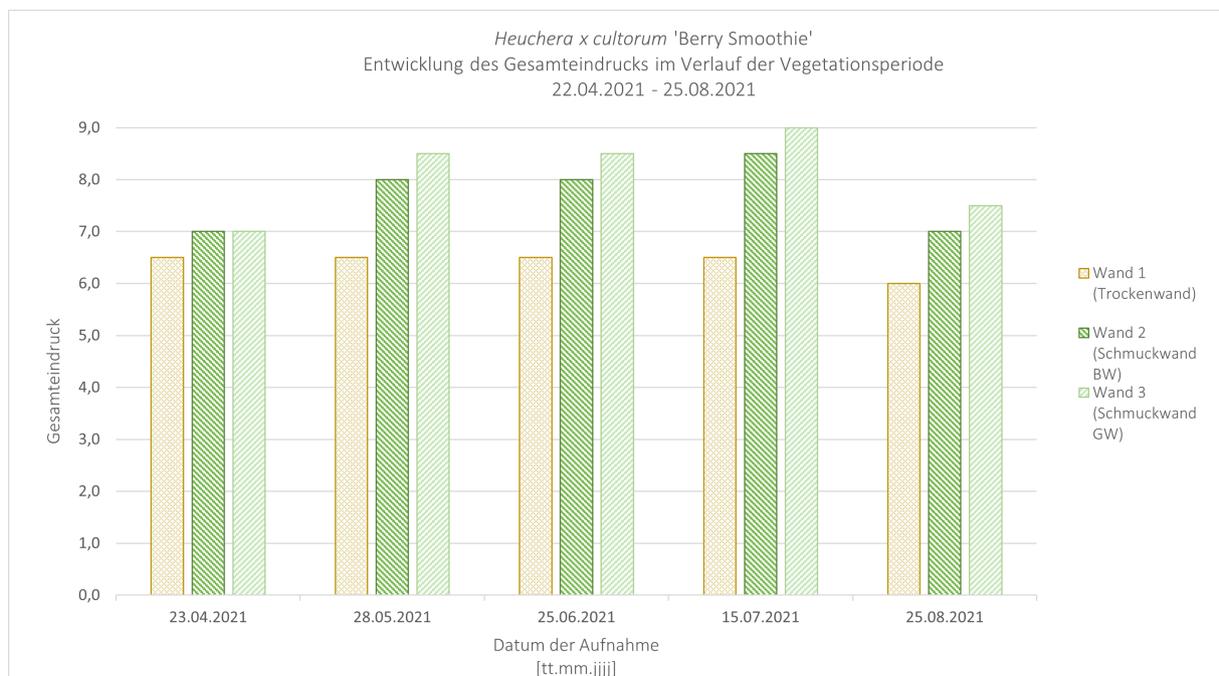


Diagramm 18: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Für *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' lässt sich die Entwicklung des Gesamteindrucks im Verlauf der Vegetationsperiode wie folgt beschreiben. Im April erreichte die Art in allen drei Versuchswänden einen gleichartigen Gesamteindruck. Während sich der Gesamteindruck in Wand 1 (Trockenwand) auf 6,5 bis Juli hielt, stieg dieser in Wand 2 und 3 auf über 8,0. Im Monat August war der durchschnittliche Gesamteindruck in allen Wänden niedriger als in den Monaten zuvor. Dies war auch im Jahr zuvor bei dieser Art zu beobachten, wobei sich der Gesamteindruck in den Schmuckwänden ab September wieder verbesserte (ANTONI 2021).

Im Mai bildete sich bei einzelnen Arten der erste Blütenansatz oder die erste Blüte, welche bis in den Monat Juli andauerte.

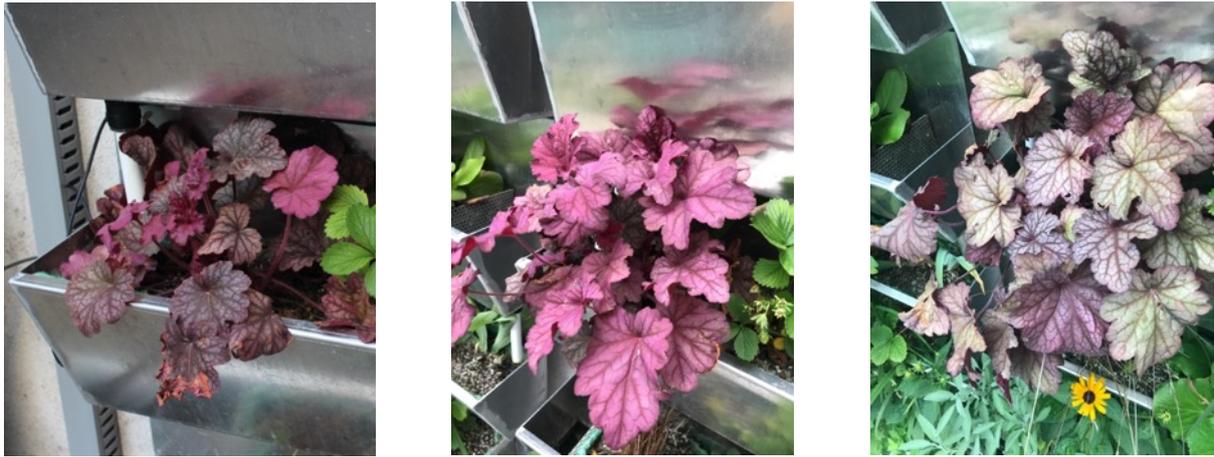


Abbildung 24: Entwicklung von *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Tabelle 29: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Heu 1	7,0	31,2	23,4	-7,8	39	13,9	1:2,8
	Heu 2	6,6	34,0	44,9	10,9	36	14,03	1:2,5
	Heu 3	7,0	41,0	19,6	-21,4	29	12,4	1:2,3
	Heu 4	5,4	31,2	12,4	-18,8	25	9,54	1:2,6
Mittelwert		6,5	34,4	25,1	-9,28	32,25	49,87	
W2	Heu 1	8,0	44,9	<u>76,0</u>	31,1	97	28,74	1:3,3
	Heu 2	7,0	34,8	62,2	27,4	52	14,77	1:3,5
	Heu 3	7,8	<u>51,1</u>	37,9	-13,2	53	17,75	1:2,9
	Heu 4	7,4	56,8	70,4	13,6	61	23,8	1:2,5
Mittelwert		7,6	46,9	61,6	14,73	65,75	85,06	
W3	Heu 1	8,0	43,4	64,0	20,6	98	25,62	1:3,8
	Heu 2	7,8	66,8	59,9	-6,9	60	19,33	1:3,1
	Heu 3	8,2	44,8	62,2	17,4	75	28,23	1:2,6
	Heu 4	7,8	38,3	35,4	-2,9	50	18,53	1:2,6
Mittelwert		8,0	48,3	55,4	7,05	70,75	91,71	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

In der Trockenwand (1) ergab der Mittelwert des Gesamteindrucks 6,5, in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3) ergab er 7,6 und in der Reinigungswand (4) 8,0 (siehe Tabelle 29). Somit gilt *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' als gut geeignet für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit mittlerem Wasserverbrauch und als nicht geeignet für jene mit niedrigem Wasserverbrauch (Wand 1).

Das kubische Volumen unterscheidet sich im Juli 2021 hauptsächlich zwischen der Trockenwand und den Schmuckwänden (Wand 2 und 3). So wurde in Wand 2 durchschnittlich mehr als das doppelte kubische Volumen gemessen als in Wand 1.

Im ersten Wuchsjahr (Juli 2020) wurde bei *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' in den Schmuckwänden ein geringeres Volumen gemessen als im zweiten Jahr. In der Trockenwand war das Volumen auch das niedrigste aller drei Wände aber dennoch höher als ein Jahr später. Demnach konnte die Art in der Trockenwand keinen Zuwachs im zweiten Jahr verzeichnen. In den Schmuckwänden, vor allem in Wand zwei gewann sie dagegen an kubischem Volumen dazu.

Vergleicht man die Werte des kubischen Volumens mit der Biomasse, so entspricht das größte Volumen in Wand 2 nicht gleichzeitig der größten Biomasse in Wand 3. Dabei ist der Unterschied der Biomasse in den Schmuckwänden nicht markant (siehe Tabelle 29). Hingegen produzierte die Trockenwand mit 49,87 g trockener Biomasse einen deutlich geringeren Anteil als die Schmuckwand (Wand 3) mit 91,71 g. Die trockene Biomasse in Relation zu der frischen Biomasse entspricht durchschnittlich einem Verhältnis von 1:2,9.

Tabelle 30: Erhebungen der Blattfläche von *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Heu 1	7,67	11,27	3,60
	Heu 2	8,91	19,31	10,40
	Heu 3	6,31	9,73	3,42
	Heu 4	7,85	6,67	-1,18
Mittelwert		7,69	11,75	4,06
W2	Heu 1	10,35	29,84	19,49
	Heu 2	10,1	25,28	15,18
	Heu 3	8,78	16,79	8,01
	Heu 4	7,63	28,01	20,38
Mittelwert		9,22	24,98	15,77
W3	Heu 1	10,43	25,89	15,46
	Heu 2	11,07	24,51	13,44
	Heu 3	17,23	25,28	8,05
	Heu 4	11,82	15,87	4,05
Mittelwert		12,64	22,89	10,25

Maximalwert

Die Blattfläche von *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' erreicht in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3) eine mehr als doppelt so große Fläche als in der Trockenwand (1). Von April bis Juli 2021 erhöhte sich die Blattfläche bei allen Arten außer einer Art in Wand 1. Dabei fällt kein Größenunterschied zwischen den Arten je nach Pflanzposition in den oberen oder unteren Reihen der Versuchswand auf.

- Salvia officinalis

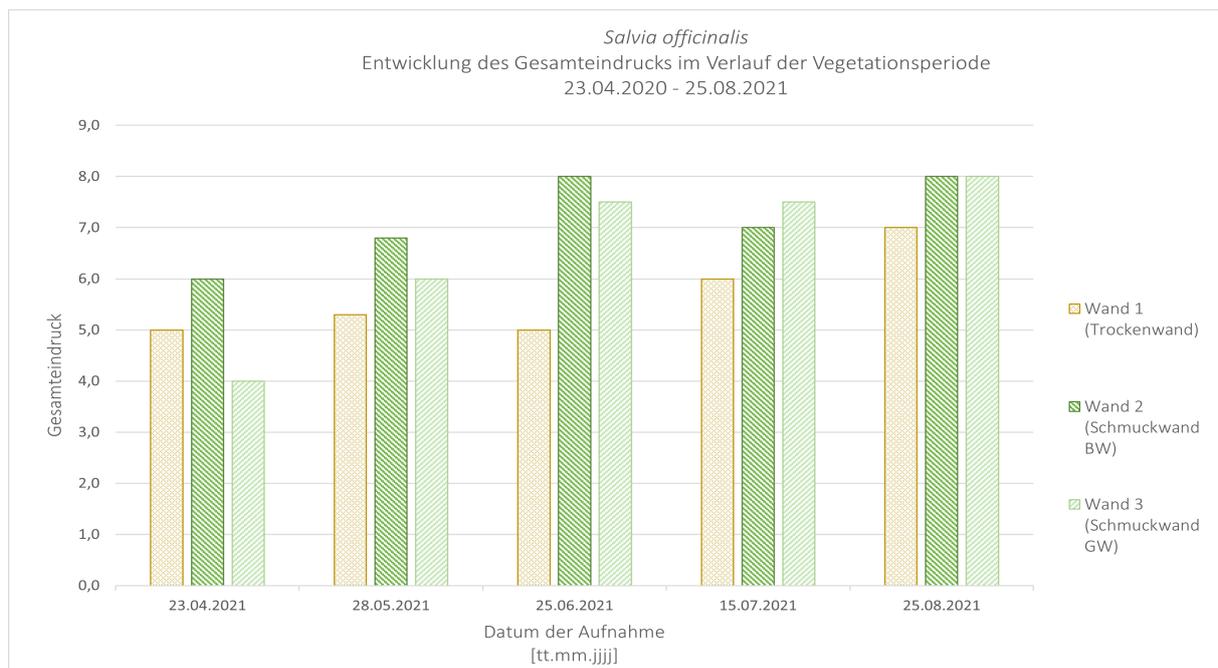


Diagramm 19: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Salvia officinalis* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

In der ersten Hälfte der Vegetationsperiode konnte kein guter Gesamteindruck von *Salvia officinalis* in allen drei Wänden beobachtet werden (siehe Diagramm 19). Im Sommer allerdings stieg der Gesamteindruck der Schmuckwände (Wand 2 und 3) deutlich bis auf 8,0. Einzig in der Trockenwand (Wand 1), jener Wand mit geringem Wasserverbrauch, blieb der Gesamteindruck mit 5,0 auf einem niedrigen Niveau, bis sich dies im Juli verbesserte. In der Schmuckwand, die mit Brunnenwasser bewässert wurde, zeichnete sich insgesamt ein leicht besserer Gesamteindruck der Art ab als in jener, die mit Grauwasser bewässert wurde.

In Wand 2 und 3 war die jeweils unterste Art hohem Konkurrenzdruck ausgesetzt, was sich in der Bewertung des Gesamteindrucks niederschlägt.



Abbildung 25: Entwicklung von *Salvia officinalis* in der Trockenwand (links), Schmuckwand 2 (mitte), Schmuckwand 3 (rechts) Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Tabelle 31: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Salvia officinalis* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Salvia officinalis</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (Ø)	Volumen Juli 20 (dm³)	Volumen Juli 21 (dm³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Sal 1	5,2	31,1	7,7	-23,4	12	3,64	1:3,2
	Sal 2	5,6	17,2	16,1	-1,1	8	3,18	1:2,5
	Sal 3	5,6	48,9	13,7	-35,2	7	4,13	1:1,6
	Sal 4	6,2	28,5	9,6	-18,9	13	2,66	1:4,8
Mittelwert		5,7	31,4	11,8	-19,65	10	3,40	
W2	Sal 1	8,2	39,4	28,8	-10,6	30	10,18	1:2,9
	Sal 2	<u>8,6</u>	<u>95,0</u>	<u>129,9</u>	34,9	54	23,10	1:2,3
	Sal 3	8,0	51,5	51,6	0,1	28	11,68	1:2,3
	Sal 4	5,0	45,8	1,0	-44,8	2	0,25	1:8,0
Mittelwert		7,2	57,9	52,8	-5,1	28,5	11,30	
W3	Sal 1	7,0	14,1	39,1	25	30	11,88	1:2,5
	Sal 2	7,4	33,0	92,4	<u>59,4</u>	<u>65</u>	<u>24,4</u>	1:2,6
	Sal 3	7,8	26,5	51,9	25,4	45	19,54	1:2,3
	Sal 4	4,2	33,4	2,0	-31,4	0,5	0,39	1:1,2
Mittelwert		6,6	26,8	46,4	19,60	35,12	14,05	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Für die Schmuckwände eignet sich die Art *Salvia officinalis* durchaus in Wand 2, die mit Brunnenwasser bewässert wurde. Bei der gleichen Wassermenge aber mit Grauwasser-Bewässerung (Wand 3), kann nur eine bedingte Eignung für die Art ausgesprochen werden. Hier ist jedoch ein Blick auf die einzelnen Arten essenziell, da nur die Art *Sal 4* einen geringen Gesamteindruck aufwies, ist anhand der anderen Arten davon auszugehen, dass sie sich dennoch für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario C eignet. Nur für Wand 1 mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) eignet sich *Salvia* nicht.

Das kubische Volumen ist im Mittelwert in den Schmuckwänden fast um ein Vierfaches höher als in der Trockenwand. Innerhalb der Schmuckwände ist kein markanter Unterschied im Volumen von *Salvia* zu erkennen. Auffällig ist nur, dass die unterste Art *Sal 4* sowohl in Wand 2 als auch in Wand 3 ein sehr geringes kubisches Volumen erreichte. In der Trockenwand (Wand 1) erreichten alle Arten ein deutlich geringeres Volumen. Im Jahr zuvor, erreichte das kubische Volumen von *Salvia* in Wand 1 und 2 einen höheren Durchschnitt. Nur in Wand 3 war im Juli 2020 ein niedrigeres Volumen zu verzeichnen. Von zwölf Arten ist bei fünf Arten ein Zuwachs zu dokumentieren, davon saßen die meisten Arten in Wand 3.

Auch wenn das größte kubische Volumen in Wand 2 gemessen wurde, produzierte *Salvia officinalis* in Wand 3 die größte frische, als auch trockene Biomasse. In der Trockenwand (1) wurde eine weitaus geringere Biomasse produziert (siehe Tabelle 31). Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse beträgt durchschnittlich 1:2,5.

Tabelle 32: Erhebungen der Blattfläche von *Salvia officinalis* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Salvia officinalis</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Sal 1	2,71	4,58	1,87
	Sal 2	3,17	6,23	3,06
	Sal 3	4,18	5,82	1,64
	Sal 4	2,50	5,02	2,52
Mittelwert		3,14	5,41	2,27
W2	Sal 1	4,27	7,94	3,67
	Sal 2	4,84	<u>14,90</u>	<u>10,06</u>
	Sal 3	<u>5,35</u>	10,13	4,78
	Sal 4	1,33	1,95	0,62
Mittelwert		3,95	8,73	4,78
W3	Sal 1	3,85	9,02	5,17
	Sal 2	4,63	12,92	8,29
	Sal 3	4,18	10,16	5,98
	Sal 4	1,33	2,61	1,28
Mittelwert		3,50	8,68	5,18

Maximalwert

Die Blattfläche von *Salvia officinalis* erreichte in den Schmuckwänden einen ähnlich hohen Mittelwert. Nur in der Trockenwand (1) fiel die Blattfläche geringer aus. Auch der Blattflächenzuwachs von April bis Juli 2021 war in den Schmuckwänden größer als in der Trockenwand (siehe Tabelle 32).

- *Bergenia cordifolia*

Wie in Diagramm 20 zu sehen ist, entwickelte sich der Gesamteindruck von *Bergenia cordifolia* in den Wänden 1-3 sehr unterschiedlich. Während die Art in der Trockenwand (1) auf einem niedrigen Wert zwischen 4,5 und 5,8 hin und her pendelt, steigert sich der Gesamteindruck in den Schmuckwänden konstant bis auf einen Wert von 8,0 in Wand 2 und 7,5 in Wand 3 im August.



Abbildung 26: Entwicklung von *Bergenia cordifolia* in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

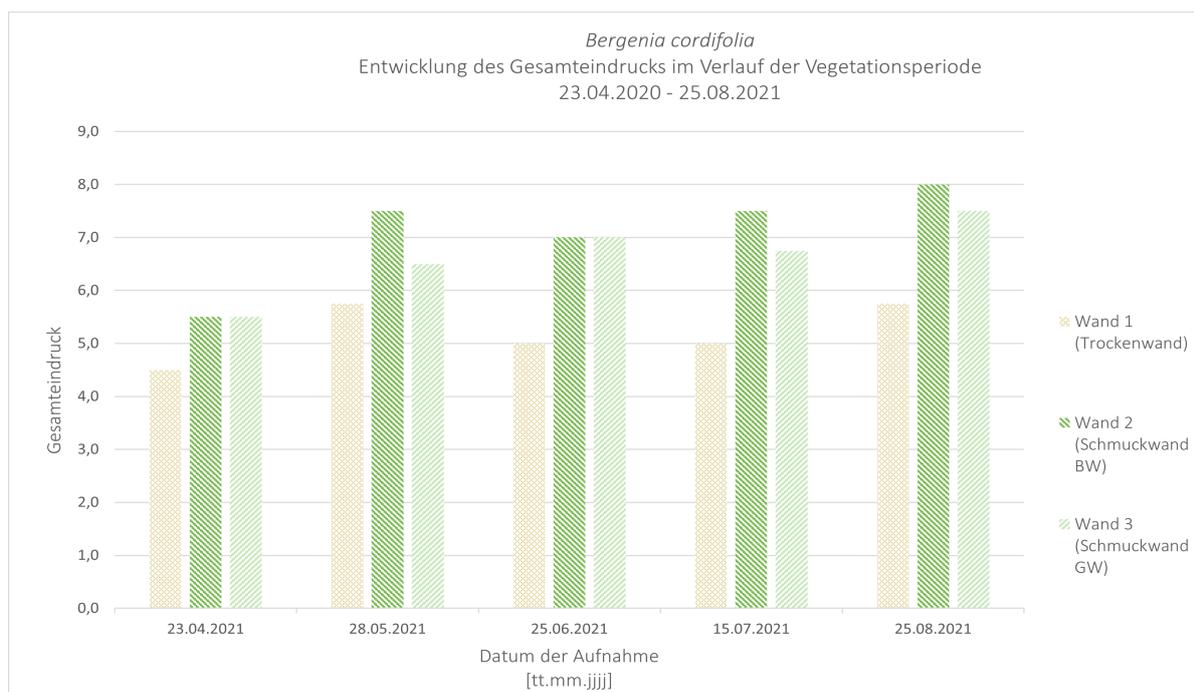


Diagramm 20: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Bergenia cordifolia* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 33: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Bergenia cordifolia* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Bergenia cordifolia</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W1	Be 1	4,6	3,8	1,3	-2,5	10	2,8	1:3,5
	Be 2	5,4	2,4	4,1	1,7	24	8,2	1:2,9
	Be 3	5,6	1,5	5,2	3,7	25	7,13	1:3,5
	Be 4	5,2	3,2	7,5	4,3	15	5,06	1:2,9
Mittelwert		5,2	2,7	4,5	1,80	18,5	5,80	
W2	Be 1	6,6	10,7	11,8	1,1	51	15,91	1:3,2
	Be 2	<u>8,2</u>	<u>2,8</u>	24,4	21,6	74	<u>20,73</u>	1:3,5
	Be 3	7,0	9,4	18,1	8,7	49	16,54	1:2,9
	Be 4	6,6	7,0	10,9	3,9	35	9,69	1:3,6
Mittelwert		7,3	7,5	16,3	8,83	52,2	15,72	
W3	Be 1	6,0	3,7	3,7	0	25	7,92	1:3,1
	Be 2	7,4	6,3	<u>47,7</u>	<u>41,4</u>	<u>80</u>	20,48	1:3,9
	Be 3	6,6	5,3	10,3	5,0	24	7,42	1:3,2
	Be 4	6,6	11,3	21,0	9,7	55	13,96	1:3,9
Mittelwert		6,7	6,7	20,7	14,03	46	12,45	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Der Gesamteindruck von *Bergenia cordifolia* in allen Monaten zusammengefasst führt zu folgenden Beobachtungen: In einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringe

Wasserzufuhr) zeichnet sich keine Eignung ab. Wird hingegen Bewässerungsszenario B (mittlerer Wasserverbrauch) mit Brunnenwasser angewendet eignet sich *Bergenia cordifolia* durchaus für Wand 2. Leicht schlechter schnitt die Art in Wand 3 bei einem Bewässerungsszenario C mit Grauwasser ab. Für dieses Szenario ist die Art eher bedingt geeignet.

Das im Juli 2021 erhobene kubische Volumen variiert innerhalb der verschiedenen Wände deutlich. So ist in Wand 1 ein viermal geringeres kubisches Volumen gemessen worden als in Wand 2. Obgleich des besseren Gesamteindrucks in Wand 2, wurde das größte kubische Volumen mit 20,7 dm³ in Wand 3 gemessen. Verglichen mit Juli 2020, war im Vorjahr ein geringeres Volumen bei allen Arten außer der zuoberst wachsenden Art zu messen. Durchschnittlich erreicht *Bergenia* in allen Wänden einen positiven Zuwachs im zweiten Wuchsjahr.

Am meisten Biomasse konnte in Wand 2 erhoben werden. Dies spiegelt die Bewertung des Gesamteindrucks wider. So wurde bei der Art mit der besten Gesamteindrucksnote (*Be 2*) die größte trockene Biomasse gewogen. Auch in Wand 3 schneidet *Bergenia* mit einer ähnlich hohen Biomasse gut ab. Nur in der Trockenwand produzierte die Art eine deutlich geringe Biomasse. Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse ist durchschnittlich mit 1:3,3 zu errechnen.

Auch die Blattfläche spiegelt die sonstigen erhobenen Werte von *Bergenia cordifolia* wider. So ergaben die Schmuckwände eine ähnlich große Blattfläche und die Trockenwand eine deutlich geringere, die etwa die Hälfte der durchschnittlichen Blattfläche aus den Schmuckwänden betrug (siehe Tabelle 33). Der Zuwachs von April bis Juli war in Wand 1 sehr gering bis negativ. Auch in den Schmuckwänden konnte nur ein geringer Zuwachs in der Blattfläche dokumentiert werden.

Tabelle 34: Erhebungen der Blattfläche von *Bergenia cordifolia* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Bergenia cordifolia</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W1	Be 1	2,02	1,94	-0,08
	Be 2	3,56	3,71	0,15
	Be 3	5,06	4,25	-0,81
	Be 4	4,06	5,22	1,16
Mittelwert		3,68	3,78	0,11
W2	Be 1	5,46	6,75	1,29
	Be 2	9,2	10,18	0,98
	Be 3	7,07	8,59	1,52
	Be 4	5,49	6,45	0,96
Mittelwert		6,81	7,99	1,19
W3	Be 1	4,69	3,50	-1,19
	Be 2	<u>6,81</u>	<u>14,86</u>	<u>8,05</u>
	Be 3	4,11	6,25	2,14
	Be 4	6,81	9,35	2,54
Mittelwert		5,61	8,49	2,89

Maximalwert

5.1.3.1 Schlussfolgerung

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Bewässerungsszenarien sind bei den Pflanzenarten teils deutlich zu sehen. Hinsichtlich der Art des Wassers (Grauwasser oder Brunnenwasser) ist kaum oder nur ein sehr geringer Unterschied zu erkennen, aber dafür umso mehr bei der Wassermenge. So schnitten alle Pflanzenarten in der Trockenwand, die sehr wenig bewässert wurde, schlechter ab als in den täglich bewässerten Schmuckwänden. Sehr deutlich war dies zu erkennen an der weniger produzierten Biomasse und dem geringeren kubischen Volumen, sowie der kleineren Blattgröße dieser Arten. Während in der Trockenwand (1) vier von fünf Arten im ersten Versuchsjahr meist deutlich mehr kubisches Volumen aufwiesen, konnte bei den Schmuckwänden sowohl mit Grauwasser- als auch mit Brunnenwasserbewässerung im zweiten Versuchsjahr bei fast allen Arten mehr kubisches Volumen, das heißt positiver Zuwachs verzeichnet werden. Sowohl in der Größe der Pflanzen als auch in der Biomasse und der Blattfläche konnte zwischen Wand 2 (bewässert mit Brunnenwasser) und Wand 3 (bewässert mit Grauwasser) kein deutlicher Unterschied festgestellt werden. Mal produzierte eine Art etwas mehr Biomasse in Wand 2, hatte aber eine größere Blattfläche in Wand 3 und umgekehrt konnte bei einer Art mehr Biomasse in Wand 3 und dafür mehr kubisches Volumen und Blattfläche in Wand 2 erhoben werden. Lediglich bei der Bewertung des Gesamteindrucks lässt sich ein Unterschied feststellen. So erhielten die Arten in Wand 2 alle eine Bewertung über 7,0, was als „geeignet“ für dieses System zählt, während drei von fünf Arten in Wand 3 unter 7,0 lagen und damit nur als „bedingt geeignet“ eingestuft wurden.

5.1.4 Auswertungen der Erhebungen der Schmuckwände

Die Schmuckwände waren in ihrer Bepflanzung ident und unterschieden sich nur in der Bewässerungsmethode. Folgende Auswertungen zeigen, wie sich Bewässerungsszenario B (Brunnenwasser) bei Wand 2 und im Vergleich dazu Bewässerungsszenario C (Grauwasser) bei Wand 3 auf die Bepflanzung ausgewirkt hat. Den Ergebnissen zu folge kann im Anschluss eine Pflanzempfehlung für die jeweiligen Pflanzenarten, die am besten mit den Bedingungen zurechtkamen, erfolgen.

- Carex buchananii

Die Pflanzenart *Carex buchananii* verzeichnete in den beiden Schmuckwänden eine stetige Verschlechterung ihres Gesamteindrucks im Laufe der Vegetationsperiode (siehe Diagramm 21). Dabei wiesen die Arten selbst zu Beginn einen geringen Gesamteindruck auf. Ab Juli konnte die Art nur noch mit einem Gesamteindruck von 3,0 bewertet werden.

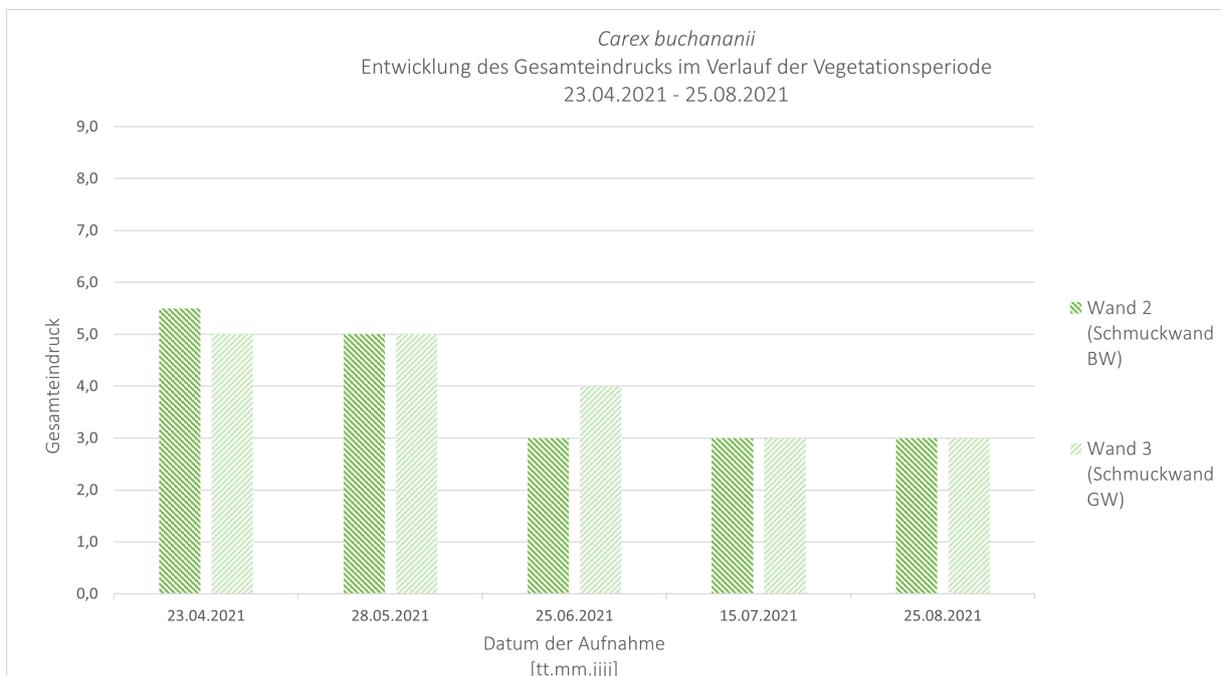


Diagramm 21: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Carex buchananii* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Vereinzelt konnte eine Blüte im Mai festgestellt werden.



Abbildung 27: Entwicklung von *Carex buchananii* in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Tabelle 35: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen und Biomasse von *Carex buchananii* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Carex buchananii</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Ca b. 1	<u>4,2</u>	13,4	2,4	-11,0	<2	5,71	-
	Ca b. 2	3,8	25,0	<u>6,2</u>	-18,8	<2	7,09	-
	Ca b. 3	3,8	8,1	0,5	-7,6	<2	3,25	-
	Ca b. 4	<u>4,2</u>	<u>82,6</u>	0,9	-81,7	<2	5,7	-
Mittelwert		4,0	32,3	2,50	-29,8	-	5,44	-
W3	Ca b. 1	<u>4,2</u>	40,3	5,5	-34,8	<2	8,52	-
	Ca b. 2	<u>4,2</u>	32,4	5,5	-26,9	<2	<u>9,6</u>	-
	Ca b. 3	3,8	7,2	1,6	<u>-5,6</u>	<2	0,98	-
	Ca b. 4	3,8	9,9	2,9	-7,0	<2	5,02	-
Mittelwert		4,0	22,45	3,88	-18,58	-	6,03	-

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Der geringe Gesamteindruck von *Carex buchananii* sowohl in Wand 2 als auch in Wand 3, führt zu der Beurteilung, dass sich diese Art nicht für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) eignet.

Auch das sehr geringe kubische Volumen von 2,50 dm³ in Wand 2 und 3,88 dm³ in Wand 3 (siehe Tabelle 35) unterstützt diese These.

Betrachtet man das kubische Volumen im Juli 2020 des ersten Wachstumsjahrs der Pflanze, ist ein deutlich höheres Volumen festzustellen. Beispielsweise ist bei *Ca b. 4* in Wand 2 eine Differenz im kubischen Volumen der beiden Jahre von -81,7 dm³ zu sehen. Aber auch für die anderen Arten konnte in den Schmuckwänden kein Zuwachs dokumentiert werden.

Die Biomasse von *Carex buchananii* in den Schmuckwänden wog in frischem Zustand weniger als 2g und konnte deshalb nicht genauer erhoben werden. In trockenem Zustand zeigt sich eine leicht höhere Produktion der Biomasse in Wand 3 mit durchschnittlich 6,03 g.

- Allium schoenoprasum

Allium schoenoprasum stagnierte während der gesamten Vegetationsperiode auf einem guten Niveau des Gesamteindrucks (siehe Diagramm 22). Dabei unterscheiden sich die Auswertungen für die unterschiedlich bewässerten Schmuckwände gering. Die Arten in Wand 2, welche dem Bewässerungsszenario B und damit Brunnenwasser ausgesetzt waren erreichten einen durchschnittlichen Gesamteindruck von 7,0 in allen Monaten. Während die Arten in Wand 3 mit Grauwasser bewässert wurden und einen durchschnittlichen Gesamteindruck von 6,4 erreichten.

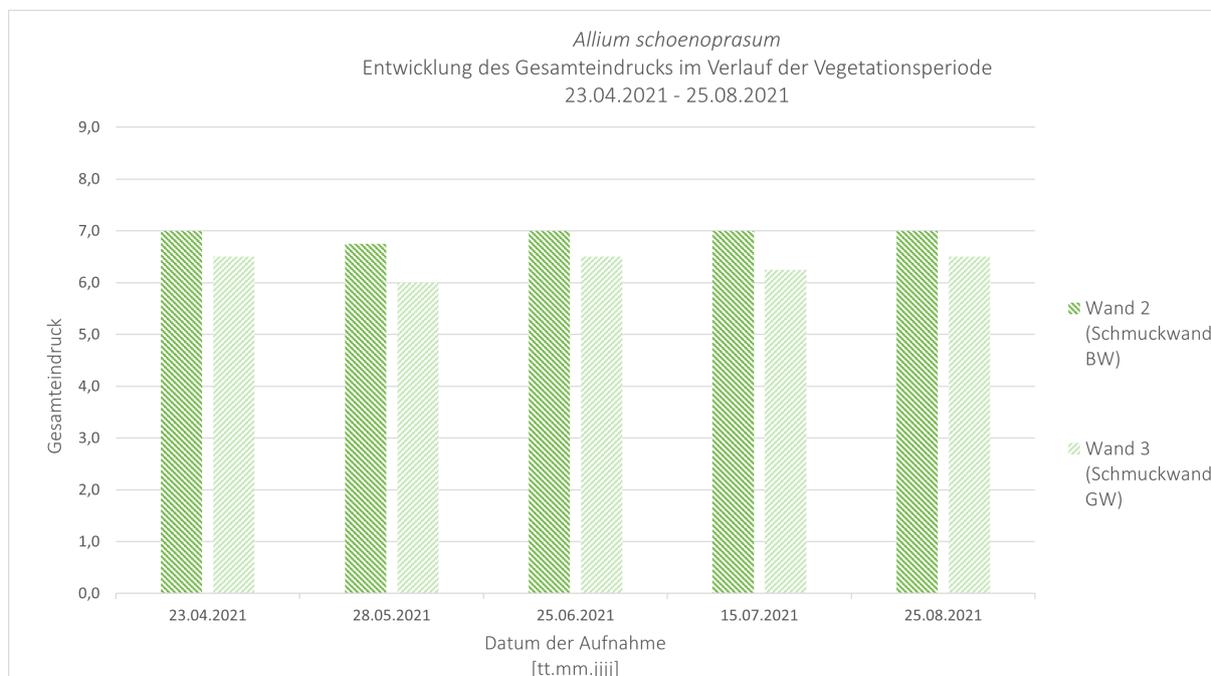


Diagramm 22: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Allium schoenoprasum* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der erste Blütenansatz war im April zu erkennen und die Blüte erfolgte im Mai. Im Juni kam es zur Samenbildung bei den meisten Arten. Das Individuum All 2 in Wand 3 litt unter Konkurrenzdruck.

Tabelle 36: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen und Biomasse von *Allium schoenoprasum* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Allium schoenoprasum</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	All 1	7,0	15,7	16,8	1,1	22	7,87	1:2,7
	All 2	6,8	18,1	20,1	2,0	20	6,9	1:2,8
	All 3	7,0	18,2	<u>22,8</u>	4,6	16	5,56	1:2,8
	All 4	7,0	<u>27,6</u>	16,2	-11,4	18	6,45	1:2,7
Mittelwert		7,0	19,9	19,0	-0,9	19,00	6,70	
W3	All 1	7,0	11,6	18,7	7,1	<u>30</u>	<u>8,11</u>	1:3,6
	All 2	5,0	5,0	2,2	-2,8	8	2,2	1:3,6
	All 3	6,6	6,5	16,9	<u>10,4</u>	9	3,57	1:2,5
	All 4	6,8	21,5	14,4	-7,1	13	5,03	1:2,5
Mittelwert		6,35	11,15	13,05	1,90	15,00	4,73	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert



Abbildung 28: Entwicklung von *Allium schoenoprasum* in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Der durchschnittliche Gesamteindruck von *Allium schoenoprasum* spricht für eine Eignung dieser Art in Wand 2, einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B (mittlerer Wasserverbrauch). Für die troggebundene Wand 3 mit Bewässerungsszenario C kann eine bedingte Eignung dieser Art festgestellt werden (siehe Tabelle 36).

Auch im Wachstum der Pflanze ist ein Unterschied zwischen den beiden Schmuckwänden zu erkennen. So erreichte *Allium* in Wand 2 ein durchschnittliches kubisches Volumen von 19,0 dm³, verglichen mit Wand 3, welche ein Volumen von 13,05 dm³ aufwies. Dabei ist in Wand 3 hauptsächlich eine Art schlechter gewachsen und beeinflusst damit den Durchschnitt.

Die Werte des kubischen Volumens aus dem Vorjahr kommen den Werten aus dem zweiten Jahr sehr gleich. So ist nur eine geringe Differenz im Wachstum zu verzeichnen (siehe Tabelle 36).

Auch wenn die größte Biomasse von *Allium schoenoprasum* in Wand 3 gewogen wurde, produzierte Wand 2 insgesamt etwas mehr Biomasse. Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse beträgt dabei durchschnittlich 1:2,9.

Betrachtet man die erhobene Blattfläche von *Allium* in den Schmuckwänden, so ist etwas mehr Blattfläche in Wand 2 zu verzeichnen (siehe Tabelle 37). Der Zuwachs von April bis Juli ist mit 1,43 dm² in Wand 2 ebenfalls höher als in Wand 3, wo er nur 0,15 dm² beträgt. Auffallend ist bei dieser Wand außerdem die Verringerung der Blattfläche der Art *All 2* in Wand 3.

Tabelle 37: Erhebungen der Blattfläche von *Allium schoenoprasum* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Allium schoenoprasum</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	All 1	3,71	5,66	<u>1,95</u>
	All 2	4,47	6,11	1,64
	All 3	4,60	<u>6,45</u>	1,85
	All 4	5,30	5,57	0,27
Mittelwert		4,52	5,95	1,43
W3	All 1	<u>5,40</u>	5,92	0,52
	All 2	3,39	2,36	-1,03
	All 3	5,30	5,67	0,37
	All 4	4,58	5,30	0,72
Mittelwert		4,67	4,81	0,15

Maximalwert

- Dryopteris filix-mas

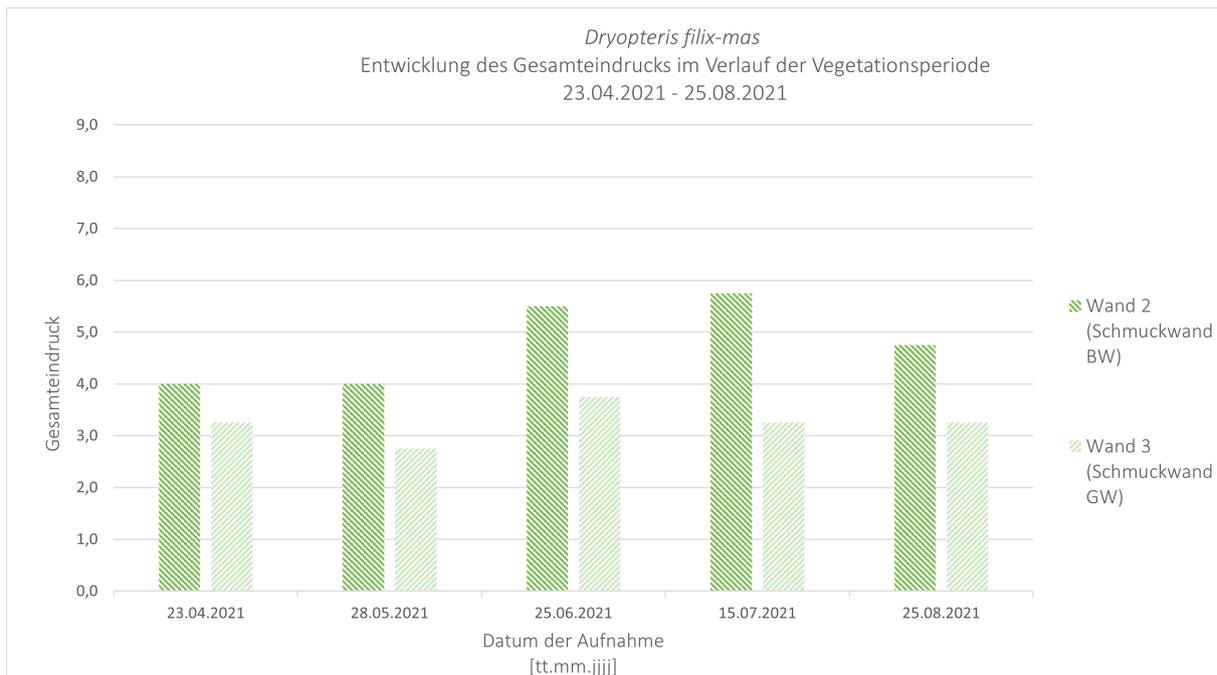


Diagramm 23: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Dryopteris filix-mas* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der Gesamteindruck der Pflanzenart *Dryopteris filix-mas* entwickelte sich im Verlauf der Vegetationsperiode innerhalb der beiden Schmuckwände unterschiedlich und auf einem niedrigen Niveau (siehe Diagramm 23). In Wand 2 verbesserte sich der Gesamteindruck im Laufe etwas aber blieb dennoch maximal bei einem Wert von 5,8. Während dessen schwankte der Gesamteindruck in Wand 3 auf einer Skala von 2,8 bis 3,8.

In Wand 2 und Wand 3 wurde jeweils der zuoberst wachsende *Dry 1* von der benachbarten Art *Rudbeckia fulgida* bedrängt. Ab Juli zeigte die Pflanze *Dry 3* in Wand 3 Verbrennungen an den Blättern.



Abbildung 29: Entwicklung von *Dryopteris filix-mas* in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Aufgrund des sehr niedrig bewerteten Gesamteindrucks von *Dryopteris filix-mas* in den beiden Schmuckwänden (siehe Tabelle 38) ist davon auszugehen, dass sich diese Art für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B und C nicht eignet. Dabei schnitt die Art in Wand 2, welche mit Brunnenwasser bewässert wurde etwas besser ab als in der grauwasserbewässerten Wand.

Tabelle 38: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Dryopteris filix-mas* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Dryopteris filix-mas</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Dry 1	<u>6,2</u>	10,2	5,6	-4,6	<u>5</u>	<u>2,21</u>	1:2,2
	Dry 2	2,4	6,0	0,4	-5,6	1	0,42	1:2,3
	Dry 3	5,2	6,9	5,1	-1,8	1	0,93	1:1
	Dry 4	5,4	15,0	6,2	-8,8	1,5	0,95	1:1,5
Mittelwert		4,8	9,5	4,3	-5,2	2,13	1,13	
W3	Dry 1	3,0	7,6	1,3	-6,3	4	0,74	1:5,4
	Dry 2	0,2	1,8	0,0	-1,8	*	*	-
	Dry 3	4,8	<u>18,2</u>	<u>12,2</u>	-6,0	3	2,19	1:1,3
	Dry 4	5,0	16,8	3,3	-13,5	1	0,94	1:1
Mittelwert		3,25	11,10	4,20	-6,90	2,67	1,29	

*Gewicht konnte nicht erhoben werden, da Art ausgefallen ist

geeignet bedingt geeignet nicht geeignet Maximalwert

Das kubische Volumen von *Dryopteris* fällt in beiden Wänden ähnlich gering aus. Die Art mit dem größten kubischen Volumen ist entgegen dem bewerteten Gesamteindruck in Wand 3 zu verzeichnen. Im Juli des ersten Wachstumsjahrs (2020) war ein mehr als doppelt so hohes kubisches Volumen zu messen. Das größte kubisches Volumen wurde bei der selben Art (*Dry 3*) in Wand 3 gemessen, wie im zweiten Wuchsjahr, trotz der Verbrennungsanzeichen im Juli. Insgesamt gab es keinen positiven Zuwachs im zweiten Wuchsjahr (siehe Tabelle 38).

In beiden Wänden wurde eine ähnlich geringe Biomasse sowohl im frischen, als auch im trockenen Zustand erhoben. Eine Art konnte nicht erhoben werden, da sie zwischenzeitlich abgestorben war. Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse kann durchschnittlich mit 1:2,1 angegeben werden.

Tabelle 39: Erhebungen der Blattfläche von *Dryopteris filix-mas* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Dryopteris filix-mas</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	Dry 1	3,37	3,78	0,41
	Dry 2	2,16	0,66	-1,50
	Dry 3	2,50	3,56	1,06
	Dry 4	1,51	2,05	0,54
Mittelwert		2,39	2,51	0,13
W3	Dry 1	0,00	1,44	<u>1,44</u>
	Dry 2	-	-	-
	Dry 3	<u>7,57</u>	<u>6,33</u>	-1,24
	Dry 4	2,10	2,67	0,57
Mittelwert		3,22	3,48	0,26

Maximalwert

Wie Tabelle 39 aufzeigt, ist die Blattfläche in den Schmuckwänden bei *Dryopteris filix-mas* in Wand 3 etwas höher als in Wand 2, auch wenn dort eine Art ausfiel. Dies liegt an der deutlich größeren

Blattfläche der Art *Dry 3* im Vergleich zu den anderen Arten. Hinsichtlich des Zuwachses von April bis Juli ist zu erkennen, dass nicht alle Arten einen positiven Zuwachs zu verzeichnen haben. Bei zwei Arten war die Blattfläche im April höher als im Juli. Bei den anderen Arten ist nur ein geringes Wachstum der Blattfläche zu vermerken.

- *Fragaria x ananassa* 'Delikatess'

Der Gesamteindruck für *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' in den Schmuckwänden lässt sich als konstant bezeichnen (siehe Diagramm 24). Der Mittelwert von 7,0 in Wand 2 hielt sich bis in den Juli und sank im August auf 5,8 ab. Ebenso war in Wand 3 ein leicht schwankender Mittelwert um 6,5 zu beobachten, bis auch dieser im August nur noch 6,0 betrug. Im Gesamten betrachtet schneiden die Arten in der mit Brunnenwasser bewässerten Wand 2 minimal besser ab.

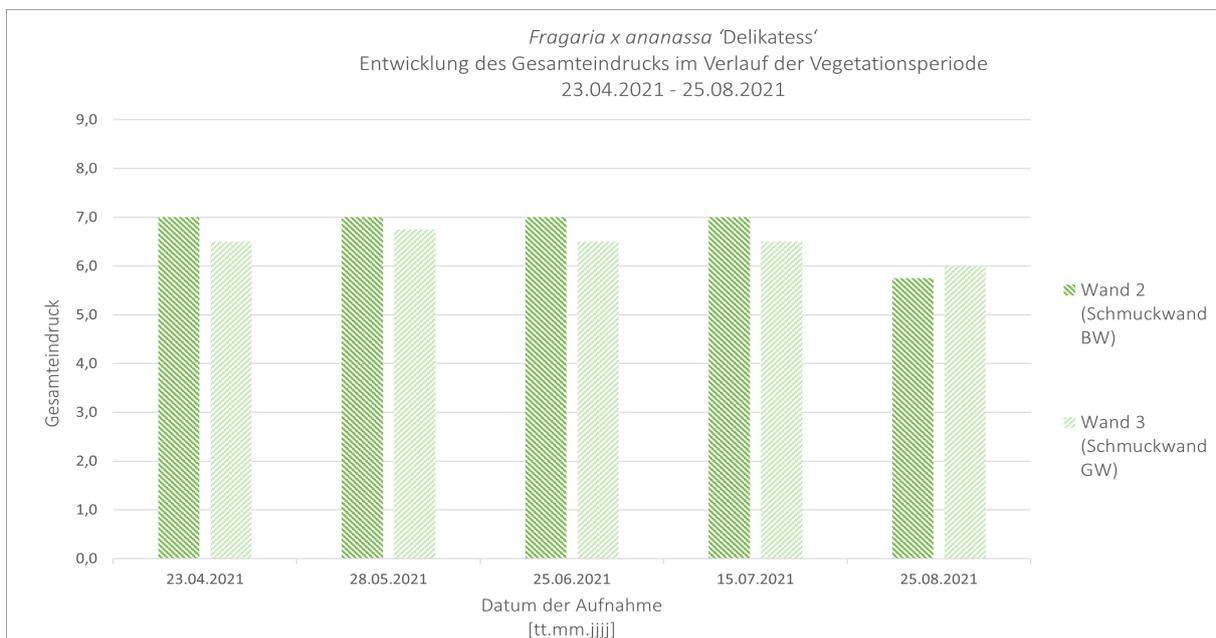


Diagramm 24: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die erste Blüte konnte im April verzeichnet werden. Zur Fruchtbildung kam es im Mai. Die Pflanze *Fra 2* in Wand 3 wurde von der nebenliegenden *Heuchera* bedrängt.



Abbildung 30: Entwicklung von *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Tabelle 40: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Fr 1	7,0	<u>14,3</u>	<u>9,2</u>	-5,1	13	6,22	1:2,0
	Fr 2	6,6	13,8	5,5	-8,3	4	2,86	1:1,3
	Fr 3	6,6	4,8	7,8	<u>3,0</u>	5	2,28	1:2,1
	Fr 4	6,8	6,9	6,7	-0,2	<u>5</u>	2,48	1:2,0
Mittelwert		6,8	10,0	7,3	-2,7	5,00	3,46	
W3	Fr 1	7,0	9,0	7,7	-1,3	25	<u>7,89</u>	1:3,1
	Fr 2	5,8	9,7	1,4	-8,3	1	1,85	1:0,5
	Fr 3	6,0	3,4	6,1	2,7	5	1,75	1:2,8
	Fr 4	7,0	14,0	6,2	-7,8	7	2,09	1:3,3
Mittelwert		6,5	9,03	5,4	-3,68	9,50	3,40	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Beurteilt man den Gesamteindruck von *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' im Mittelwert, so eignen sich die Arten in den unterschiedlich bewässerten troggebundenen Systemen nur bedingt (siehe Tabelle 40). Eine gering höhere Bewertung zeigt die Art in Wand 2 auf, welche mit Brunnenwasser bewässert wurde.

Auch das gemessene kubische Volumen von *Fragaria* in Wand 2, war durchschnittlich etwas höher als in Wand 3. Dabei fällt auf, dass die zuoberst wachsende Art *Fr 1* in beiden Wänden das jeweils höchste kubische Volumen erreichte. In der Vegetationsperiode ein Jahr zuvor konnte bei fast allen Arten ein höheres kubisches Volumen gemessen werden. So fällt der Zuwachs im zweiten Wuchsjahr im Mittel negativ aus.

Ein Blick auf die Biomasse lässt feststellen, dass in beiden Schmuckwänden im Mittelwert eine ähnliche große Biomasse erzeugt wurde. Dabei fällt auf, dass in beiden Wänden die Art aus der jeweils obersten Wanne, die größte Biomasse produzierte. Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse kann im Durchschnitt mit 1:21 ermittelt werden.

Eine durchschnittlich höhere Blattfläche von *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' wurde für Wand 2 errechnet, der troggebundenen Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B. Dabei unterschieden sich die beiden Schmuckwände kaum in ihrer Größe der Blattfläche. Ein positiver Zuwachs von April bis Juli ist bei 7 von 8 Arten zu dokumentieren (siehe Tabelle 41).

Tabelle 41: Erhebungen der Blattfläche von *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	Fr 1	2,47	3,27	0,80
	Fr 2	1,79	2,52	0,73
	Fr 3	1,88	3,01	1,13
	Fr 4	1,51	2,78	1,27
Mittelwert		1,91	2,90	0,98
W3	Fr 1	1,94	2,99	1,05
	Fr 2	1,58	1,26	-0,32
	Fr 3	1,26	2,65	1,39
	Fr 4	1,58	2,68	1,10
Mittelwert		1,59	2,40	0,81

Maximalwert

- *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright'

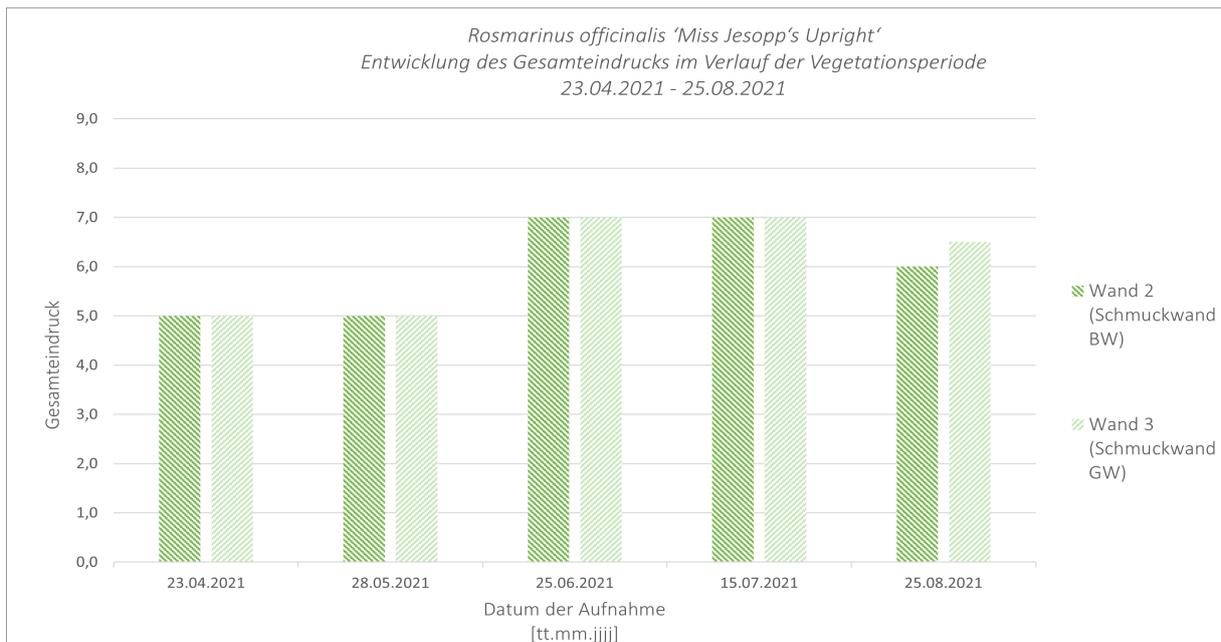


Diagramm 25: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Betrachtet man den Gesamteindruck von *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' in den Schmuckwänden, so sind die Arten in ihrer Bewertung fast ident. Der anfangs noch geringe Mittelwert des Gesamteindrucks von 5,0 verbesserte sich erst im Juni auf 7,0 und sank im August bei beiden Wänden leicht ab (siehe Diagramm 25).

Tabelle 42: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Ro 1	6,2	13,5	6,8	-6,7	16	7,06	1:2,2
	Ro 2	5,8	10,5	6,7	-3,8	8	2,94	1:2,7
	Ro 3	6,2	20,2	8,4	-11,8	12	4,93	1:2,4
	Ro 4	5,8	<u>30,0</u>	4,3	-25,7	4	2,41	1:1,6
Mittelwert		6,0	18,6	6,6	-12,0	10,00	4,34	
W3	Ro 1	6,2	17,0	<u>12,1</u>	-4,9	<u>21</u>	<u>7,33</u>	1:2,8
	Ro 2	6,2	12,1	6,1	-6,0	15	4,08	1:3,6
	Ro 3	6,2	10,8	6,5	<u>-4,3</u>	10	4,18	1:2,3
	Ro 4	5,4	20,2	7,8	-12,4	7	2,44	1:2,8
Mittelwert		6,0	15,03	8,13	-6,90	13,25	4,51	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Anhand Tabelle 42 ist von einer bedingten Eignung der Art *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B und C auszugehen.

In der Schmuckwand Wand 3 wurde im Juli 2021 ein durchschnittlich höheres kubisches Volumen gemessen, als in Wand 2. Was vor allem auf ein Individuum mit dem höchsten kubischen Volumen zurückzuführen ist. Verglichen mit dem ersten Wuchsjahr von *Rosmarinus* erreicht das kubische Volumen im zweiten Wuchsjahr etwa die Hälfte des erhobenen Volumens im Vorjahr. So ist für alle Arten kein Zuwachs im zweiten Jahr zu dokumentieren.

Auch die Biomasse weist einen durchschnittlich höheren Wert auf in Wand 3, was genauso mit der größten Art *Ros 1* zusammenhängt. Im Gesamten betrachtet weisen die jeweils zuoberst wachsenden Arten ein höheres Gewicht in der Biomasse auf. Das Verhältnis zwischen trockener- und frischer Biomasse liegt im Mittel bei 1:2,6.



Abbildung 31: Entwicklung von *Thymus vulgaris* in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Tabelle 43: Erhebungen der Blattfläche von *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	Ro 1	1,97	2,80	0,83
	Ro 2	2,67	2,77	0,10
	Ro 3	<u>2,77</u>	3,29	0,52
	Ro 4	1,79	1,97	0,18
Mittelwert		2,30	2,71	0,41
W3	Ro 1	1,90	<u>4,35</u>	2,45
	Ro 2	1,90	2,57	0,67
	Ro 3	1,30	2,70	1,40
	Ro 4	1,86	3,11	1,25
Mittelwert		1,74	3,18	1,44

Maximalwert

Zu der Errechnung der Blattfläche ist zu erwähnen, dass die verwendete Formel nur für den Grenzbereich gültig ist, den die Pflanzen aus dem Feldversuch gemessen haben. Dieser bewegt sich bei *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' in einem kubischen Volumen von 3,3 dm³ bis 19,2 dm³.

Die Blattflächengröße unterschied sich unter den Arten nur gering. Die größte Art erreichte eine Blattfläche von 4,35 dm³ in Wand 3 und war damit doppelt so groß als die kleinste Art. Bei allen Arten gab es von April bis Juli einen Zuwachs, welcher in Wand 3 durchschnittlich mehr betrug als in Wand 2 (siehe Tabelle 43).

Skimmia japonica

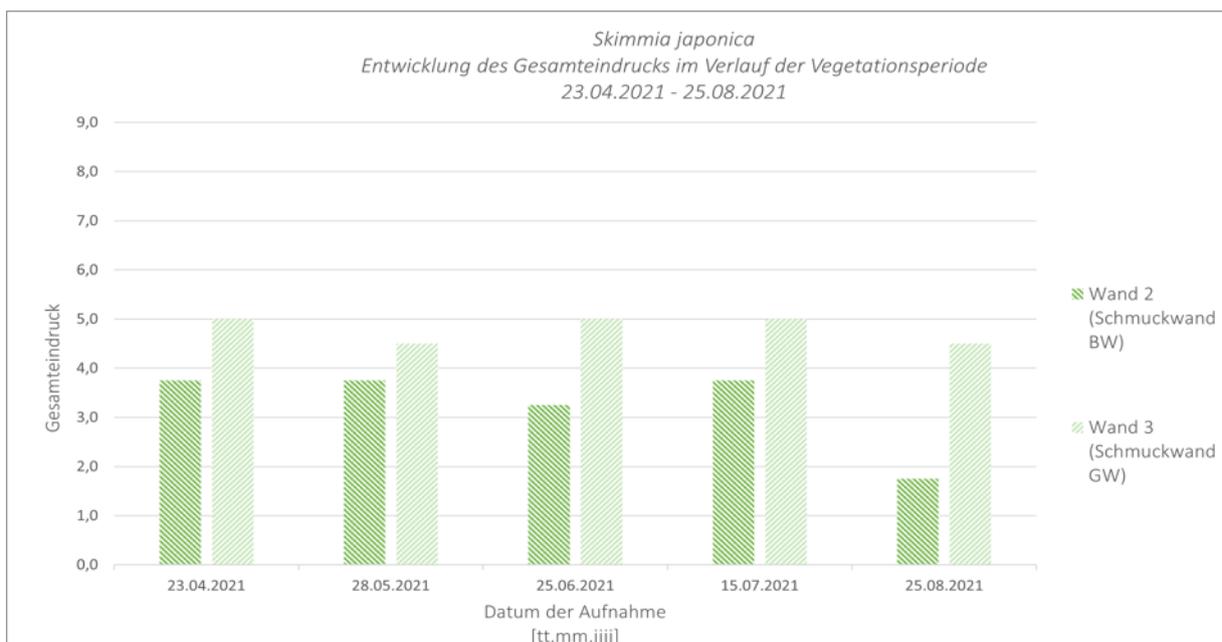


Diagramm 26: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Skimmia japonica* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der Gesamteindruck von *Skimmia japonica* in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3) blieb über die gesamte Vegetationsperiode hinweg auf einem sehr niedrigen Level unter 5,0. Dabei konnte die Art in

Wand 3, die dem Bewässerungsszenario C ausgesetzt ist, einen besseren Gesamteindruck vorweisen als die Arten in Wand 2. In Wand 2 schwankte der Gesamteindruck in einem Bereich von unter 4,0 und sank im August sogar auf einen Mittelwert von 1,8 (siehe Diagramm 26).



Abbildung 32: Entwicklung von *Skimmia japonica* in den Schmuckwänden, April, Mai, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Eine Blüte konnte von April bis Mai beobachtet werden.

Tabelle 44: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Skimmia japonica* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Skimmia japonica</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Sk 1	4,6	<u>16,5</u>	<u>11,0</u>	-5,5	<u>27</u>	<u>10,38</u>	1:2,6
	Sk 2	4,2	3,4	3,1	-0,3	4	2,8	1:1,4
	Sk 3	-	3,8	0,0	-3,8	-	-	-
	Sk 4	4,2	7,4	6,3	-1,1	2	1,12	1:1,7
Mittelwert		4,3	7,8	5,1	-2,7	10,50	4,77	
W3	Sk 1	<u>5,0</u>	6,8	9,8	<u>3,0</u>	18	6,26	1:2,8
	Sk 2	4,6	2,0	2,5	0,5	6	2,14	1:2,8
	Sk 3	4,6	10,1	3,9	-6,2	6	2,49	1:2,4
	Sk 4	<u>5,0</u>	6,5	5,2	-1,3	12	3,78	1:3,1
Mittelwert		4,80	6,35	5,35	-1,00	10,50	3,67	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Der Mittelwert des Gesamteindrucks ergab in beiden Schmuckwänden einen geringen Wert, der gegen eine Eignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B und C (mittlerer Wasserverbrauch) spricht. Auch wenn in Wand 2 eine Art ganz ausfiel, ist der Mittelwert in Wand 3 bei allen Arten gleichhoch oder etwas höher. Dies führt zu dem Schluss, dass sich die Grauwasserbewässerung (Bewässerungsszenario C) nicht negativer auf die Pflanzenart auswirkt als die Bewässerung mit Brunnenwasser in Wand 2 (siehe Tabelle 44).

Auch das kubische Volumen ist durchschnittlich in Wand 3 höher, jedoch ist der Unterschied sehr gering. Die Betrachtung des kubischen Volums im ersten Wuchsjahr zeigt ein höheres Volumen im Mittelwert. Dies führt zu dem Ergebnis, dass von 8 Arten nur 2 einen geringen Zuwachs im zweiten Jahr aufweisen konnten.

Im Gegensatz zu dem kubischen Volumen produzierten die Arten in Wand 2 eine durchschnittlich höhere trockene Biomasse als die Arten in Wand 3. Dabei entsteht der Wert hauptsächlich durch die größte Art in den oberen Reihen. Betrachtet man die Biomasse der Individuen von *Skimmia japonica* so ist die größte Biomasse bei der obenliegenden Art der jeweiligen Wand zu dokumentieren.

Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse beträgt durchschnittlich 1:2,4.

Die errechnete Blattfläche für *Skimmia japonica* (in Tabelle 45) zeigt eine durchschnittlich größere Blattfläche in Wand 2 der Schmuckwände. Dabei sticht die zuoberst wachsende Art mit einem Maximalwert von 23,80 dm² im Juli 2021 heraus. Auch in Wand 3 zeigt die oberste Art den höchsten Blattflächenwert. Angesichts des Zuwachses fällt auf, dass von April bis Juli 2021 nur bei einer Art ein positiver Zuwachs gemessen werden konnte. Dies deutet auf eine Verschlechterung der Entwicklung über den Verlauf der Vegetationsperiode hin.

Tabelle 45: Erhebungen der Blattfläche von *Skimmia japonica* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Skimmia japonica</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	Sk 1	<u>30,03</u>	<u>23,80</u>	-6,23
	Sk 2	8,98	9,20	<u>0,22</u>
	Sk 3	-	-	-
	Sk 4	17,14	15,67	-1,47
Mittelwert		18,72	16,22	-2,49
W3	Sk 1	24,45	21,82	-2,63
	Sk 2	10,08	7,83	-2,25
	Sk 3	16,77	10,93	-5,84
	Sk 4	14,15	13,57	-0,58
Mittelwert		16,36	13,54	-2,83

Maximalwert

- *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids'

Wie in Diagramm 27 veranschaulicht, zeigt sich eine durchwachsene Entwicklung des Gesamteindrucks für die Pflanzenart *Hellebours orientalis* 'Red Hybrids' in den Schmuckwänden. Insgesamt blieb der Gesamteindruck auf einem niedrigen Niveau von maximal 5,0 und entwickelte sich in Wand 2 etwas besser als in Wand 3.

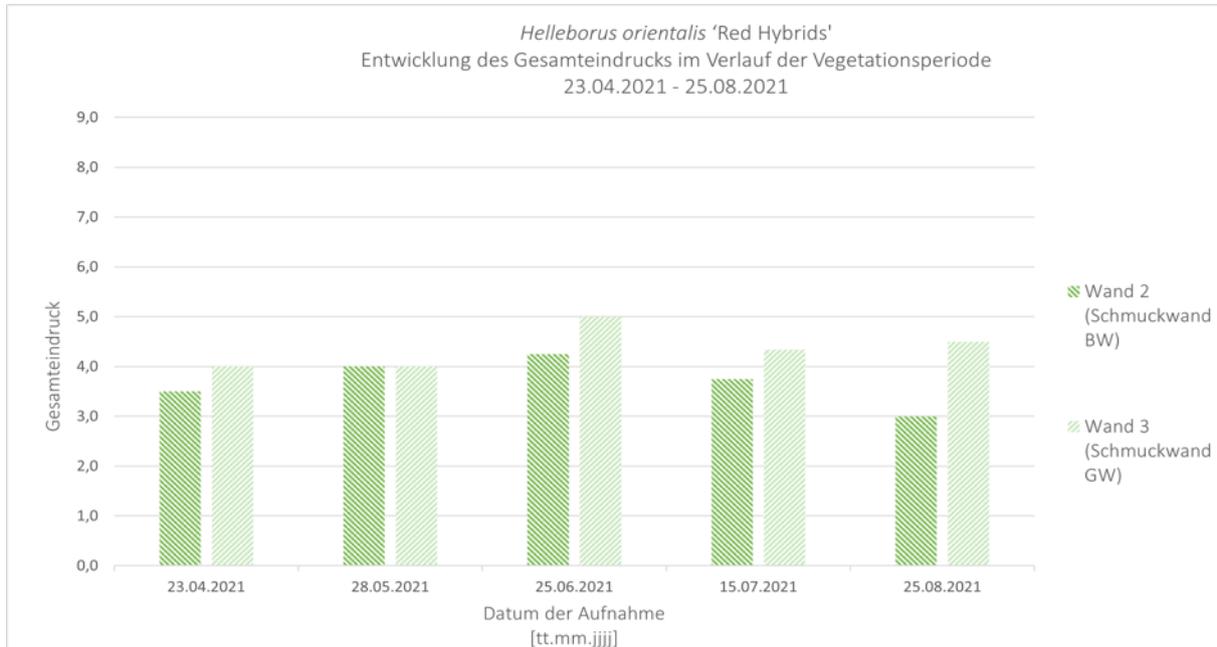


Diagramm 27: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Im April kam es bei einzelnen Pflanzindividuen zur Blüte. *Hel o.* 3 in Wand 3 litt unter Konkurrenzdruck.



Abbildung 33: Entwicklung von *Helleborus orientalis* in den Schmuckwänden, April, Mai, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Betrachtet man die einzelnen Arten von *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids' in den beiden Schmuckwänden (siehe Tabelle 46), so ist zu sehen, dass es zu einem Ausfall der Art *Hel o.* 1 in Wand 2 kam. Der geringe Mittelwert des Gesamteindrucks dieser troggebundenen Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B kann als nicht geeignet gewertet werden. Gleiches gilt für den geringen Gesamteindruck von 4,20 in Wand 3, welcher zwar höher war, aber dennoch gegen eine Eignung dieser Art in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario C spricht.

Tabelle 46: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Helleborus orientalis</i> 'Red Hybrids'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Hel o. 1	0,0	2,9	0,0	-2,9	-	-	-
	Hel o. 2	2,4	13,1	1,0	-12,1	-	-	-
	Hel o. 3	5,6	6,5	2,5	-4,0	2	1,28	1:1,5
	Hel o. 4	<u>6,8</u>	10,0	<u>16,2</u>	<u>6,2</u>	<u>10</u>	<u>3,5</u>	1:2,8
Mittelwert		3,7	8,1	4,9	-3,2	5,50	2,39	
W3	Hel o. 1	5,0	<u>35,8</u>	1,2	-34,6	3	0,88	1:3,4
	Hel o. 2	3,0	7,2	0,7	-6,5	-	-	-
	Hel o. 3	5,4	7,1	2,7	-4,4	3	1,26	1:2,3
	Hel o. 4	3,4	11,2	0,5	-10,7	1	0,19	1:5,2
Mittelwert		4,20	15,33	1,28	-14,05	2,33	0,78	

 geeignet  bedingt geeignet  nicht geeignet Maximalwert

Das kubische Volumen im Juli 2021 zeigt vor allem bei einer Art (*Hel o. 4*) in Wand 2 einen hohen Wert und verbessert damit den Mittelwert für diese Wand positiv. Vergleicht man das gemessene Volumen mit dem des Vorjahrs, so ist eine deutliche Verschlechterung des kubischen Volumens zu vermerken. Demnach verlor die Art in Wand 2 im zweiten Wachstumsjahr 3,2 dm³ kubisches Volumen und in Wand 3 war das kubische Volumen von *Helleborus o.* um 14,05 dm³ geringer, als im Juli 2020.

Die Biomasse von *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids' konnte aufgrund mehrerer Ausfälle der Art nur bei fünf von acht Arten erhoben werden. Die zuunterst wachsende Art in Wand 2 (*Hel o. 3*) erreichte neben den Maximalwerten der anderen Erhebungen auch die größte Biomasse. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass es in dieser Wand zu zwei Ausfällen der Art kam. Das durchschnittliche Verhältnis der trocken- zu der frischen Biomasse betrug bei den nicht ausgefallenen Arten 1:3,0.

Tabelle 47: Erhebungen der Blattfläche von *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Helleborus orientalis</i> 'Red Hybrids'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	Hel o. 1	-	-	-
	Hel o. 2	0,63	0,71	0,08
	Hel o. 3	1,14	1,14	0,00
	Hel o. 4	<u>2,07</u>	<u>3,00</u>	0,93
Mittelwert		1,28	1,21	-0,07
W3	Hel o. 1	0,78	0,78	0,00
	Hel o. 2	0,00	0,59	<u>0,59</u>
	Hel o. 3	0,81	1,18	0,37
	Hel o. 4	0,63	0,49	-0,14
Mittelwert		0,56	0,76	0,21

Maximalwert

Tabelle 47 zeigt eine durchschnittlich größere Blattfläche der Art in Wand 2. Dabei erreichte die größte Art eine mehr als doppelt so große Blattfläche als die anderen Arten. Der Blattflächenzuwachs von April bis Juli beläuft sich auf einen sehr geringen Wert und ist im Mittelwert in Wand 2 im negativen Bereich. In Wand 3 ist nur ein geringer Zuwachs von 0,21 dm² zu verzeichnen.

- Rudbeckia fulgida ‚Goldsturm‘

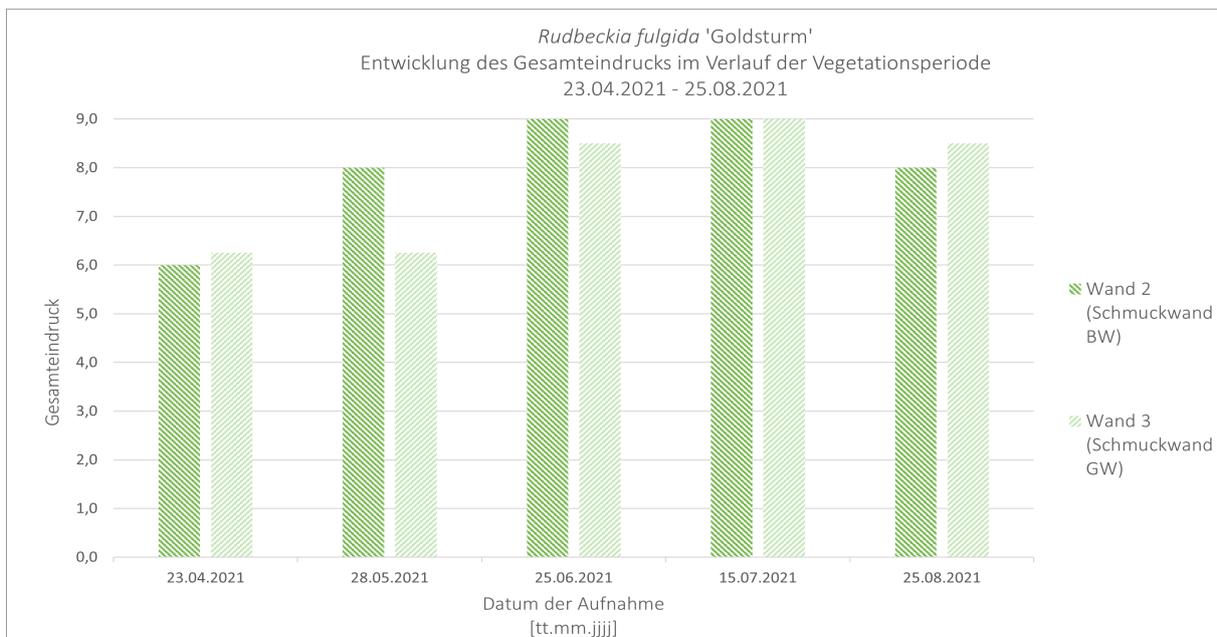


Diagramm 28: Entwicklung des Gesamteindrucks von Rudbeckia fulgida ‚Goldsturm‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Rudbeckia fulgida ‚Goldsturm‘ entwickelte sich zu Beginn der Vegetationsperiode in den Schmuckwänden noch zurückhaltend. Ab Mai konnte die Art in Wand 2 schon einen Mittelwert von 8,0 verzeichnen. Der Gesamteindruck stieg im Juni und Juli auf ein Niveau von bis zu 9,0 in beiden Wänden und sank im August leicht ab (siehe Diagramm 28).

Die Art bildete zum Teil starke Ausläufer. Die erste Blüte konnte im Juli dokumentiert werden, welche bis in den August anhielt.



Abbildung 34: Entwicklung von Rudbeckia fulgida ‚Goldsturm‘ in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Tabelle 48: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Rud 1	7,8	128,6	80,9	-47,7	88	23,50	1:3,7
	Rud 2	8,2	80,6	73,6	-7,0	66	27,01	1:2,4
	Rud 3	8,0	52,5	78,4	25,9	110	25,42	1:4,3
	Rud 4	8,0	112,0	112,1	0,1	152	38,36	1:3,9
Mittelwert		8,0	93,4	86,3	-7,2	104,00	28,57	
W3	Rud 1	<u>8,6</u>	135,1	96,6	-38,5	<u>153</u>	<u>67,48</u>	1:2,2
	Rud 2	8,4	69,3	104,4	35,1	40	41,11	1:0,9
	Rud 3	7,2	60,3	75,6	15,3	81	20,41	1:3,9
	Rud 4	8,4	71,9	<u>122,4</u>	50,5	78	19,94	1:3,9
Mittelwert		8,2	84,15	99,75	15,60	88,00	37,24	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Der hohe Gesamteindruck von *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' spricht durchaus für eine Eignung dieser Pflanzenart in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit einem Bewässerungsszenario B oder C (mittlerer Wasserverbrauch).

Nicht nur der Mittelwert des Gesamteindrucks von *Rudbeckia* zeigte in Wand 3 einen höheren Wert als in Wand 2, sondern auch das kubische Volumen, welches in dieser Wand den Höchstwert von 122,4 dm³ ausmachte. Auffallend ist hierbei die unterste Art *Rud 4*, welche in beiden Wänden, das größte Volumen misst (siehe Tabelle 48).

Vergleicht man das kubische Volumen mit den Erhebungen aus dem Vorjahr, so war im Juli 2020 in Wand 2 ein höheres Volumen zu messen und in Wand 3 ein geringeres. Dementsprechend gab es im zweiten Wuchsjahr einen negativen Zuwachs von durchschnittlich -7,2 dm³ in Wand 2 und einen positiven Zuwachs von 15,60 dm³ in Wand 3 zu verzeichnen.

Die Erhebungen der Biomasse zeigen eine größere Produktion in Wand 2 im frischen Zustand. Im trockenen Zustand produzierte *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' im Mittelwert mehr Biomasse in Wand 3. Dieses Ergebnis korreliert auch mit den höheren Werten des kubischen Volumens. Die Biomasse in trockenem- und frischen Zustand entspricht einem Verhältnis von 1:3,2.

Vergleicht man die durchschnittlichen Blattflächenwerte für *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm', so ist sowohl im April als auch im Juli eine größere Blattfläche in Wand 3 zu verzeichnen. Die Werte unterscheiden sich allerdings nur minimal. Der Blattflächenzuwachs von April bis Juli ist in beiden Schmuckwänden ähnlich hoch (siehe Tabelle 49).

Tabelle 49: Erhebungen der Blattfläche von *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	Rud 1	<u>3,60</u>	14,25	10,65
	Rud 2	2,62	13,46	10,84
	Rud 3	1,82	13,98	12,16
	Rud 4	1,23	17,36	<u>16,13</u>
Mittelwert		2,32	14,76	12,45
W3	Rud 1	3,22	15,86	12,64
	Rud 2	2,96	16,63	13,67
	Rud 3	2,28	13,68	11,40
	Rud 4	3,07	<u>18,31</u>	15,24
Mittelwert		2,88	16,12	13,24

Maximalwert

- *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster'

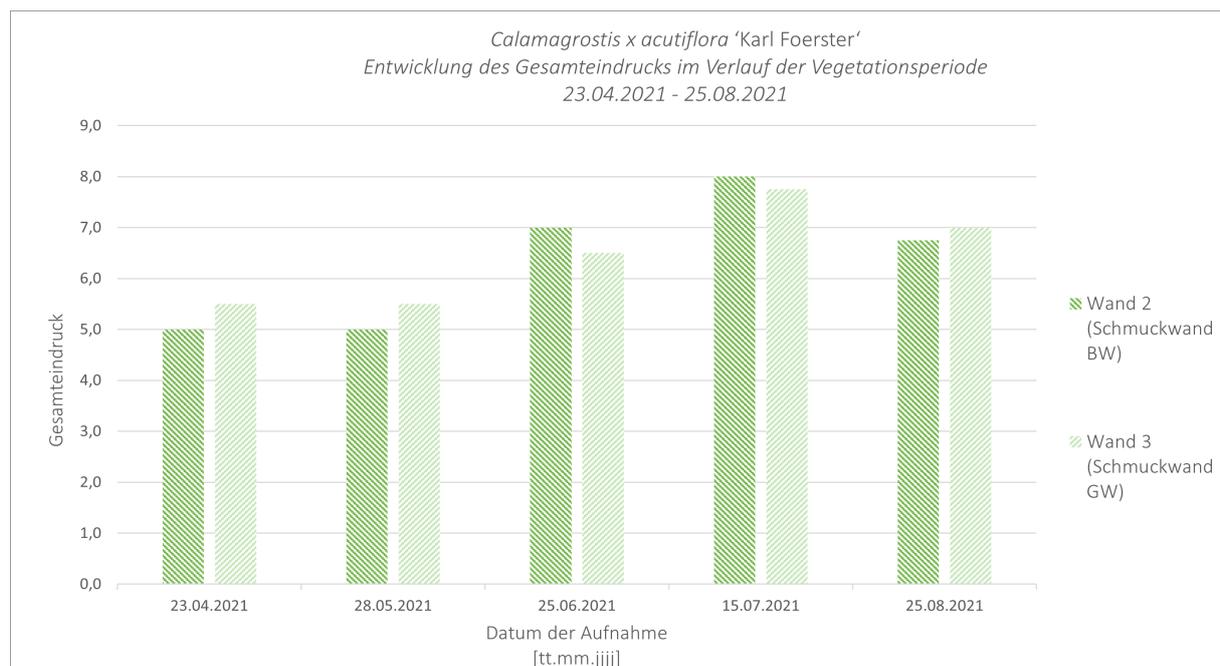


Diagramm 29: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die Pflanzenart *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster' zeigte zu Beginn der Vegetationsperiode einen niedrigen Gesamteindruck in beiden Schmuckwänden (siehe Diagramm 29). Gegen Sommer stieg dieser allerdings auf ein gutes Niveau an und erreichte im Juli einen Gesamteindruck von 8,0 in Wand 2. Vergleicht man die beiden Wände miteinander, ähnelte sich der Gesamteindruck stetig und schwankte bei beiden Schmuckwänden.

Im Juli konnte bei der Art die erste Blüte dokumentiert werden.

Tabelle 50: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Cal 1	4,6	20,8	6,2	-14,6	1,8	1,31	1:1,3
	Cal 2	<u>8,0</u>	<u>144,0</u>	55,2	-88,8	21,2	<u>18,73</u>	1:1,1
	Cal 3	6,6	54,0	109,7	55,7	<u>100,1</u>	13,16	1:7,6
	Cal 4	6,6	18,4	<u>123,1</u>	<u>104,7</u>	9,9	7,86	1:1,2
Mittelwert		6,5	59,3	73,6	14,3	33,25	10,27	
W3	Cal 1	5,2	84,0	39,6	-44,4	24,4	3,19	1:7,6
	Cal 2	7,8	67,5	29,3	-38,2	18,5	16,91	1:1,0
	Cal 3	6,6	35,1	52,4	17,3	18,5	13,42	1:1,3
	Cal 4	6,2	21,5	33,6	12,1	13,8	5,61	1:2,4
Mittelwert		6,5	52,03	38,73	-13,30	18,80	9,78	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Wie Tabelle 50 zu entnehmen ist, erreichte *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster' in beiden Schmuckwänden einen Mittelwert von 6,5. Dies deutet auf eine bedingte Eignung dieser Pflanzenart in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit mittlerem Wasserverbrauch (Bewässerungsszenario B und C) hin.

Vergleicht man das erhobene kubische Volumen der Art in den unterschiedlich bewässerten Wänden, so wurde ein deutlich höheres Volumen in Wand 2 gemessen, welche mit Brunnenwasser und nicht mit Grauwasser bewässert wurde. Dabei sind vorwiegend 2 Arten deutlich größer in ihrem Wachstum als die anderen Arten. Der Zuwachs im zweiten Versuchsjahr betrug bei 4 von 8 Arten einen positiven Wert verglichen mit dem Jahr zuvor.

Die Biomasse von *Calamagrostis* wog durchschnittlich im frischen Zustand in Wand 2 mehr als in Wand 3. Hingegen unterschied sich das Gewicht der Arten im trockenen Zustand nur noch gering. Auffällig war das sehr geringe Gewicht in den obersten Pflanztrögen bei beiden Versuchswänden. Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse entsprach im Mittel 1:2,9.

Hinsichtlich der Blattfläche von *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster' zeichnete sich im Juli 2021 eine etwas größere Blattfläche in Wand 2 ab. Zuvor, im April, war die Blattfläche der Arten ähnlich groß. Der Zuwachs der Blattfläche war somit in Wand 2 größer als in Wand 3, aber in beiden Wänden gab es einen Zuwachs zu verzeichnen. (siehe Tabelle 51).

Tabelle 51: Erhebungen der Blattfläche von *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster' (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	Cal 1	0,83	1,38	0,55
	Cal 2	2,37	4,84	2,47
	Cal 3	2,21	7,18	4,97
	Cal 4	2,60	<u>7,68</u>	<u>5,08</u>
Mittelwert		2,00	5,27	3,27
W3	Cal 1	1,28	4,00	2,72
	Cal 2	2,17	3,36	1,19
	Cal 3	<u>3,38</u>	4,70	1,32
	Cal 4	1,50	3,64	2,14
Mittelwert		2,08	3,93	1,84

Maximalwert



Abbildung 35: Entwicklung von *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster' in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

- Hemerocallis middendorffii

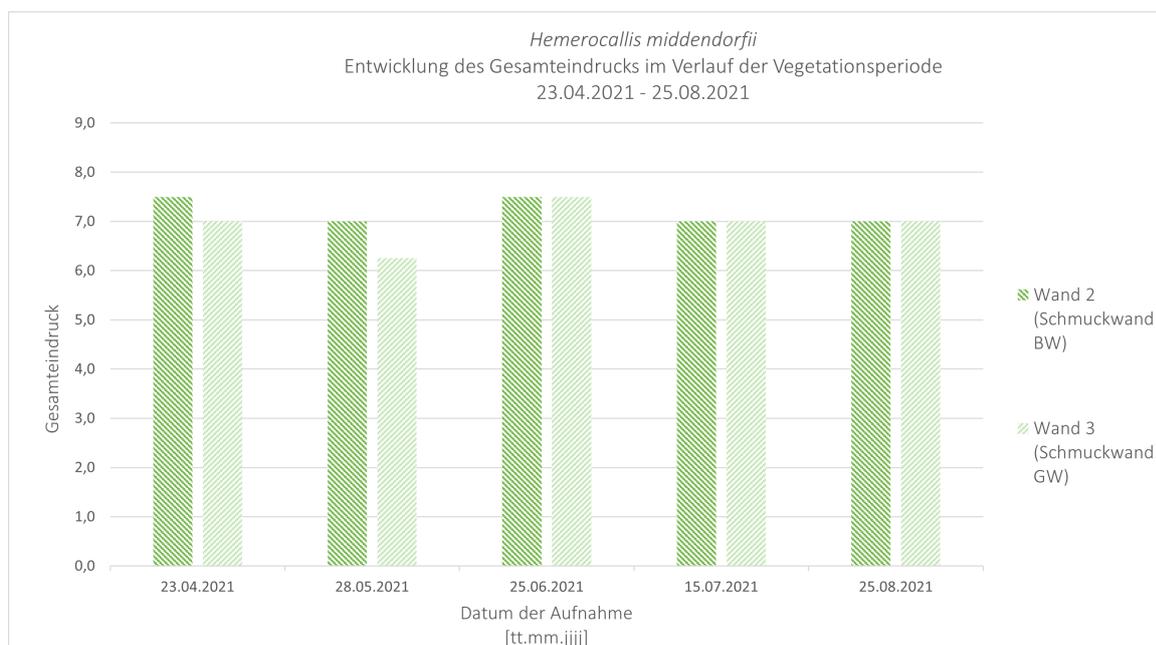


Diagramm 30: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Hemerocallis middendorffii* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Für die Pflanzenart *Hemerocallis middendorffii* ist in den Schmuckwänden ein gleichbleibender Mittelwert zu dokumentieren (siehe Diagramm 30). Dabei unterscheiden sich Wand 2 und 3 nur zu Beginn der Vegetationsperiode, wo Wand 3 einen etwas geringeren Wert aufwies.

Vereinzelt konnte eine Blüte im Mai verzeichnet werden.

Tabelle 52: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von *Hemerocallis middendorffii* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Hemerocallis middendorffii</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W2	Hem 1	7,0	15,1	25,7	10,6	30	6,93	1:4,3
	Hem 2	<u>7,8</u>	23,0	54,1	31,1	73	16,4	1:4,4
	Hem 3	7,0	20,7	42,6	21,9	19	4,47	1:4,2
	Hem 4	6,8	17,0	12,9	-4,1	17	5,26	1:3,2
Mittelwert		7,2	19,0	33,8	14,9	34,75	8,27	
W3	Hem 1	7,4	16,8	33,9	17,1	<u>84</u>	<u>17,81</u>	1:4,7
	Hem 2	6,8	16,0	<u>69,8</u>	<u>53,8</u>	32	6,53	1:4,9
	Hem 3	6,8	<u>31,1</u>	60,3	29,2	33	7,62	1:4,3
	Hem 4	6,8	30,0	34,5	4,5	16	3,96	1:4,0
Mittelwert		7,0	23,48	49,63	26,15	41,25	8,98	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Der Gesamteindruck von *Hemerocallis middendorffii* erreichte im Mittelwert in beiden Schmuckwänden einen Wert von mindestens 7,0. Somit ist von einer Eignung für eine troggebundene

Fassadenbegrünung mit einem Bewässerungsszenario B oder C (mittlerer Wasserverbrauch) auszugehen.

Das durchschnittliche kubische Volumen der Arten wies in Wand 2 einen geringeren Wert auf als in Wand 3 (siehe Tabelle 52). Im Vergleich zum Vorjahr war das Volumen im zweiten Wuchsjahr bei allen Arten höher als im ersten Wuchsjahr. Vor allem in Wand 3 gab es einen Zuwachs von 26,15 dm³ im kubischen Volumen. Dies entspricht fast doppelt so viel Zuwachs, als in Wand 2 gemessen wurde.

Die Biomasse von *Hemerocallis* zeigte einen geringeren Unterschied zwischen den beiden Schmuckwänden. Auch wenn der Mittelwert der frischen Biomasse in Wand 3 höher war, neutralisierte sich diese Erhebung in trockenem Zustand, wo sich die beiden Wände sehr ähneln.

Stellt man die Werte von trockener- und frischer Biomasse gegenüber, entspricht dies einem Verhältnis von 1:4,3.

Tabelle 53: Erhebungen der Blattfläche von *Hemerocallis middendorffii* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Hemerocallis middendorffii</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W2	Hem 1	13,78	39,01	25,23
	Hem 2	26,75	62,99	36,24
	Hem 3	16,74	54,01	37,27
	Hem 4	14,12	25,04	10,92
Mittelwert		17,85	45,26	27,42
W3	Hem 1	<u>53,68</u>	46,63	-7,05
	Hem 2	26,87	<u>74,21</u>	<u>47,34</u>
	Hem 3	42,36	67,55	25,19
	Hem 4	13,25	47,15	33,90
Mittelwert		34,04	58,89	24,85

Maximalwert

Auch die Blattfläche von *Hemerocallis middendorffii* erreichte sowohl im April als auch im Juli in Wand 3 höhere Werte, verglichen mit Wand 2. Dabei wurde in Wand 3 im Monat April eine fast doppelt so hohe Blattfläche errechnet, als in Wand 2. Diese Abweichung relativierte sich im Juli. Betrachtet man den Zuwachs in den Monaten April bis Juli, so ist für alle Arten außer einer ein deutliches Wachstum der Blattfläche zu vermerken (siehe Tabelle 53).



Abbildung 36: Entwicklung von *Hemerocallis middendorffii* in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

5.1.4.1 Schlussfolgerung



Abbildung 37: Vergleich Bewässerungsszenario B (Brunnenwasser) links und Szenario C (Grauwasser) rechts, Stand Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Aus den Ergebnissen der Pflanzen der Schmuckwände lässt sich herauslesen, dass die meisten Pflanzen in einer trogebundenen Fassadenbegrünung gut mit den Bewässerungsszenarien B und C, also einer mittleren Wasserzufuhr zurechtkamen. Insgesamt hatten 14 von 18 Arten in der Schmuckwand, die mit Brunnenwasser bewässert wurde (Wand 2) einen Gesamteindruck von über 6,0. Die gleichen Arten aber bewässert mit Grauwasser in Wand 3 zeigten ähnliche Werte im Gesamteindruck. So schnitten 13 von 18 Arten mit mäßig gut oder gut ab. Nur *Sedum telephium* 'Herbstfreude' konnte in Wand 3 nicht als geeignet eingestuft werden, wobei der Unterschied zu Wand 2 kaum nennenswert ist.

Vergleicht man das kubische Volumen und die Biomasse der Pflanzenarten in den beiden Wänden, so wurde durchschnittlich ein höheres kubisches Volumen und eine höhere Biomasse bei den Pflanzenarten in der mit Brunnenwasser bewässerten Versuchswand erhoben als in der mit Grauwasser bewässerten Wand. Die Gesamtsumme der Biomasse war jedoch in Wand 3 höher als in Wand 2.

Die Art mit dem höchsten Gesamteindruck war in Wand 2 *Aster ageratoides* 'Asran' und in Wand 3 *Iris barbata-nana*. Die größte Biomasse allerdings wurde sowohl in Wand 2 als auch in Wand 3 bei *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' gemessen. Dies bedeutet nicht gleichzeitig, dass diese Pflanzen auch die größte Blattfläche hatten. Diese wurde bei *Hemerocallis middendorffii* in beiden Wänden festgestellt.

5.1.5 Auswertungen der Erhebungen in der Reinigungswand

Im Folgenden werden die Erhebungen der Pflanzen aus der Reinigungswand dargestellt, um in weiterer Folge eine Eignung dieser Arten für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D feststellen zu können.

- *Valeriana officinalis*

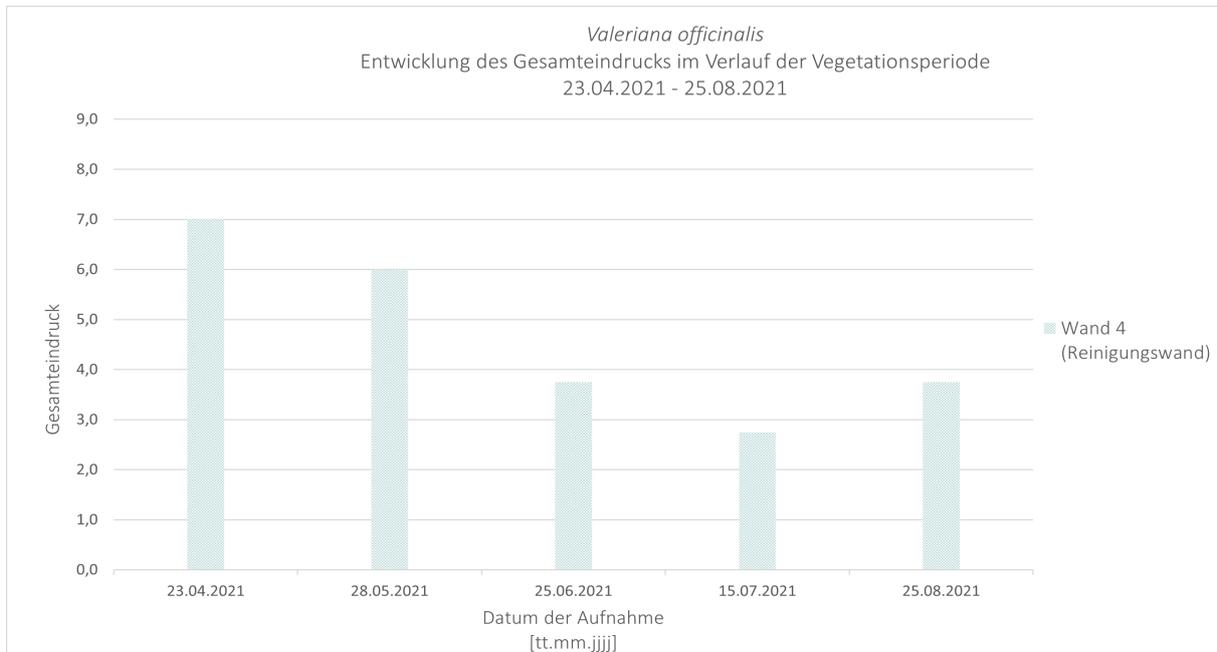


Diagramm 31: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Valeriana officinalis* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die Pflanzenart *Valeriana officinalis*, welche sich in der Reinigungswand (Wand 4) befindet, zeigte in der Bewertung ihres Gesamteindrucks zu Beginn der Vegetationsperiode eine gute Entwicklung. Diese sank über die Monate stetig bis auf einen Minimalwert von 2,8 im Monat Juli und stieg zuletzt im August wieder leicht an (siehe Diagramm 31).



Abbildung 38: Entwicklung von *Valeriana officinalis* April, Mai, Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 54: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Valeriana officinalis* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Valeriana officinalis</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	Val 1	5,0	28,1	21,5	-6,6	7	0,82	1:8,5
	Val 2	4,6	25,8	3,3	-22,5	28	2,91	1:9,6
	Val 3	<u>7,4</u>	<u>35,9</u>	<u>41,9</u>	<u>6,0</u>	<u>70</u>	<u>17,3</u>	1:4,0
	Val 4	1,6	24,3	0,0	-24,3	-	-	-
Mittelwert		4,7	28,5	16,7	-11,9	35,00	7,01	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Auch wenn eine Art (*Val 3*) einen höheren durchschnittlichen Gesamteindruck von 7,4 erreichte, fällt die Bilanz von *Valeriana officinalis* mit einem Wert von 4,7 schlecht aus (siehe Tabelle 54). Demzufolge eignet sich diese Art nicht für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch).

In Anbetracht des kubischen Volumens ist zu berücksichtigen, dass es zu einem Ausfall einer Art kam. Einzigartig in der Größe des Volumens war die Art mit dem besten Gesamteindruck, welche ein Volumen von 41,9 dm³ erreichte. Gegenübergestellt mit dem ersten Wuchsjahr, erreichte dieselbe Pflanze das höchste kubische Volumen im Jahr zuvor. Alle Arten betreffend zeigte die Differenz von Juli 2020 bis Juli 2021 durchschnittlich einen negativen Zuwachs von -11,9 dm³.

Auch in der Biomasse hob sich dieselbe Art (*Val 3*) deutlich von den anderen Arten ab. Augenfällig ist außerdem die zweitoberste Art, welche trotz ihres geringen kubischen Volumens eine deutlich höhere Biomasse produzierte als die darüber wachsende Art. Dies zeigt, wie verschieden sich die einzelnen Individuen einer Art in der Fassadenbegrünung entwickeln können. Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse beträgt 1:7,4.

- *Thelypteris palustris*

Diagramm 32 zeigt die Entwicklung des Gesamteindrucks von *Thelypteris palustris* im Verlauf der Vegetationsperiode. Zu sehen ist eine durchwegs positive Entwicklung der Art in der Reinigungswand (Wand 4) mit dem Höchstwert des Gesamteindrucks von 9,0 ab Juni.

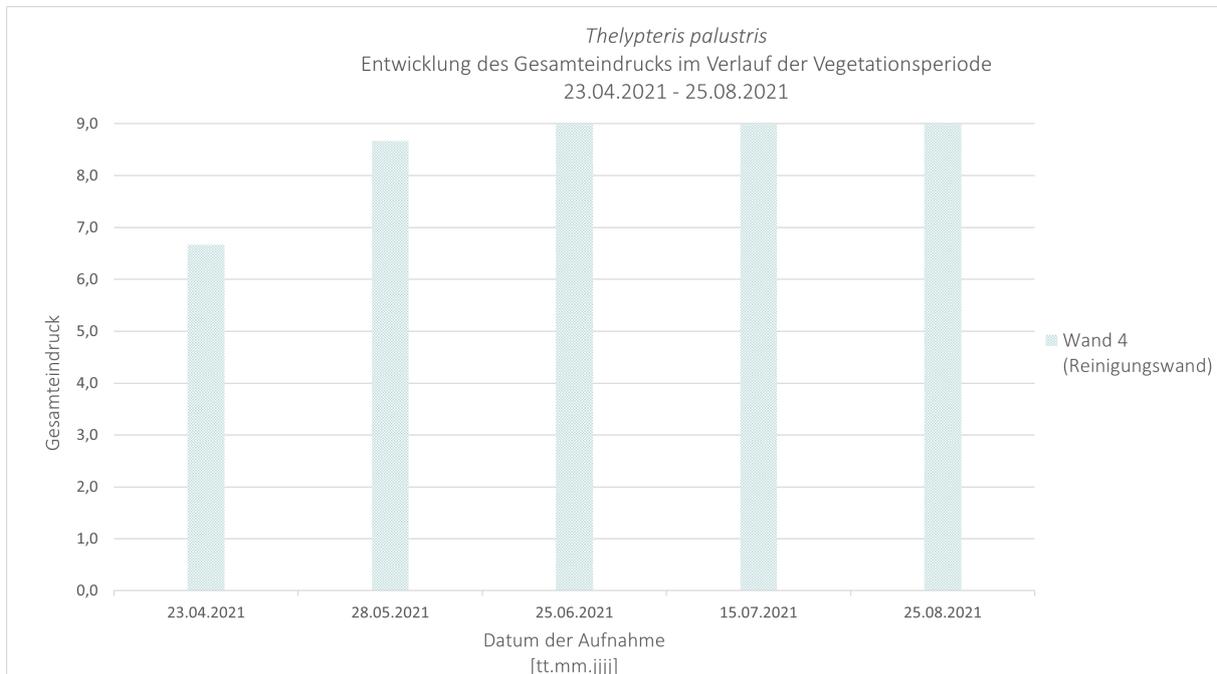


Diagramm 32: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Thelypteris palustris* (Quelle: eigene Erstellung 2021)



Abbildung 39: Entwicklung von *Thelypteris palustris* April, Mai, Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Laut Tabelle 55 erreichten die 6 Arten von *Thelypteris palustris* einen Mittelwert von 8,5 in der Reinigungswand. Dieser hohe Wert vermittelt somit eindeutig eine Eignung der Pflanzenart für eine trogebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch).

Das kubische Volumen erreicht bei allen Arten außer der Art in der untersten Wanne ein Volumen über 100 dm³. Das größte gemessene Volumen einer Art war mit 224,1 dm³ dreimal so hoch wie das größte kubische Volumen aus dem Vorjahr. Daraus lässt sich ein deutlicher Zuwachs im zweiten Jahr abzeichnen.

Tabelle 55: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Thelypteris palustris* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Thelypteris palustris</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	The 1	8,2	66,5	178,1	111,6	48	40,66	1:1,1
	The 2	8,2	15,8	189,2	<u>173,4</u>	111	<u>50,12</u>	1:2,2
	The 3	8,6	63,9	171,8	107,9	66	33,92	1:1,9
	The 4	8,6	50,4	187,2	136,8	52	35,9	1:1,4
	The 5	8,6	<u>77,3</u>	<u>224,1</u>	146,8	<u>201</u>	45,91	1:4,3
	The 6	8,6	33,9	73,3	39,4	69	34,66	1:1,9
Mittelwert		8,5	51,3	170,6	119,3	91,17	40,20	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Die Biomasse von *Thelypteris palustris* unterschied sich in ihrem frischen Gewicht mit dem Trockengewicht deutlich. So ergab das größte Gewicht der frischen Biomasse nicht gleichzeitig das größte Gewicht der trockenen Biomasse. Im getrockneten Zustand unterschied sich das Gewicht zwischen den Arten nicht mehr so deutlich wie im frischen Zustand. Die trockene- und frische Biomasse steht in einem Verhältnis von durchschnittlich 1:2,1.

- *Eriophorum vaginatum*

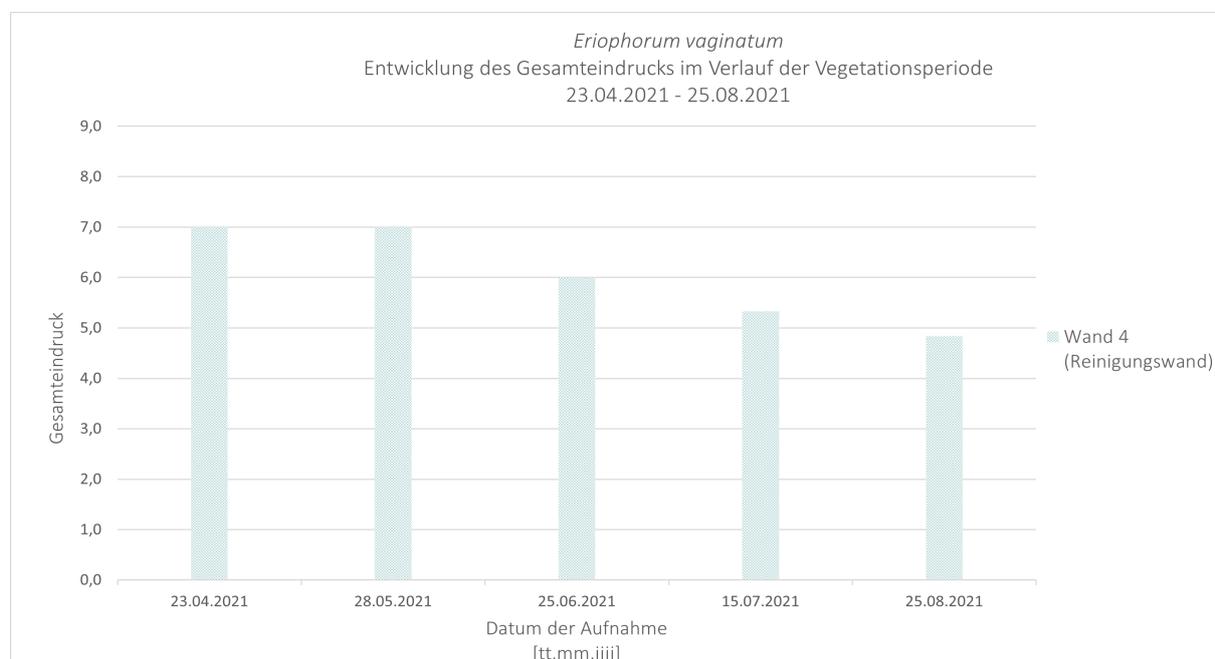


Diagramm 33: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Eriophorum vaginatum* (Quelle: eigene Erstellung)

Die Pflanzenart *Eriophorum vaginatum* entwickelte sich in ihrem Gesamteindruck in der Reinigungswand während der Vegetationsperiode stetig bergab. Während die Art in den ersten Monaten noch einen Gesamteindruck von 7,0 erreichte, sank dieser im Sommer auf einen deutlich geringeren Mittelwert von 4,8 (siehe Diagramm 33).

Zu beobachten war der Konkurrenzdruck der Pflanzindividuen *Er 3* und *Er 5* von den jeweiligen Pflanznachbarn, was Einfluss auf den Gesamteindruck nehmen könnte.



Abbildung 40: Entwicklung von *Eriophorum vaginatum* Mai, Juli, August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 56: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Eriophorum vaginatum* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Eriophorum vaginatum</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	Er 1	6,6	*	1,3	-	10	3,33	1:3
	Er 2	5,4	*	12,9	-	9	5,36	1:1,6
	Er 3	3,8	*	0,0	-	2	1,8	1:1,1
	Er 4	7,0	*	16,7	-	17	6,32	1:2,6
	Er 5	6,0	*	1,4	-	2	1,03	1:1,9
	Er 6	<u>7,4</u>	*	<u>18,1</u>	-	<u>36</u>	<u>9,81</u>	1:3,6
Mittelwert		6,0	*	8,4	-	12,67	4,61	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert
*Neupflanzung im April 2021

Entsprechend den Erhebungen von Tabelle 56 erreichte die Art *Eriophorum vaginatum* durchschnittlich einen Gesamteindruck von 6,0. Dies bedeutet eine bedingte Eignung für eine trogebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch).

Das kubische Volumen unterschied sich zwischen den Pflanzindividuen deutlich. So entwickelte die zuunterst wachsende Art ein kubisches Volumen von 18,1 dm³, was verglichen mit der zuoberst gepflanzten Art deutlich höher ist. Da es sich bei dieser Art um eine Neupflanzung im April 2021 handelt, kann kein Vergleich zu dem Vorjahr gezogen werden.

Die Art in der untersten Wanne der Reinigungswand produzierte das größte Gewicht sowohl in frischem als auch in trockenem Zustand. Die anderen Arten variierten deutlich in ihrer Biomasse. Das Verhältnis von trockener- zu frischer Biomasse ergibt einen durchschnittlichen Wert von 1:2,3.

- *Liriope muscari* 'Ingwersen'

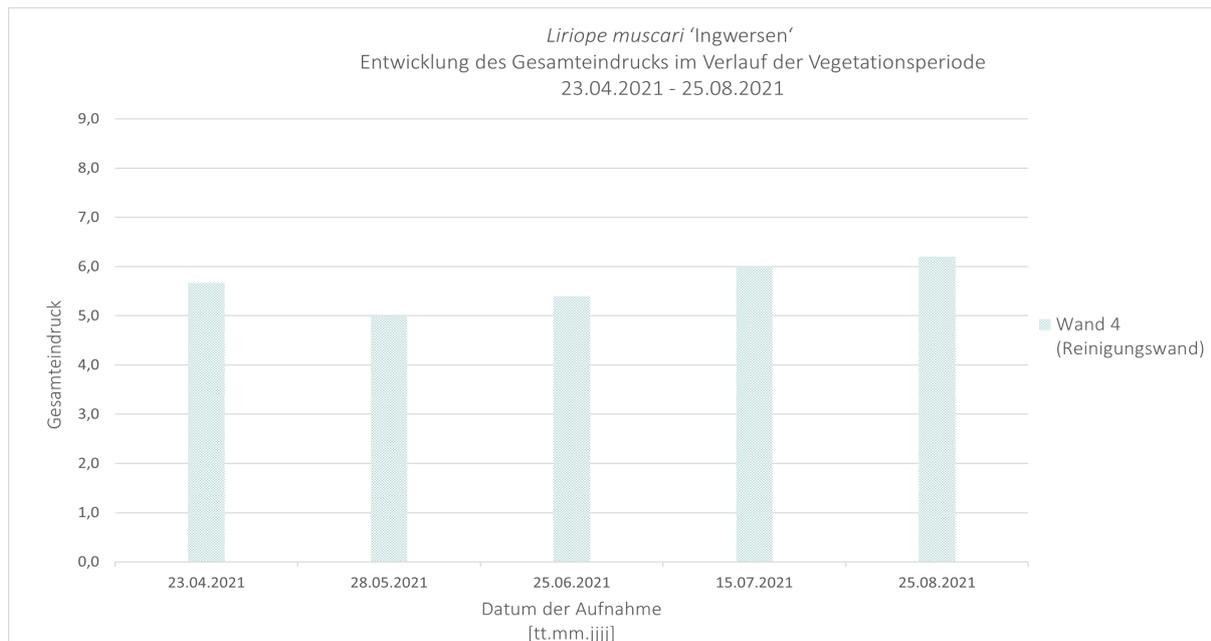


Diagramm 34: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Liriope muscari* 'Ingwersen' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Liriope muscari 'Ingwersen' stagnierte im gesamten Verlauf der Vegetationsperiode auf einem leicht schwankenden Mittelwert zwischen 5,0 und 6,2 (siehe Diagramm 34).

Eine der sechs Arten wurde im Frühjahr versehentlich zurückgeschnitten und konnte sich davon im Verlauf der Vegetationsperiode nicht erholen.



Abbildung 41: Entwicklung von *Liriope muscari* im April, Mai und Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der Gesamteindruck von durchschnittlich 5,1 und der Ausfall einer Art führen zu dem Schluss, dass sich *Liriope muscari* 'Ingwersen' für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch) nicht eignet. Auch wenn zwei Arten in den unteren Reihen einen höheren Wert aufwiesen (siehe Tabelle 57).

Tabelle 57: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von *Liriope muscari* 'Ingwersen' (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	Li 1	5,8	15,6	4,3	-11,3	11	4,43	1:2,4
	Li 2	5,6	<u>35,1</u>	5,3	-29,8	18	6,24	1:2,8
	Li 3	2,0	17,7	0,0	-17,7	*	*	*
	Li 4	3,8	11,8	3,3	-8,5	2	1,61	1:1,2
	Li 5	<u>6,6</u>	22,0	<u>20,6</u>	-1,4	20	6,35	1:3,1
	Li 6	<u>6,6</u>	16,2	18,2	<u>2,0</u>	<u>26</u>	<u>6,42</u>	1:4,0
Mittelwert		5,1	19,7	8,6	-11,1	15,40	5,01	

* versehentlicher Rückschnitt im Frühjahr

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Im Juli 2021 wies das kubische Volumen einen geringeren Mittelwert auf als im ersten Wuchsjahr. Dabei unterschied sich das Volumen besonders zwischen den in den oberen Reihen wachsenden und den zuunterst wachsenden Arten. Im Vorjahr war das kubische Volumen von *Liriope* mehr als doppelt so hoch. Demnach ist ein negativer Zuwachs bei allen Arten bis auf einer zu dokumentieren.

Auch die Biomasse variiert unter den Individuen, jedoch ist der Unterschied im trockenen Zustand nicht mehr so markant. Die trockene Biomasse im Vergleich zur frischen Biomasse steht in einem Verhältnis von 1:2,3.

- *Eupatorium cannabinum*

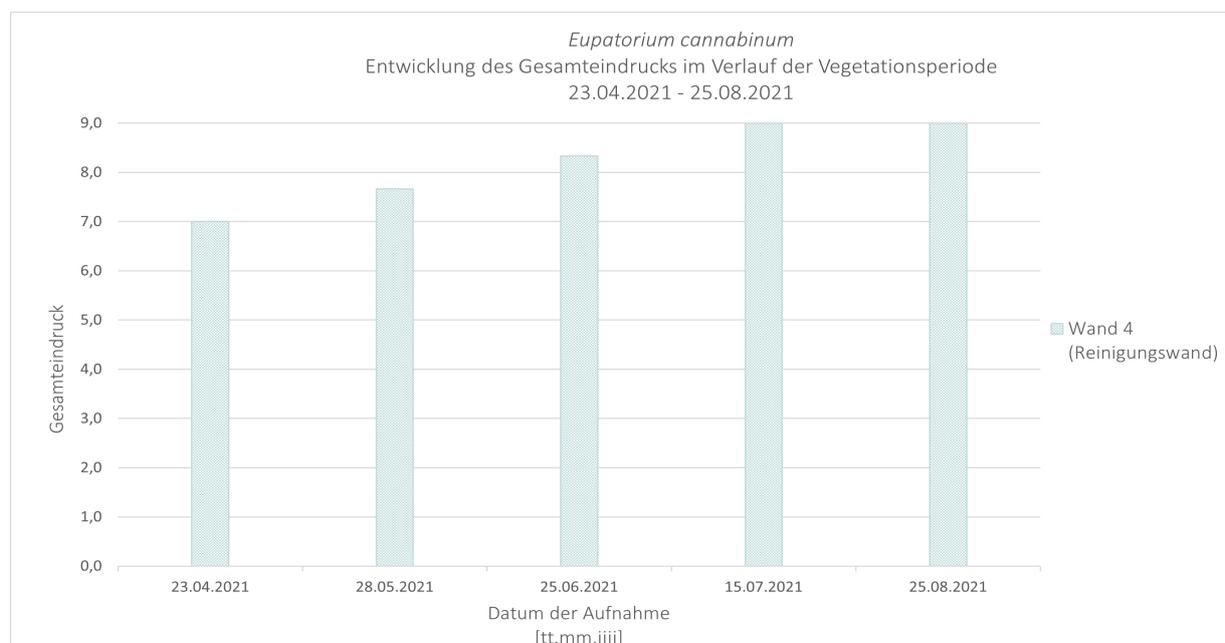


Diagramm 35: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Eupatorium cannabinum* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der Gesamteindruck von *Eupatorium cannabinum* entwickelte sich über die Monate April bis August stetig bergauf von 7,0 im Frühjahr auf einen durchschnittlichen Wert von 9,0 im Sommer (Siehe Diagramm 35).



Abbildung 42: Entwicklung von *Eupatorium cannabinum* April, Mai, August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Für die Art konnte im August eine Blüte dokumentiert werden.

Tabelle 58: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Eupatorium cannabinum* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Eupatorium cannabinum</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	Eup 1	7,8	7,7	78,7	71,0	112	37,83	1:2,9
	Eup 2	7,8	19,4	116,4	97,0	141	55,51	1:2,5
	Eup 3	-	0,6	-	-	-	-	-
	Eup 4	<u>9,0</u>	<u>34,7</u>	<u>324,5</u>	<u>289,8</u>	<u>351</u>	<u>141,05</u>	1:2,4
Mittelwert		8,2	15,6	173,2	152,6	201,33	78,13	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Laut Tabelle 58 gab es in der Reinigungswand (Wand 4) einen Ausfall einer Art, während sich die anderen Arten sehr gut entwickelten und einen Mittelwert von 8,2 aufwiesen. Für diese Art ist zu erwähnen, dass sich alle 4 Arten in dem obersten Pflanztrug befanden.

Beim kubischen Volumen der Arten fiel eine Art besonders ins Auge (siehe Tabelle 58, *Eup 4*), welche ein Volumen von 324,5 dm³ aufwies. Dies macht etwa das Vierfache des Volumen der kleinsten Art aus.

Auch in der Biomasse entwickelten sich die Arten unterschiedlich. Das Gewicht der trockenen Biomasse war bei der größten Art mehr als doppelt so hoch, als bei den anderen Arten. Setzt man trocken- und frisches Gewicht der Pflanzen in ein Verhältnis so beträgt dieses durchschnittlich 1:2,6.

Die Blattfläche von *Eupatorium cannabinum* zeigte einen positiven Zuwachs von April bis Juli 2021 (siehe Tabelle 59). Auch bei dieser Erhebung, zeigt sich die größte Blattfläche, bei der Art, welche auch das größte kubische Volumen und die höchste Biomasse aufwies (*Eup 4*).

Tabelle 59: Erhebungen der Blattfläche von *Eupatorium cannabinum* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Eupatorium cannabinum</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W4	Eup 1	4,18	22,91	18,73
	Eup 2	1,34	28,54	27,20
	Eup 3	-	-	-
	Eup 4	<u>7,28</u>	<u>50,74</u>	<u>43,46</u>
Mittelwert		4,27	34,06	29,80

Maximalwert

- *Lythrum salicaria*

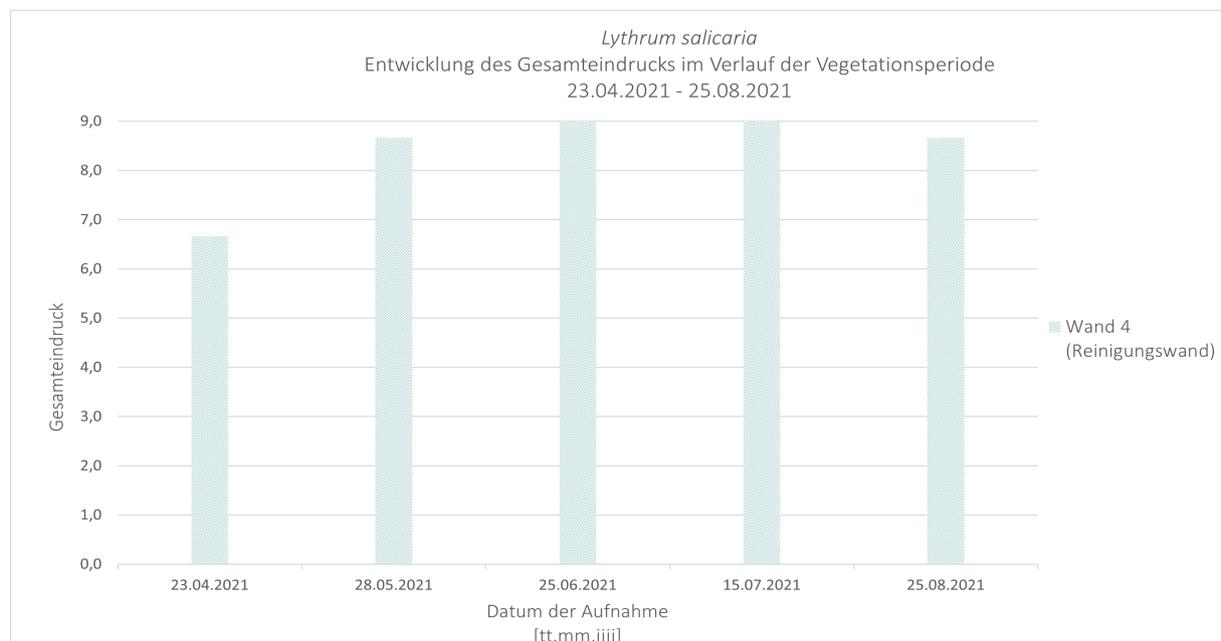


Diagramm 36: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Lythrum salicaria* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der Gesamteindruck der Pflanzenart *Lythrum salicaria* war bis auf den Monat April auf einem guten Niveau (siehe Diagramm 36). Die anfänglichen Schwierigkeiten sind dabei allein von einer der sechs Arten abhängig (*Ly 3*), welche zu Beginn von ihrem Pflanznachbarn *Thelypteris palustris* stark bedrängt wurde und erst später in Konkurrenz trat.

Die verblühten Knospen waren im August zu beobachten, was darauf hindeutet, dass es zu einer Blüte im Juli kam.



Abbildung 43: Entwicklung von *Lythrum salicaria* im Mai, Juli, August, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 60: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Lythrum salicaria* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Lythrum salicaria</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	Ly 1	8,6	103,0	70,3	-32,7	58	43,38	1:1,3
	Ly 2	8,2	<u>204,9</u>	101,0	-103,9	<u>83</u>	<u>51,35</u>	1:1,6
	Ly 3	7,8	114,9	151,8	36,9	45	23,18	1:1,9
	Ly 4	<u>9,0</u>	116,1	<u>417,6</u>	<u>301,5</u>	73	38,93	1:1,8
	Ly 5	8,2	175,0	129,2	-45,8	48	18,4	1:2,6
	Ly 6	8,6	110,9	250,2	139,3	76	36,8	1:2,0
Mittelwert		8,4	137,5	186,7	49,2	63,83	35,34	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Aufgrund des hohen Gesamteindrucks von durchschnittlich 8,4 gilt die Art *Lythrum salicaria* als geeignet für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch).

Mit einem kubischen Volumen von 417,6 dm³ im Juli 2021 übertraf ein Pflanzenindividuum (*Ly 4*) deutlich das Wachstum der anderen Arten. Diese Art hatte innerhalb des zweiten Wuchsjahres einen Zuwachs von 301,5 dm³ zu verzeichnen. Bei insgesamt drei von sechs Arten konnte im zweiten Versuchsjahr ein positiver Zuwachs gemessen werden (siehe Tabelle 60).

Erstaunlicherweise war die Art mit dem deutlich größeren Volumen nicht gleichzeitig die Art mit der größten Biomasse. Dies könnte zum Beispiel daran liegen, dass die Art zwar größer war, aber dennoch weniger Blätter produzierte als andere Arten.

Stellt man das Trockengewicht der Pflanze gegenüber dem Frischgewicht, so entsteht durchschnittlich ein Verhältnis von 1:1,9.

- *Ophiopogon planiscapus* ‚Black Dragon‘

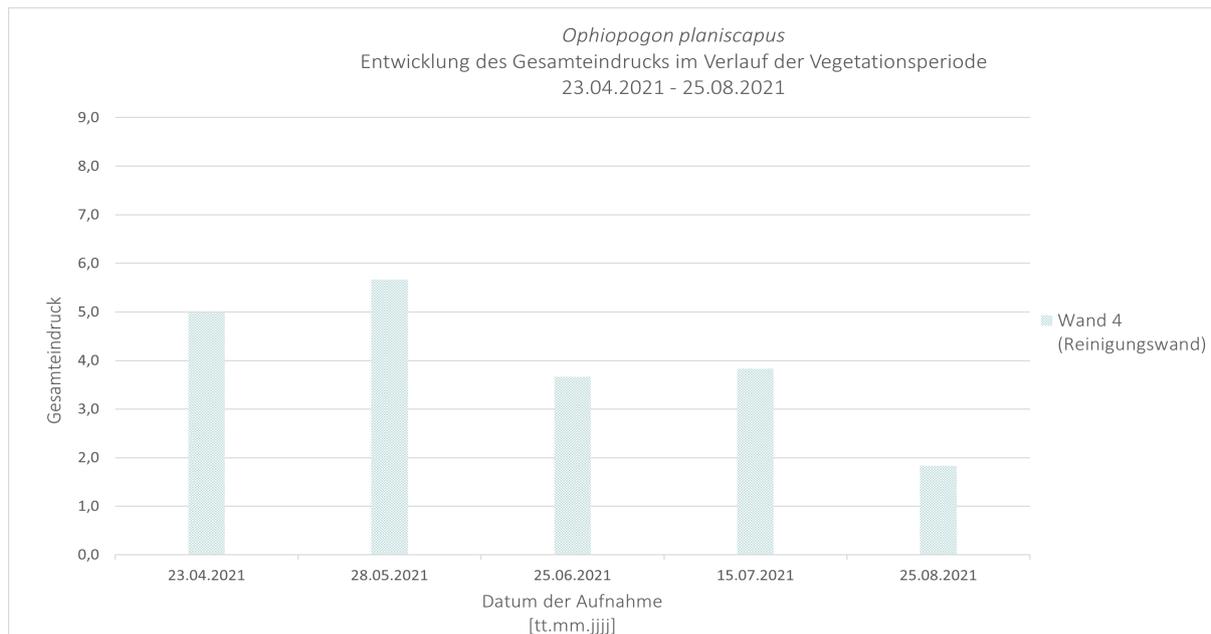


Diagramm 37: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Ophiopogon planiscapus* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Der Gesamteindruck der Pflanzenart *Ophiopogon planiscapus* wurde von Beginn an niedrig bewertet und verschlechterte sich zusätzlich ab Juni (siehe Diagramm 37). Im August konnte nur noch ein Gesamteindruck von 1,8 nachgewiesen werden, was auf ein Absterben der Art hindeutet.



Abbildung 44: Entwicklung von *Ophiopogon planiscapus* im Mai, Juli und August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Mit einem durchschnittlichen Gesamteindruck von 4,0 aller 6 Arten, gilt *Ophiopogon planiscapus* als nicht geeignet für eine troggebundene Fassadenbegrünerung mit einem Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch).

Das kubische Volumen im Juli 2021 zeigte sehr geringe Werte für diese Art (siehe Tabelle 61). Außerdem verdeutlicht der Vergleich mit dem kubischen Volumen aus dem Vorjahr die Verschlechterung des Wachstums im zweiten Versuchsjahr. Die Differenz zeigt einen negativen Zuwachs für alle Arten.

Die durchschnittlich produzierte Frischmasse von 3,00 g und Trockenmasse von 2,18 g unterstreichen die geringe Wuchsgröße von *Ophiopogon planiscapus*.

Die trockene Biomasse steht der frischen Biomasse einem Verhältnis von 1:1,4 gegenüber.

Tabelle 61: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Ophiopogon planiscapus* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Ophiopogon planiscapus</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	Op 1	3,8	<u>7,2</u>	0,8	-6,4	2	1,24	<u>1:1,6</u>
	Op 2	3,4	2,9	0,7	-2,2	4	3,10	1:1,2
	Op 3	3,0	5,2	1,4	-3,8	<u>5</u>	<u>3,34</u>	1:1,4
	Op 4	4,6	2,4	1,4	<u>-1,0</u>	2	2,07	1:0,9
	Op 5	3,8	3,4	1,0	-2,4	3	2,00	1:1,5
	Op 6	<u>5,4</u>	3,8	<u>2,1</u>	-1,7	2	1,31	1:1,5
Mittelwert		4,0	4,2	1,2	-2,9	3,00	2,18	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

- *Caltha palustris*

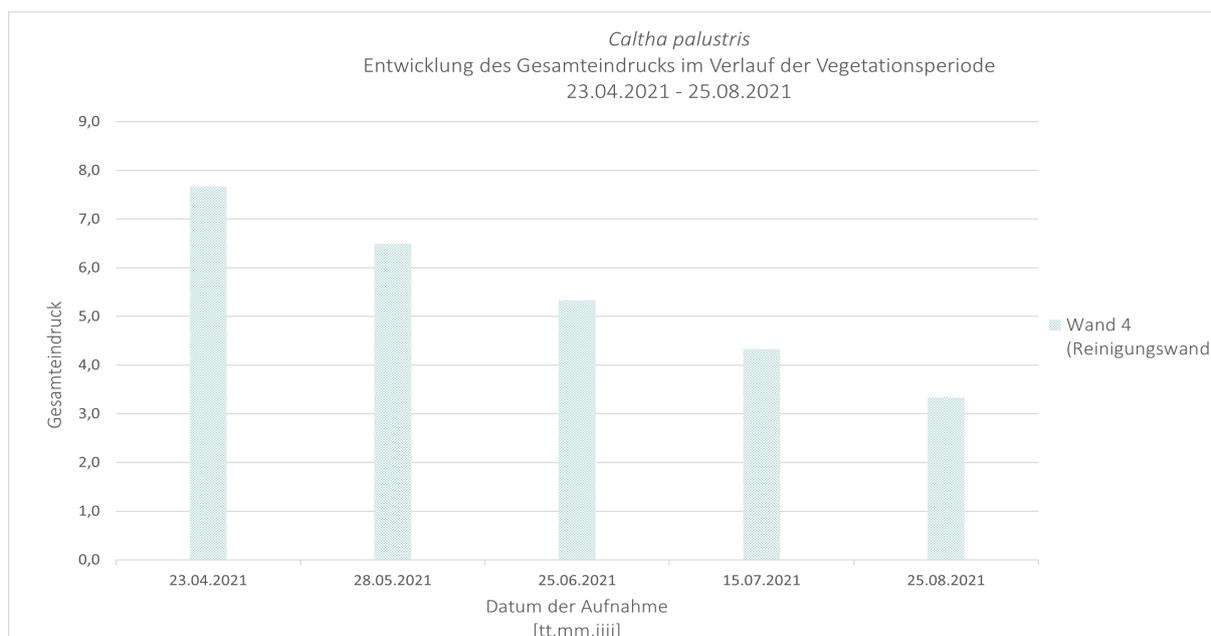


Diagramm 38: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Caltha palustris* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die Pflanzenart *Caltha palustris* zeigte in der Entwicklung des Gesamteindrucks zu Beginn der Vegetationsperiode einen hohen Wert von 7,7, welcher im weiteren Verlauf kontinuierlich abnahm. So erreichte die Art im August nur noch einen Gesamteindruck von 3,3 (siehe Diagramm 38).

Die negative Entwicklung könnte zum einen mit der Bedrängung des konkurrenzstarken Pflanznachbarns *Thelypteris palustris* zusammenhängen und zum anderen mit der ab Juni beobachteten Pilzkrankheit "echter Mehltau".

Die erste Blüte wurde im April beobachtet (siehe Abbildung 45). Ab Mai bildeten einzelne Individuen Früchte.



Abbildung 45: Entwicklung von *Caltha palustris* im April, Mai und Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 62: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Caltha palustris* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Caltha palustris</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	C p. 1	5,4	9,0	27,0	18,0	9	5,06	1:1,7
	C p. 2	6,2	6,1	<u>39,1</u>	<u>33,0</u>	13	3,23	1:4,0
	C p. 3	6,2	14,3	21,8	7,5	<u>22</u>	<u>6,87</u>	1:3,2
	C p. 4	3,8	2,6	9,0	6,4	1	0,57	1:1,7
	C p. 5	<u>6,4</u>	10,9	16,9	6,0	10	2,94	1:3,4
	C p. 6	4,6	<u>16,3</u>	13,8	-2,5	1	0,65	1:1,5
Mittelwert		5,4	9,9	21,3	11,4	9,33	3,22	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Auch wenn einzelne Arten einen höheren Gesamteindruck nachweisen konnten, erreichte *Caltha palustris* im Durchschnitt einen Gesamteindruck von 5,4 (siehe Tabelle 62). Dies führt zu der Annahme, dass sich diese Art für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch) nicht eignet.

Auch wenn der Gesamteindruck nicht positiv bewertet wurde, war das kubische Volumen im Vergleich zum Vorjahr mehr als doppelt so hoch im zweiten Versuchsjahr. Dies bedeutet, dass es einen Zuwachs bei fünf von sechs Arten zu verzeichnen gab. Betrachtet man das kubische Volumen hinsichtlich der Position der Pflanzen in der Versuchswand, so war ein größeres Volumen in den oberen Reihen zu messen.

In der Biomasse zeigte sich ein sehr geringes Gewicht von 1 g bei zwei Individuen. Setzt man trockene- und frische Biomasse in ein Verhältnis zueinander, so ergibt dies 1:2,6.

- Carex grayi

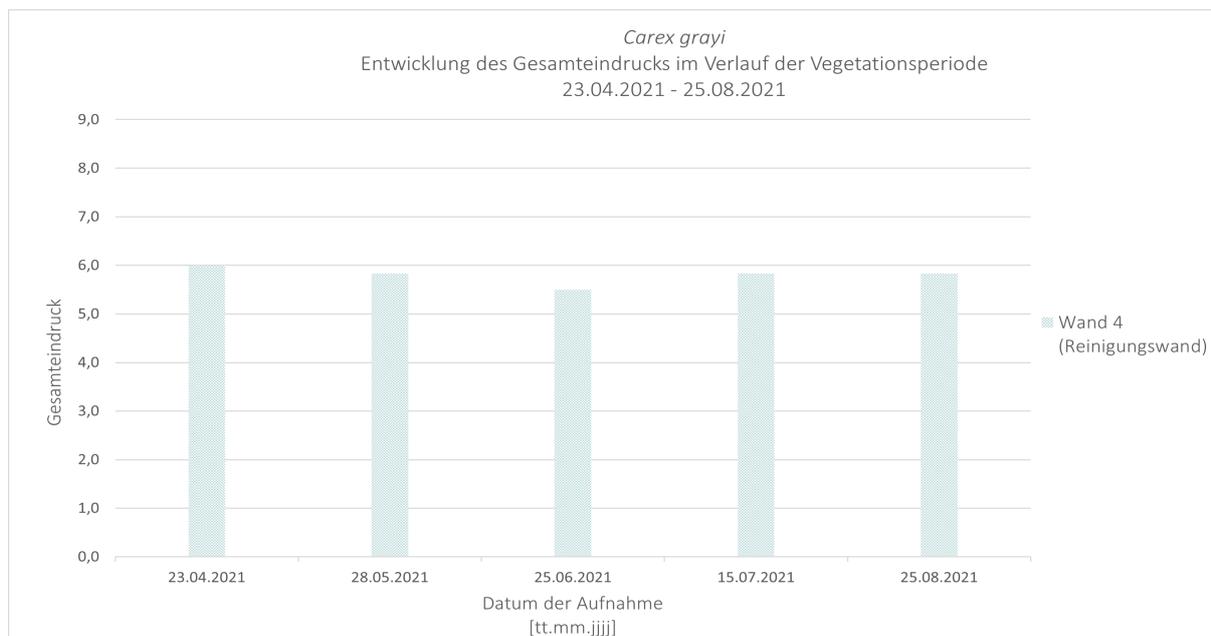


Diagramm 39: Entwicklung des Gesamteindrucks von Carex grayi (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die Entwicklung des Gesamteindrucks von Carex grayi in der Reinigungswand stagniert im Verlauf der Vegetationsperiode auf einem Mittelwert von maximal 6,0 (siehe Diagramm 39).

Eine Blüte konnte im Mai beobachtet werden und die Fruchtbildung erstreckte sich von Juni bis Juli.



Abbildung 46: Entwicklung von Carex grayi im Mai, Juli und August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die geringe Gesamtnote von 5,8 (siehe Tabelle 63) für die Pflanzenart Carex grayi in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch) spricht gegen eine Eignung dieser Art. In Anbetracht der einzelnen Arten ist allerdings zu unterscheiden, dass die weiter oben wachsenden Arten einen besseren Gesamteindruck verzeichneten und der Mittelwert deutlich von dem geringen Gesamteindruck der zuunterst wachsenden Art beeinflusst wurde, welche im Mai starb. Weiters wurde bei der Pflanze Car g. 4 ein Konkurrenzdruck mit dem wuchernden Farn dokumentiert. Auch die führt zu einer geringeren Bewertung des Gesamteindrucks.

Tabelle 63: Entwicklungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von *Carex grayi* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Carex grayi</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	Car g. 1	7,8	<u>88</u>	<u>61,3</u>	-26,7	<u>78</u>	<u>25,71</u>	1:3,0
	Car g. 2	7,0	72,2	38,4	-33,8	40	13,32	1:3,0
	Car g. 3	7,0	47,3	34,7	-12,6	38	11,49	1:3,3
	Car g. 4	5,8	72,1	10,0	-62,1	22	6,64	1:3,3
	Car g. 5	6,6	36,6	20,2	-16,4	12	5,41	1:2,2
	Car g. 6	0,6	56,6	0,0	-56,6	-	-	-
Mittelwert		5,80	62,13	27,43	-34,70	31,67	10,43	

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Das kubische Volumen war bei den weiter oben wachsenden Arten deutlich höher als bei den darunterliegenden. Verglichen mit dem kubischen Volumen des ersten Wuchsjahres, erreichte *Carex grayi* im zweiten Wuchsjahr durchschnittlich nur noch die Hälfte des Volumens. Dementsprechend war der Zuwachs bei allen Arten negativ im zweiten Jahr.

Die Biomasse bestätigt die höheren Werte in den oberen Reihen. Das Verhältnis zwischen trockener- und frischer Biomasse beträgt durchschnittlich 1:3,0.

Tabelle 64: Erhebungen der Blattfläche von *Carex grayi* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Carex grayi</i>				
Wand	Art	Blattfläche April 21 (dm ²)	Blattfläche Juli 21 (dm ²)	Zuwachs (dm ²)
W4	Car g. 1	4,64	<u>8,02</u>	<u>3,38</u>
	Car g. 2	4,44	7,21	2,77
	Car g. 3	<u>5,08</u>	7,05	1,97
	Car g. 4	4,64	5,32	0,68
	Car g. 5	4,64	6,24	1,60
	Car g. 6	3,46	0,00	-3,46
Mittelwert		4,48	5,64	1,16

Maximalwert

Betrachtet man die Blattfläche von *Carex grayi*, so ist im April eine ähnliche Blattgröße zu erkennen, welche sich im Juli unter den Arten deutlicher unterschied (siehe Tabelle 64). Der Zuwachs von April bis Juli betrug durchschnittlich 1,16 dm² und war bei allen Arten positiv außer der Art in der untersten Reihe, welche während der Vegetationsperiode starb.

- *Typha minima*

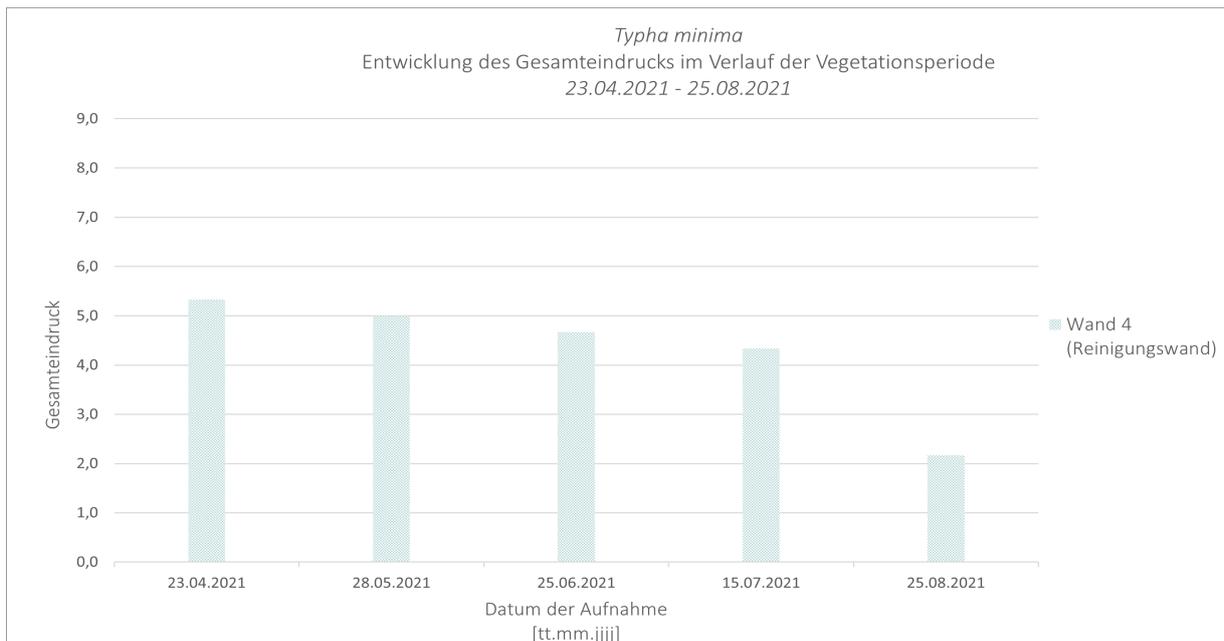


Diagramm 40: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Typha minima* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Typha minima verlor im Verlauf der Vegetationsperiode deutlich an Gesamteindruck. Schon zu Beginn erreichte die Art nur einen Gesamteindruck von 5,3, welcher bis in den August auf 2,2 absank (siehe Diagramm 40).

Sonstige Beobachtungen der Art während den Bonituren, war die rege Bildung von Ausläufern.



Abbildung 47: Entwicklung von *Typha minima* im Mai, Juli und August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Tabelle 65: Erhebungen Gesamteindruck und kubisches Volumen von *Typha minima* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Typha minima</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis trocken zu frisch
W4	Ty 1	4,6	32,0	<u>5,5</u>	-26,5	*	*	-
	Ty 2	<u>5,0</u>	20,3	<u>5,5</u>	<u>-14,8</u>	*	*	-
	Ty 3	4,6	25,9	2,4	-23,5	*	*	-
	Ty 4	4,6	27,7	*	*	*	*	-
	Ty 5	4,2	<u>42,6</u>	*	*	*	*	-
	Ty 6	3,8	32,9	*	*	*	*	-
Mittelwert		4,5	30,2	4,5	-21,6	*	*	-

*nicht erhoben

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Der Gesamteindruck von *Typha minima* erreichte einen durchschnittlichen Wert von 4,5. Somit zählt diese Art für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch) als nicht geeignet.

Da das kubische Volumen im zweiten Versuchsjahr nicht bei allen Arten erhoben wurde, konnte die Differenz zwischen den beiden Wuchsjahren nur bei drei Arten errechnet werden. Anhand der Werte lässt sich feststellen, dass alle erhobenen Arten im zweiten Jahr deutlich an kubischem Volumen verloren haben (siehe Tabelle 65).

Eine Biomasse wurde für diese *Typha minima* nicht erhoben.

- *Mentha aquatica*

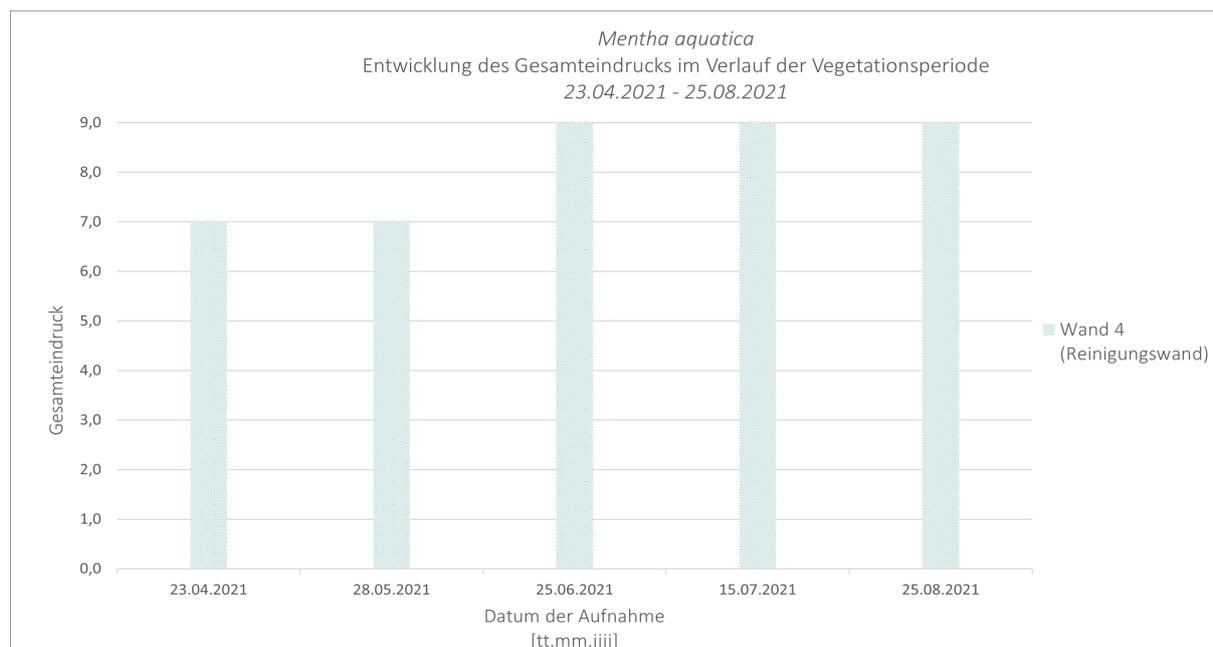


Diagramm 41: Entwicklung des Gesamteindrucks von *Mentha aquatica* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Die Pflanzenart *Mentha aquatica* entwickelte sich in der Reinigungswand sehr positiv. Der Gesamteindruck lag zu Beginn der Vegetationsperiode schon bei durchschnittlich 7,0 und im Sommer bei 9,0 (siehe Diagramm 41).



Abbildung 48: Entwicklung von *Mentha aquatica* im Mai, Juli und August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Während der Bonitur wurde eine hohe Ausläuferbildung bei der Art dokumentiert.

Tabelle 66: Erhebungen Gesamteindruck und kubisches Volumen von *Mentha aquatica* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

<i>Mentha aquatica</i>								
Wand	Art	Gesamteindruck (ø)	Volumen Juli 20 (dm ³)	Volumen Juli 21 (dm ³)	Differenz	Biomasse frisch (g)	Biomasse trocken (g)	Verhältnis
W4	Men 1	8,2	57,2	*	-	147	33,47	1:4,3
	Men 2	8,2	45,9	*	-	147	33,47	1:4,3
	Men 3	8,2	63,5	*	-	147	33,47	1:4,3
	Men 4	8,2	61,3	*	-	147	33,47	1:4,3
Mittelwert		8,2	57,0	-	-	147,00	33,47	

* nicht erhoben

geeignet
 bedingt geeignet
 nicht geeignet
 Maximalwert

Der Gesamteindruck von *Mentha aquatica* entwickelte sich laut Tabelle 66 bei allen Arten ident. Mit einem Mittelwert von 8,2 eignet sich diese Art für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch).

Das kubische Volumen wurde im Juli 21 nicht erhoben. So ist nur das Volumen aus dem Vorjahr zu sehen.

Die Biomasse der vier Pflanzexemplare erreichte durchschnittlich ein Gewicht von 147 g in frischem Zustand und etwa ein Viertel davon im trockenen Zustand (33,47 g). Bei der Erhebung wurde nur die gesamte Biomasse erhoben und nicht die der Individuen, was die exakt gleiche Biomasse bei allen Arten erklärt.

5.1.5.1 Schlussfolgerung

Die Erhebungen der Reinigungswand zeigen bei den Pflanzenarten unterschiedliche Reaktionen auf die hohe Wasserzufuhr von Grauwasser in dieser Wand. Einige Pflanzen kamen sehr gut mit diesem Bewässerungsszenario zurecht, während andere Arten eher darunter litten. Insgesamt kristallisierten sich 6 von 14 Arten heraus, die mit diesen Standortbedingungen gut umgehen konnten. Als besonders geeignet eingestuft wurden die Arten *Eupatorium cannabinum*, *Lythrum salicaria*, *Mentha aquatica*, *Sedum telephium* 'Herbstfreude' und *Thelypteris palustris*. Bei diesen Arten konnte eine sehr hohe Biomasse erhoben werden. Andere Arten wie zum Beispiel *Caltha palustris*, *Carex grayi*, *Typha minima* und *Valeriana officinalis* erreichten im Mittelwert einen geringeren Gesamteindruck von unter 5,0 und sind somit als nicht geeignet für dieses Szenario zu betrachten.

Verglichen zum ersten Versuchsjahr gab es einen Zuwachs bei fünf Arten in der zweiten Vegetationsperiode, während die anderen Arten weniger kubisches Volumen aufwiesen als im Vorjahr. Bei vier Pflanzindividuen konnte ein Ausfall verzeichnet werden.

5.2 Pflanzeignung und Pflanzempfehlung für unterschiedliche Bewässerungsszenarien

Die gewonnenen Ergebnisse des Gesamteindrucks werden in folgenden Tabellen veranschaulicht. Um eine Eignung der Pflanzenarten für die jeweiligen Wände festzustellen, werden sie unterteilt in gut geeignet (MW Gesamteindruck > 7), bedingt geeignet (MW Gesamteindruck 6-7) und nicht geeignet (MW Gesamteindruck < 6) wie auch in Kapitel 4.5.1 „Analyse des erhobenen Gesamteindrucks“ beschrieben wurde.

5.2.1 Trockenwand - Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch)

Folgende Tabelle (67) beschreibt, welche Pflanzenarten sich für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit einer geringen Bewässerung (Bewässerungsszenario A) eignen.

Tabelle 67: Pflanzeignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Pflanzenart	Eignung für Trockenwand		
	gut geeignet	bedingt geeignet	nicht geeignet
1 <i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'		MW = 6,0	
2 <i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne'		MW = 6,9	
3 <i>Iris pseudacorus</i>			MW = 4,7
4 <i>Iris barbata-nana</i> 'Path of Gold'			MW = 5,8
5 <i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'		MW = 6,4	
6 <i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	MW = 7,6		
7 <i>Bergenia cordifolia</i>			MW = 5,7
8 <i>Ceratostigma plumbaginoides</i>			MW = 5,7
9 <i>Helleborus foetidus</i>			MW = 1,7
10 <i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'			MW = 4,8
11 <i>Achillea millefolium</i> 'Summer Pastels'			MW = 4,0
12 <i>Echium amoenum</i> 'Red Feathers'			MW = 4,2
13 <i>Asphodeline lutea</i>			MW = 4,7
14 <i>Centranthus ruber</i> 'Coccineus'			MW = 5,5
15 <i>Festuca cinerea</i> 'Silberreihel'			MW = 3,8
16 <i>Thymus vulgaris</i>			MW = 5,2
17 <i>Salvia officinalis</i>			MW = 5,7
18 <i>Satureja montana</i> 'Citriodora'		MW = 6,9	

Insgesamt können fünf von 18 Arten der Trockenwand empfohlen werden. Dazu zählen *Aster ageratoides* 'Asran', *Sedum telephium* 'Herbstfreude', *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' und *Satureja montana* 'Citriodora'.

Für 13 Arten kann anhand des Bewertungsschemas keine Pflanzempfehlung abgegeben werden. Dazu zählen *Iris pseudacorus*, *Iris barbata-nana* 'Path of Gold', *Bergenia cordifolia*, *Ceratostigma plumbaginoides*, *Helleborus foetidus*, *Euphorbia polychroma* 'Bonfire', *Achillea millefolium* 'Summer Pastels', *Echium amoenum* 'Red Feathers', *Asphodeline lutea*, *Centranthus ruber* 'Coccineus', *Festuca cinerea* 'Silberreihel', *Thymus vulgaris* und *Salvia officinalis*.

5.2.2 Schmuckwand - Bewässerungsszenario B und C (mittlerer Wasserverbrauch)

Tabelle 68 veranschaulicht welche Pflanzenarten sich anhand des bewerteten Gesamteindrucks für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B und C (mittlerer Wasserverbrauch) eignen.

Tabelle 68: Pflanzeignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario 2 und 3 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Pflanzenart	Eignung für Schmuckwand		
	gut geeignet	bedingt geeignet	nicht geeignet
1 <i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'		MW = 6,0	
2 <i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne'	MW = 7,3		
3 <i>Iris pseudacorus</i>		MW = 6,6	
4 <i>Iris barbata-nana</i> 'Path of Gold'	MW = 7,0		
5 <i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	MW = 7,9		
6 <i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	MW = 8,2		
7 <i>Bergenia cordifolia</i>		MW = 6,7	
8 <i>Helleborus orientalis</i> 'Red Hybrids'			MW = 4,0
9 <i>Carex buchananii</i>			MW = 4,0
10 <i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	MW = 7,9		
11 <i>Hemerocallis middendorffii</i>	MW = 7,1		
12 <i>Skimmia japonica</i>			MW = 4,0
13 <i>Dryopteris filix-mas</i>			MW = 4,0
14 <i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'		MW = 6,4	
15 <i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'		MW = 6,6	
16 <i>Allium schoenoprasum</i>		MW = 6,7	
17 <i>Salvia officinalis</i>		MW = 6,9	
18 <i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'		MW = 6,1	

Anhand vorangegangener Eignungstabelle der Schmuckwände kann für die troggebundene Fassadenbegrünungen mit Bewässerungsszenario B und C eine Pflanzempfehlung für 14 von 18 Pflanzenarten abgegeben werden. Darunter befinden sich *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Iris barbata-nana* 'Path of Gold', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie', *Aster ageratoides* 'Asran', *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm', *Hemerocallis middendorffii*, *Sedum telephium* 'Herbstfreude', *Salvia officinalis*, *Iris pseudacorus*, *Bergenia cordifolia*, *Calamagrostis x acutiflora* 'Karl Foerster', *Fragaria x ananassa* 'Delikatess', *Allium schoenoprasum* und *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright'.

Als nicht geeignet gelten vier Arten. Darunter *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids', *Carex buchananii*, *Skimmia japonica* und *Dryopteris filix-mas*.

5.2.3 Reinigungswand - Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch)

Für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit hohem Wasserverbrauch lässt sich folgende Eignungstabelle erstellen (siehe Tabelle 69).

Tabelle 69: Pflanzeignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Pflanzenart	Eignung für Reinigungswand		
	gut geeignet	geeignet	nicht geeignet
1 <i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	MW = 7,7		
2 <i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne'			MW = 5,0
3 <i>Iris pseudacorus</i>			MW = 5,2
4 <i>Ophiopogon planiscapus</i> 'Black Dragon'			MW = 4,0
5 <i>Thelypteris palustris</i>	MW = 8,5		
6 <i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'			MW = 5,7
7 <i>Lythrum salicaria</i>	MW = 8,4		
8 <i>Valeriana officinalis</i>			MW = 4,7
9 <i>Eriophorum vaginatum</i>		MW = 6,0	
10 <i>Carex grayi</i>			MW = 5,8
11 <i>Typha minima</i>			MW = 4,3
12 <i>Caltha palustris</i>			MW = 5,4
13 <i>Eupatorium cannabinum</i>	MW = 8,2		
14 <i>Mentha aquatica</i>	MW = 8,2		

Für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D können sechs von 14 Pflanzenarten empfohlen werden. Dazu zählen *Sedum telephium* 'Herbstfreude', *Thelypteris palustris*, *Lythrum salicaria*, *Eupatorium cannabinum* und *Mentha aquatica* und *Eriophorum vaginatum*.

Anhand der Bewertung des Gesamteindrucks kann für acht Arten keine Pflanzempfehlung abgegeben werden. Darunter befinden sich *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Iris pseudacorus*, *Ophiopogon planiscapus* 'Black Dragon', *Liriope muscari* 'Ingwersen', *Valeriana officinalis*, *Carex grayi*, *Typha minima* und *Caltha palustris*.

5.3 Auswertungen der Erhebungen des Ernteertrags ausgewählter Nutzpflanzen

Die vierte Forschungsfrage beschäftigt sich mit der Kultivierung von Nutzpflanzen für ein troggebundenes Fassadenbegrünungssystem mit verschiedenen Bewässerungsszenarien, sowie mit den Kultivierungsmöglichkeiten von Nutzpflanzen bei einer Grauwasserbewässerung. Untersucht wurden hierfür Kräuter wie *Allium schoenoprasum*, *Satureja montana* 'Citriodora', *Salvia officinalis*, *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' und *Mentha aquatica*. Weiters wurde die Nutzpflanze *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' untersucht sowie *Rubus fruticosus*, *Ribes nigrum*, *Ribes rubrum*, *Vitis vinifera* und *Pyrus*, die aus dem Vorversuch übernommen wurden. Die Fruchterträge wurden innerhalb der Vegetationsperiode ein bis zwei Mal monatlich geerntet. Zur Erhebung der Kräuter wurde am Ende der Vegetationsperiode die Frische- und Trockenmasse gewogen.

- *Satureja montana* 'Citriodora'

Die Art *Satureja montana* 'Citriodora' wurde als Nutzpflanze in der Trockenwand eingesetzt, da sie auf trockenen Standorten gedeiht. Vier Pflanzenindividuen konnten eine Frischemasse von in Summe 81 g und eine Trockenmasse von 40,27 g erzeugen (siehe Tabelle 70).

Tabelle 70: Ernteertrag von *Satureja montana* 'Citriodora' (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

<i>Satureja montana</i> 'Citriodora'		
Trockenwand	Frischemasse (g)	Trockenmasse (g)
Wand 1 (BW)	81	40,27
Gesamt (g)	81	40,27



Abbildung 49: *Satureja montana* (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

- *Thymus vulgaris*

Die Nutzpflanze *Thymus vulgaris* kam in der Trockenwand zum Einsatz. Bei dieser Pflanzenart konnte ein Ertrag von 27 g an Frischemasse und 13,11 g an Trockenmasse erhoben werden (siehe Tabelle 71).

Tabelle 71: Ernteertrag von *Thymus vulgaris* (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

<i>Thymus vulgaris</i>		
Trockenwand	Frischemasse (g)	Trockenmasse (g)
Wand 1 (BW)	27	13,11
Gesamt (g)	27	13,11



Abbildung 50: *Thymus vulgaris* (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

- *Allium schoenoprasum*

Allium schoenoprasum wurde in den Schmuckwänden mit Bewässerungsszenario B und C, das heißt einem mittleren Wasserverbrauch als Nutzpflanze eingesetzt, da diese Art einen mittelfeuchten Standort bevorzugt. Die Frischemasse für diese Art betrug in der Schmuckwand 2, welche mit Brunnenwasser bewässert für 4 Individuen 76 g und in der Schmuckwand 3, die mit Grauwasser

bewässert wurde für 4 Individuen 60 g. Auch die Trockenmasse war mit 26,78 g in Wand 2 etwas höher als mit 18,91 g in Wand 3 (siehe Tabelle 72).

Tabelle 72: Ernteertrag von *Allium schoenoprasum* (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

<i>Allium schoenoprasum</i>		
Schmuckwände	Frischmasse (g)	Trockenmasse (g)
Wand 2 (BW)	76	26,78
Wand 3 (GW)	60	18,91
Gesamt (g)	136	45,69



Abbildung 51: *Allium schoenoprasum* (Quelle: eigene Erstellung 2021)

- *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright'

Die Nutzpflanze *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' wurde in den Schmuckwänden mit einem mittleren Bewässerungsszenario von Brunnenwasser und Grauwasser eingesetzt und erzeugte ähnlich viel Frischmasse und Trockenmasse in beiden Wänden (siehe Tabelle 73).

Tabelle 73: Ernteertrag von *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'		
Schmuckwände	Frischmasse (g)	Trockenmasse (g)
Wand 2 (BW)	40	17,34
Wand 3 (GW)	53	18,03
Gesamt (g)	93	35,37



Abbildung 52: *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright'

- *Salvia officinalis*

Salvia officinalis wurde sowohl in der Trockenwand als auch in den Schmuckwänden als Nutzpflanze eingesetzt, um zu erheben, wie sich die Art in den unterschiedlich bewässerten Wänden inklusive der Grauwasserbewässerung entwickelt. Die Erhebungen in Tabelle 74 zeigen dass diese Art in den Schmuckwänden wesentlich ertragreicher war, als in der Trockenwand. Der Ertrag in Wand 3 kam lediglich über drei Individuen zustande, da eine der vier Individuen sehr wenig Ertrag produzierte.

Tabelle 74: Ernteertrag von *Salvia officinalis* (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

<i>Salvia officinalis</i>		
Versuchswände	Frischmasse (g)	Trockenmasse (g)
Wand 1 (BW)	40	13,61
Wand 2 (BW)	114	45,21
Wand 3 (GW)	140	56,21
Gesamt (g)	294	45,69



Abbildung 53: *Salvia officinalis* (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

- Mentha aquatica

Die sechs Individuen der Pflanzenart *Mentha aquatica* konnten in der Reinigungswand eine Frischemasse von 588 g erzeugen, was eine Trockenmasse von 133,91 g ergab (siehe Tabelle 75).

Tabelle 75: Ernteertrag von *Mentha aquatica* (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

<i>Mentha aquatica</i>		
Reinigungswand	Frischemasse (g)	Trockenmasse (g)
Wand 4 (GW)	588	133,91
Gesamt (g)	588	133,91



Abbildung 54: *Mentha aquatica* (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

- *Fragaria x ananassa* 'Delikatess'

Von den Nutzpflanzen mit Fruchtertrag konnte für 8 Individuen der Art *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' ein Ertrag von insgesamt 220 g in den beiden Schmuckwänden über eine Vegetationsperiode hinweg erhoben werden (siehe Tabelle 76). Dazu ist anzumerken, dass in unregelmäßigen Abständen geerntet wurde.

Tabelle 76: Ernteertrag von *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' (Quelle: eigene Erstellung 2022)

<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'		
Schmuckwände	Wand 2 (BW)	Wand 3 (GW)
14.06.2021		19 g
16.06.2021	71 g	50 g
25.06.2021	12 g	68 g
Gesamt (g)	83 g	137 g



Abbildung 55: *Fragaria x ananassa* (Quelle: Eigene Erstellung 2021!)

Tabelle 77: Ernteertrag der Gehölze (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

Ernteertrag der Gehölze		
Versuchswand	Gehölzart	Ertrag
Trockenwand	<i>Amelanchier laevis</i>	18 g
	<i>Ribes rubrum</i>	-
	<i>Rubus fruticosus</i>	-
	<i>Vitis vinifera</i>	-
Schmuckwände	<i>Ribes rubrum</i> (W3)	52 g
	<i>Ribes nigrum</i>	-
	<i>Malus</i> (W2)	120 g
	<i>Pyrus</i>	-



Abbildung 56: Fruchtertrag *Malus* (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Laut Tabelle 77 bildeten die Nutzpflanzen *Rubus fruticosus*, *Ribes nigrum*, *Vitis vinifera* und *Pyrus* in ihrem dritten Jahr keine Früchte. Während bei *Amelanchier laevis* in der Trockenwand und *Ribes rubrum* in der Schmuckwand (2) Früchte zu erheben waren, jedoch nur in geringen Mengen. Bei der Nutzpflanze *Malus* konnte das erste Mal eine Frucht erhoben werden.

5.3.1 Schlussfolgerung

Für trockene Standortbedingungen wie in der Trockenwand mit einem Bewässerungsszenario A und somit einer geringen Wasserzufuhr eignete sich die Art *Satureja montana* 'Citriodora' bedingt, während *Salvia officinalis* und *Thymus vulgaris* für dieses Szenario als nicht geeignet erwiesen. Für einen frischen Standort mit Bewässerungsszenario B und C (mittlerer Wasserverbrauch) eigneten sich die Arten *Fragaria x ananassa* und *Salvia officinalis* als Nutzpflanzen. Bedingt geeignet für dieses Szenario sind die Nutzpflanzen *Ribes rubrum* und *Allium schoenoprasum*. *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' konnte bei diesen Bedingungen keine guten Ergebnisse erzielen. In der Reinigungswand mit Bewässerungsszenario D, also einem hohen Wasserverbrauch an Grauwasser konnte die Nutzpflanze *Mentha aquatica* gute Ergebnisse erzielen.

6 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die gewonnenen Ergebnisse des Feldversuchs interpretiert und diskutiert.

6.1 Eignung der untersuchten Pflanzenarten für ein troggebundenes Begrünungssystem

Über den erhobenen Gesamteindruck und das kubische Volumen mittels einer monatlichen Bonitur konnten einige Pflanzenarten für ein troggebundenes System, welches unterschiedlichen Bewässerungsszenarien ausgesetzt war, empfohlen werden (siehe Kapitel 5.2). Um einen Vergleich zu dem erhobenen kubischen Volumen aus dem ersten Versuchsjahr ziehen zu können, wurden die Ergebnisse aus der Masterarbeit von ANTONI (2021) herangezogen, welche das erste Versuchsjahr behandelte.

Betrachtet man die Auswirkungen der Bewässerungsszenarien auf die Pflanzenarten im Gesamten, so zeichnen sich dennoch Unterschiede in den verschiedenen Versuchswänden ab (siehe Diagramm 42).

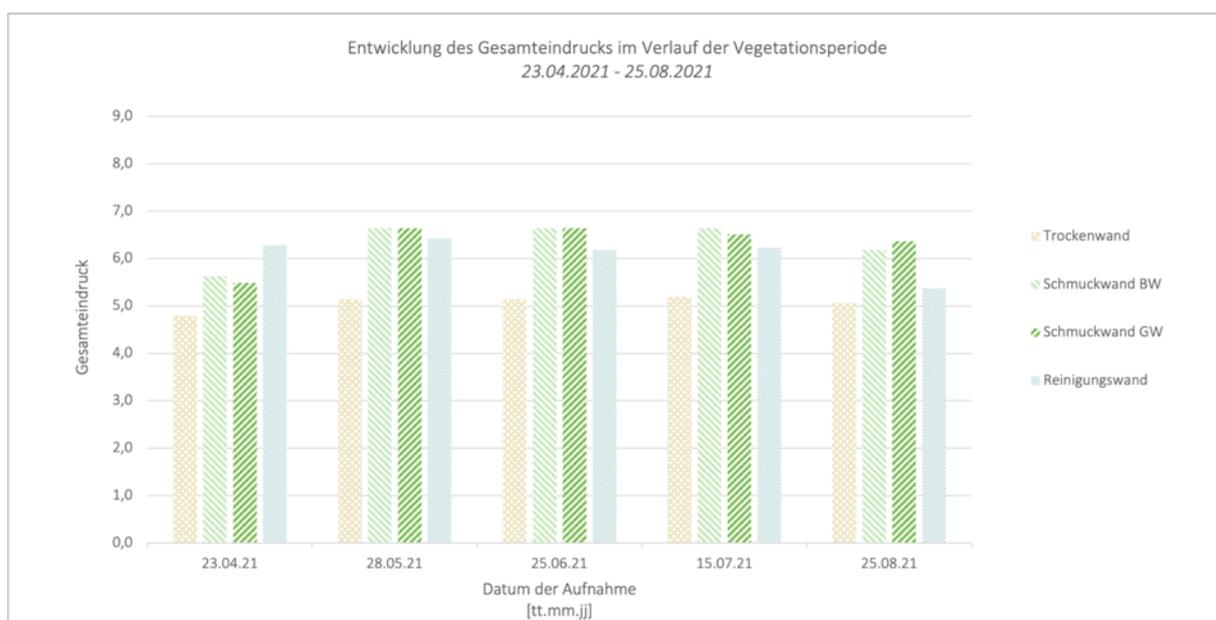


Diagramm 42: Entwicklung des Gesamteindrucks aller Arten (Quelle: Eigene Erstellung 2021)

Wie Diagramm 42 veranschaulicht, zeigen die Erhebungen des Gesamteindrucks der Pflanzenarten, dass die Pflanzen in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mehr Wasser benötigten als in der Trockenwand zur Verfügung stand und dennoch nicht mit zu viel (Grau)Wasser zurechtkamen, wie es bei der Reinigungswand gegen Ende der Vegetationsperiode der Fall war. Die Pflanzen reagieren also auf die Wasserverfügbarkeit. Je mehr Wasser zur Verfügung stand, desto höher fiel die Bewertung des Gesamteindrucks aus. Kam es wiederum zu Staunässe, zeigte sich auch dies in dem Gesamteindruck der Arten, weshalb die Ergebnisse in der Reinigungswand schwankten. Andere Untersuchungen wie die von BUCKLEY (2019) bestätigen die Sichtbarkeit der Veränderungen der Wasserzufuhr in den Blättern der Pflanzen.

Eine regelmäßige Bewässerung von mittlerer Wassermenge zeigt also die besten Ergebnisse in der Pflanzenentwicklung. Verdeutlicht wird dieses Ergebnis durch die Eignungsdarstellungen aus Kapitel 6.2. Demnach konnten in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3) die meisten Arten verzeichnet werden, die mit einer mittleren Wasserzufuhr (Bewässerungsszenario B und C) ein gutes Ergebnis in ihrem Gesamteindruck erzielten. So eigneten sich 14 von 18 Arten für den frischen Standort. Am besten schnitt die Art *Aster ageratoides* 'Asran' mit einem Gesamteindruck von 7,6 ab. Aber auch Arten wie *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie', *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Hemerocallis middendorffii* und *Iris barbata-nana* 'Path of Gold' erzielten mit einem Gesamteindruck von über 7,0 gute Ergebnisse und eignen sich demnach für eine troggebundene Fassadenbegrünung, die mit einem mittleren Wasserverbrauch bewässert wird. Für die meisten Arten fehlen Vergleichswerte in der Literatur, allerdings haben sich bisher Arten wie *Heuchera x cultorum* und *Geranium wallichianum* als typische Fassadenbegrünungspflanzen bewährt (PFOSER, 2016; MA 22, 2019) und konnten auch in diesem Feldversuch selbst bei einer Bewässerung mit Grauwasser punkten. Laut KÖHLER et al. (2012) haben sich außerdem die Arten *Bergenia cordifolia* und *Allium schoenoprasum* besonders für fassadengebundene Begrünungssysteme bewährt. Im Feldversuch schnitten diese Arten gut bis mäßig gut ab. So erreichte *Allium schoenoprasum* einen Gesamteindruck von 7,0 in Wand 2 und 6,4 in Wand 3 und wurde somit als geeignet und mäßig geeignet eingestuft. *Bergenia cordifolia* zeigte eine mäßige Eignung mit einem Gesamteindruck von 6,7 in beiden Schmuckwänden. Die Ergebnisse verdeutlichen, wie unterschiedlich sich die Pflanzenarten entwickeln können aufgrund der verschiedenen Faktoren, die auf eine Fassade einwirken (FRANCO et al., 2012; MA 22, 2019). Ein weiterer Einflussfaktor stellt die angewendete Bewässerungsform des horizontalen Durchflusssystems dar, welche zu einer ungleichen Verteilung des Wassers führen kann und somit in den unteren Wannen mit weniger Wasser zu rechnen ist als in den oberen Wannen. Außerdem kann sich das Wurzelwachstum der Pflanzenarten auf den Durchfluss auswirken und diesen mindern (STAV, 2016). Empfohlen wird daher eine automatische Bewässerungsanlage, die über Sensoren im Substrat und einem Datenlogger das System steuert und somit bedarfsorientiert bewässert werden kann (MA 22, 2019; PFOSER, 2016).

Der Vergleich zwischen der Bewässerung mit Grauwasser und Brunnenwasser in den Schmuckwänden zeigte keinen wesentlichen Unterschied im Gesamteindruck der Arten. In der Schmuckwand (2) mit Brunnenwasserbewässerung konnten 14 von 18 Arten mit einem Gesamteindruck von über 6,0 bewertet werden und für die Schmuckwand (3) mit Grauwasserbewässerung eigneten sich 13 von 18 Arten, wobei der Unterschied der Gesamteindrucksnote unter den Arten als sehr gering zu bewerten ist. Generell lässt sich zu der Eignungseinteilung sagen, dass der Mittelwert von den vier oder sechs Individuen entscheidet, ob eine Pflanze für dieses System geeignet ist. Dabei kommt es teilweise zu Verzerrungen, indem beispielsweise eine in der untersten Wanne sitzende Art aufgrund einer geringeren Wasserzufuhr schlechter abschneidet und somit die sonst gut bewerteten Pflanzenarten im Mittelwert negativer ausfallen. Dies berücksichtigt gibt es in den Schmuckwänden keine sichtbaren Unterschiede bei den Pflanzenarten, die mit Brunnenwasser bewässert wurden, zu denen die mit Grauwasser bewässert wurden.

Etwas durchwachsenere Ergebnisse sind in der Trockenwand (Wand 1) und der Reinigungswand (Wand 4) zu vermerken. Die extremeren Bedingungen, wie eine sehr geringe Bewässerung in Wand 1 und eine sehr hohe Bewässerung mit Grauwasser in Wand 4, machten sich auch in dem Gesamteindruck der Pflanzen bemerkbar.

In der Trockenwand (1) wurde selbst bei den fünf Arten, die als gut oder mäßig geeignet eingestuft wurden, nur ein durchschnittlicher Gesamteindruck zwischen 6,0 und maximal 7,6 erreicht. Während die fünf „gut geeigneten“ Pflanzenarten der Reinigungswand (4) sich in einem Bereich zwischen 7,7 und 8,5 in ihrem Gesamteindruck bewegten. Dies bedeutet, dass bei den Arten, die sich für die Reinigungswand (4) eignen, sogar von einer sehr guten Eignung gesprochen werden kann. Dazu zählen die Arten *Eupatorium cannabinum*, *Lythrum salicaria*, *Mentha aquatica*, *Sedum telephium* 'Herbstfreude' und *Thelypteris palustris*. Die beste Bewertung in Wand 4 erhielt die Art *Thelypteris palustris* mit einem Gesamteindruck von 8,5. Eine Eignung dieser Art für den Einsatz bei verunreinigtem Wasser zeigte sich auch in der Untersuchung von STROPPA et al. (2020). Dort erwies sich *Thelypteris palustris* als geeignete Art für die Reduktion von Schwermetallen aus der Massentierhaltung, ohne dass es zu morphologischen Veränderungen an der Pflanze kam. Allerdings ist nicht bekannt, wie sich eine längere Expositionszeit auf die Bepflanzung auswirkt.

Demgegenüber konnte für acht Arten keine Pflanzempfehlung in der Reinigungswand mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch mit Grauwasser) gegeben werden. Auch wenn bei der Pflanzauswahl für die Reinigungswand darauf geachtet wurde, dass die Arten mit einer hohen Wasserzufuhr zurechtkommen (Helophyten) und auch schon in anderen Versuchen zur Grauwasserreinigung eingesetzt wurden (ANTONI, 2021). Dennoch konnte beispielsweise für die Art *Juncus effusus* schon im ersten Versuchsjahr keine Pflanzempfehlung abgegeben werden, da die Art gegen Ende der Vegetationsperiode ausfiel. Ebenso war die Entwicklung von *Thypha minima* gerade im zweiten Versuchsjahr nicht überzeugend. Verschiedene *Typha* Arten und andere Arten wie *Caltha palustris* fanden schon in Versuchen zur Grauwasserreinigung in Pflanzenkläranlagen Anwendung (AVERY et al., 2007; PRADHAN et al., 2019; ZRAUNIG et al., 2019), wobei sie eingesetzt wurden, um deren Reinigungsleistung von Grauwasser zu untersuchen und dabei nicht auf deren Entwicklung eingegangen wurde. Dennoch zeigte die Art *Typha latifolia* aus der gleichen Pflanzenfamilie in einem Versuch mit Abwässern aus der Tierzucht eine hohe Toleranz gegenüber dieser Bewässerungsart (STROPPA et al., 2020).

Ebenso wurde die Auswirkung der Lage der Pflanze in der Versuchswand untersucht. Auch wenn bei ein paar wenigen Pflanzen der Gesamteindruck in den oberen Reihen etwas höher bewertet wurde als in den unteren Reihen des Begrünungssystem, konnte insgesamt keine Korrelation der Entwicklung der Pflanze mit der Position an der Fassade festgestellt werden. Dennoch könnte der bessere Gesamteindruck aus einer höheren Wasserzufuhr in den oberen Reihen resultieren, da die obersten Reihen zuerst bewässert wurden und das Wasser besonders an heißen Tagen durch eine hohe Verdunstung nicht bis in die untersten Reihen durchfloss. Auch eine höhere Sonneneinstrahlung könnte in den oberen Reihen ein Einflussfaktor sein.

Betrachtet man das kubische Volumen der Pflanzen über die Dauer zweier Vegetationsperioden, so war in der Trockenwand im Gegenteil zur ersten Vegetationsperiode, bei 16 von 18 Arten durchschnittlich kein oder nur ein negativer Zuwachs in der zweiten Vegetationsperiode zu messen. Nur *Bergenia cordifolia* und *Ceratostigma plumbaginoides* gewannen an kubischen Volumen dazu. In der Schmuckwand (Wand 2), die mit Brunnenwasser bewässert wurde, erreichten 7 von 18 Arten einen positiven Zuwachs, während die anderen 11 Arten im Vorjahr mehr kubisches Volumen aufweisen konnten (ANTONI, 2021). Über die Hälfte der Pflanzenarten in der Schmuckwand (Wand 3) mit einer Grauwasserbewässerung schnitten hingegen im zweiten Wuchsjahr besser ab. So wurde bei 10 von 18 Arten ein positiver Zuwachs gemessen. Dies zeigt, dass sich die Bewässerung mit

Grauwasser (mittlerer Wasserverbrauch) auch nach zwei Jahren nicht negativ auf das Wachstum der Pflanzen auswirkte. Hingegen kamen bei der Reinigungswand weniger Arten mit der Grauwasser Bewässerung zurecht. Von den elf zu vergleichenden Arten zwischen Vegetationsperiode 1 und 2, kam es bei fünf Arten zu einem positiven Zuwachs im zweiten Jahr und sechs Arten verloren an Volumen. Die Auswirkungen des Pflanzenalters auf das Wachstum, gemessen in der Pflanzenhöhe und dem Pflanzendurchmesser sowie dem Trockengewicht, sind ein Indikator für den Zustand der Pflanze. Bestenfalls sollte eine zwei Jahre alte Pflanze mehr Wachstum und ein höheres Trockengewicht vorweisen können, als eine Pflanze im ersten Wuchsjahr (NADJAFI et al., 2014). Grund dafür ist die vollständige Etablierung der Pflanzen, die Entwicklung des Wurzelsystems und die damit verbundene bessere Wasser- und Nährstoffaufnahmefähigkeit älterer Pflanzen (OMIDBAIGI, 1998). Aber auch die Standorteigenschaften in der Fassadenbegrünung können sich gerade bei der Zufuhr von Grauwasser über die Zeit verändern. Durch eine erhöhte Biofilmentwicklung kann es zu Verstopfungen in den Trögen kommen und in weiterer Folge zu Staunässe. Ebenso ist nach einer gewissen Zeit eine höhere Durchwurzelung vorhanden und verändert somit die Durchlässigkeit des Substrats (PUCHER et al., 2019). Durch die hohe Wuchsfähigkeit mancher Pflanzenarten in Wand 4, waren hier die Pflanzwannen stärker durchwurzelt als in Wand 3 und führten somit zu Verstopfungen des Wasserflusses. Bei manchen Arten ist ab Juni, als die erste Verstopfung auftrat, eine Verschlechterung im Gesamteindruck zu erkennen. Andererseits gab es andere Arten in der Reinigungswand, die keine Verschlechterung, sondern sogar eine Verbesserung über die Monate hinweg zeigten. Demzufolge ist von keiner allgemeinen Beeinflussung der Verstopfung auf die Pflanzenentwicklung auszugehen.

Auch wenn bei vielen Pflanzenarten eine gute Entwicklung im zweiten Versuchsjahr zu beobachten war, ist insgesamt für die zweite Vegetationsperiode eine Abnahme des Gesamteindrucks und des kubischen Volumens zu dokumentieren. Begründen lässt sich dies durch den guten Zustand, den die Pflanzen hatten, als sie 2020 gepflanzt wurden. Sie kamen direkt aus dem Fachhandel und wurden zuvor gedüngt. In der zweiten Vegetationsperiode wurde den Pflanzen kein Dünger zugegeben (PUCHER et al., o.J.). Da sich wie beschrieben die Standortbedingungen über die Jahre verändern können, ist eine Versuchsdauer von längerer Zeit anzustreben, um eine aussagekräftige Pflanzempfehlung abgeben zu können.

Resümee

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Pflanzenarten in einem trogebundenen Fassadenbegrünungssystem mit einem höheren Bewässerungsszenario (B,C,D) besser zurechtkommen als mit einem sehr niedrigen Bewässerungsszenario (A) wie es in Wand 1 angewendet wurde. Dies zeigt der direkte Vergleich der Arten, die sowohl in Wand 1 als auch in Wand 2 und Wand 3 eingesetzt wurden (Diagramm 43).

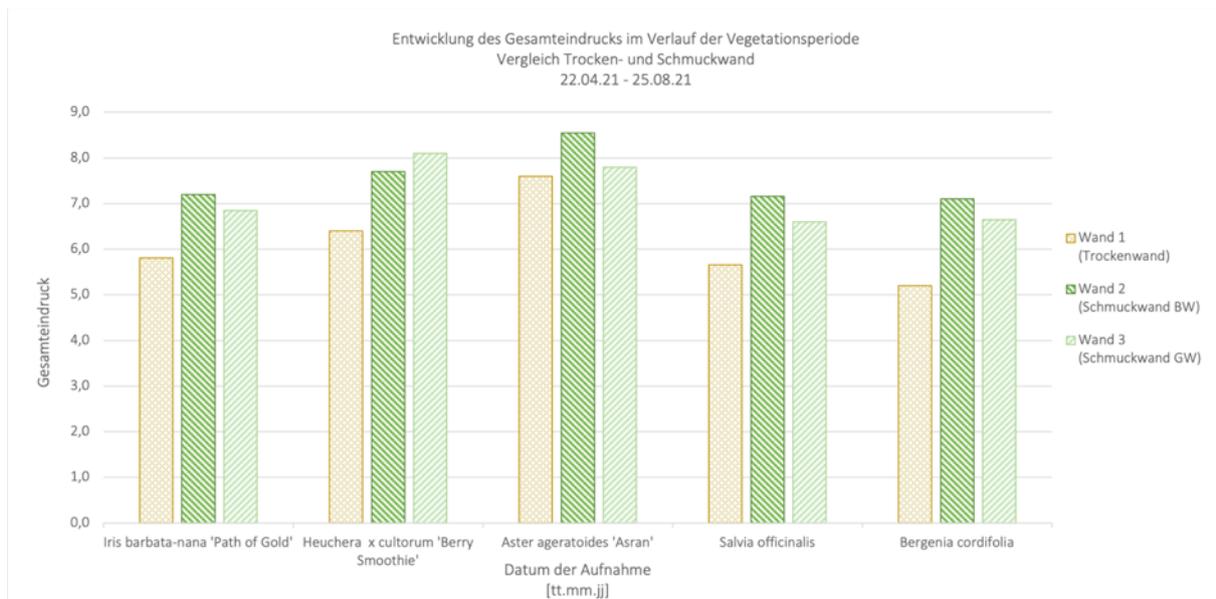


Diagramm 43: Entwicklung des Gesamteindrucks Vergleich Trocken- und Schmuckwand (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

Anhand des Gesamteindrucks können für eine Trockenwand nur fünf Arten bedingt empfohlen werden. Dazu zählen *Aster ageratoides* 'Asran', *Sedum telephium* 'Herbstfreude', *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' und *Satureja montana* 'Citriodora'. Für die Versuchswand mit einer geringen Bewässerung ist anzumerken, dass die Auswahl an trockenheitsresistenten Arten begrenzt ist. Es besteht für Pflanzenarten in einer troggebundene Fassadenbegrünung mit einem niedrigen Bewässerungsszenario (A) noch erheblicher Forschungsbedarf, welche trockenresistente Pflanzenarten sich für diese Extremsituation an der Fassade eignen. Gerade in Anbetracht des Klimawandels und der immer länger werdenden Trockenheitsperioden, ist die Forschung für hitze- und trockenheitsresistente Pflanzen jedoch unabdingbar (BRUNE et al., 2017).

Für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit einem mittleren Bewässerungsszenario (B, C) wie die Schmuckwände in dem Feldversuch, kann eine Pflanzempfehlung für die meisten Arten abgegeben werden. Auch ein Zuwachs im kubischen Volumen war bei vielen Arten in Wand 3 im zweiten Versuchs Jahr zu verzeichnen (ANTONI, 2021). Dies könnte darauf hindeuten, dass sich die Arten in der Wand an eine Bewässerung mit Grauwasser angepasst haben und somit im zweiten Jahr besser abschnitten als im ersten Jahr. Die troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario B (Brunnenwasser) und C (Grauwasser) schnitt in der Vegetationsperiode 2021 insgesamt am besten ab. Nicht nur die meisten Pflanzenarten eigneten sich für dieses System, sondern auch die positive Entwicklung über die Versuchsdauer von zwei Jahren war in den Schmuckwänden am höchsten. Um diese Resultate mit bisheriger Literatur unterstreichen zu können, muss mehr Forschung im Bereich der Pflanzenwahl für troggebundene Fassadenbegrünungssystemen betrieben werden. Auch eine längere Versuchsdauer, gerade hinsichtlich einer Bewässerung mit Grauwasser ist zu empfehlen.

Für die Reinigungswand konnten fünf gut geeignete Pflanzen und eine bedingt geeignete Pflanzenart gefunden werden, die mit einem hohen Bewässerungsszenario (D) und vor allem mit der Bewässerung mit Grauwasser gut zurechtkamen. Zu nennen sind *Sedum telephium* 'Herbstfreude', *Thelypteris palustris*, *Lythrum salicaria*, *Eupatorium cannabinum* und *Mentha aquatica* und *Eriophorum vaginatum*. Diese Arten könnten für den Einsatz in vertikalen Kläranlagen interessant sein und in weiteren Forschungsarbeiten im Bereich der Grauwasserforschung zum Einsatz kommen, um die Wiederverwendung von Grauwasser als NBS in Städten voranzutreiben.

Interpretation der erhobenen Biomasse

Um eine genauere Aussage über die Pflanzenentwicklung der eingesetzten Pflanzen in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien treffen zu können, wurde die Biomasse aller Arten im frischen- und trockenen Zustand erhoben. Die Ergebnisse wurden in folgender Tabelle (78) zusammengefasst.

Tabelle 78: Erhebungen der Biomasse in Wand 1-4 (Quelle: eigene Erstellung)

Pflanzenart	Biomasse (g)			
	Wand 1	Wand 2	Wand 3	Wand 4
<i>Achillea millefolium</i> 'Summer Pastels'	13,96			
<i>Allium schoenoprasum</i>		26,78	18,91	
<i>Aspodeline lutea</i>	3,73			
<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<u>85,65</u>	95,97	81,11	
<i>Bergenia cordifolia</i>	23,2	62,87	49,78	
<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'		41,06	39,13	
<i>Caltha palustris</i>				19,32
<i>Carex buchananii</i>		21,75	28,12	
<i>Carex grayi</i>				62,57
<i>Centranthus ruber</i> 'Coccineus'	27,08			
<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>	17,13			
<i>Dryopteris filix-mas</i>		4,51	3,87	
<i>Echium amoenum</i> 'Red Feathers'	4,76			
<i>Eriophorum vaginatum</i>				27,65
<i>Eupatorium cannabinum</i>				<u>293,09</u>
<i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'	4,74			
<i>Festuca cinerea</i> 'Silberreiher'	40,39			
<i>Fragaria x ananassa</i>		13,84	13,58	
<i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne'	23,73	26,98	23,2	3,82
<i>Helleborus foetidus</i>	1,14			
<i>Helleborus orientalis</i> 'Red Hybrids'		4,78	2,33	
<i>Hemerocallis middendorffii</i>		33,06	35,92	
<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	49,87	85,06	91,71	
<i>Iris barbata-nana</i> 'Path of Gold'	9,75	14,4	14,37	
<i>Iris pseudacorus</i>	7,86	22,5	27,74	32,81
<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'				25,05
<i>Lythrum salicaria</i>				212,04
<i>Mentha aquatica</i>				133,91
<i>Ophiopogon planiscapus</i> 'Black Dragon'				13,06
<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'		17,34	18,03	
<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'		<u>114,29</u>	<u>148,94</u>	
<i>Salvia officinalis</i>	13,61	45,21	56,21	
<i>Satureja montana</i> 'Citriodora'	10,07			
<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	12,84	12,51	8,4	29,94
<i>Skimmia japonica</i>		14,3	14,67	
<i>Thelypteris palustris</i>				241,17
<i>Thymus vulgaris</i>	13,11			
<i>Typha minima</i>				0
<i>Valeriana officinalis</i>				21,03
Summe	362,62	657,21	676,02	1115,46

Maximalwert

Zwischen den Bewässerungsvarianten bei den Schmuckwänden mit Brunnenwasser und Grauwasser ergaben sich kaum sichtbare Unterschiede. Lediglich im Vergleich zu der Wassermenge zeigte sich deutlich, dass eine niedrige Wasserzufuhr zu einer geringeren Biomasse führte, während eine hohe Wasserzufuhr zu einer höheren Trockenmasse führte.

Demnach war der höchste Wert in Wand 4, der Reinigungswand mit Bewässerungsszenario D (hoher Wasserverbrauch) zu messen. Mit insgesamt 1115,46 g erzeugten die Pflanzen der Reinigungswand die dreifache Biomasse der Pflanzen in Wand 1, welche eine Biomasse von nur 362,62 g produzierten. Bei den Schmuckwänden zeichnete sich kein großer Unterschied ab. Die ident gepflanzten Arten generierten in Wand 3 etwas mehr Biomasse als in Wand 2, was jedoch auf die größte Art *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' zurückzuführen ist. Anhand der geringen Biomasse von Wand 1 ist festzustellen, dass sich bei den Arten in einer troggebundene Fassadenbegrünung mit einem Bewässerungsszenario (A) von geringem Wasserverbrauch eine geringe Wachstumsentwicklung abzeichnet. Viele Arten generierten gerade im Vergleich zu den anderen Wänden eine deutlich geringere Biomasse und eignen sich dementsprechend nicht für die vorherrschenden Bedingungen dieser Wand.

Vergleicht man die erzeugte Biomasse mit dem 5-jährigen Durchschnitt der Getreideernte von Hartweizen in Österreich, der bei 0,92 kg pro m² liegt (AMA, 2019) so können zumindest die Pflanzenarten in Wand 4 mit einer produzierten Biomasse von durchschnittlich 0,93 kg pro m² horizontaler Pflanzfläche mithalten. Im Vergleich dazu lag der Durchschnitt der produzierten Biomasse der Trockenwand mit 0,12 kg pro m² deutlich darunter.

Die größte Biomasse in der Trockenwand wurde von der Art *Aster ageratoides* 'Asran' produziert, welche auch in den Schmuckwänden sehr wüchsig war. Übertroffen wurde diese Art allerdings von *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' mit der größten Biomasse in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3). Fast doppelt so viel Biomasse als bei *Rudbeckia* wurde in der Reinigungswand (Wand 4) bei *Eupatorium cannabinum* erhoben. Aber auch *Thelypteris palustris* wies eine sehr hohe Biomasse auf.

Hervorgehend aus Tabelle 77 schnitten die Pflanzenarten in der Reinigungswand (Wand 4), welche mit Bewässerungsszenario D, das heißt mit einer hohen Wasserzufuhr von Grauwasser bewässert wurden durchschnittlich am besten in ihrer generierten Biomasse ab. Dabei lohnt sich ein Blick auf die einzelnen Arten. Während sieben Arten mit einer besonders hohen Biomasse glänzten, war bei den übrigen sieben Arten ein deutlich geringerer Wert zu messen. Dennoch zeigen auch andere Versuche wie die von ALFIYA et al. (2012) und MZINI (2013), dass sich eine Bewässerung mit Grauwasser positiv auf das Wachstum der Pflanzen auswirken kann. Wichtig ist dabei die regelmäßige Wartung und Qualitätsüberwachung des Systems (GORGICH et al., 2020; FOWDAR et al., 2017; RUSAN et al., 2007).

Auch ein Blick auf den Ausfall der Arten in Tabelle 79 zeigt, dass manche Pflanzenindividuen nicht mit den Bedingungen in den Versuchswänden zurechtkamen. Dabei ist der Höchste Pflanzenausfall an verschiedenen Arten in der Reinigungswand zu beobachten. In den Schmuckwänden kam die Art *Helleborus orientalis* 'Red Hybrids' am wenigsten mit den vorherrschenden Bedingungen zurecht. Auch in der Trockenwand kam es zu Ausfällen einzelner Individuen.

Tabelle 79: Ausfall der Arten in den Versuchswänden (Quelle: Eigene Erstellung 2022)

Ausfall der Arten in den Versuchswänden (Stk.)		
Versuchswand	Pflanzenart	Ausgefallene Art (Stückzahl)
Trockenwand	<i>Achillea millefolium</i> 'Summer Pastels'	1
	<i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'	1
	<i>Echium amoenum</i> 'Red Feathers'	1
Schmuckwände	<i>Dryopteris filix-mas</i>	1
	<i>Skimmia japonica</i>	1
	<i>Helleborus orientalis</i> 'Red Hybrids'	3
Reinigungswand	<i>Valeriana officinalis</i>	1
	<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'	1
	<i>Eupatorium cannabinum</i>	1
	<i>Carex grayi</i>	1

Um einen Vergleich zu der Biomasseproduktion anderer Pflanzenarten ziehen zu können, ist die Auswahl und Hochrechnung einer Art für die ganze Begrünungswand sinnvoll. Angenommen die Art *Thelypteris palustris* wäre in allen zehn Wänden in der Reinigungswand gepflanzt worden, ergäbe dies eine gesamt produzierte Biomasse von 3,21 kg in der Wand, was 1,07 kg pro m² horizontaler Pflanzfläche bedeutet. Somit zeigt sich, dass einer der bestwüchsigsten Arten in Wand 4 mehr Biomasse produzieren konnte als die Kletterpflanze *Fallopia baldschuanica*, welche in dem Versuch von SCHMAL (2017) mit 0,65 kg pro m² weniger Biomasse produzierte. Legt man diese Berechnung um auf eine gut geeignete Pflanzenart der Schmuckwände um, so lässt sich beispielsweise für eine vollflächige Bepflanzung mit der Art *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' eine Biomasse von insgesamt 1,77 kg das heißt 0,59 kg pro m² horizontaler Fassadenbegrünungsfläche berechnen. Nach den Ergebnissen von SCHMAL (2017) zufolge entspricht die durchschnittlich produzierte Biomasse des Feldversuchs auch dem Durchschnitt anderer vertikaler Begrünungen.

Da sich im Feldversuch die Anzahl der Pflanzen innerhalb der Versuchswände unterschied, ist die erzeugte Biomasse in Relation zu der Stückzahl zu betrachten. So waren in Wand 4 meistens sechs Pflanzindividuen pro Art gepflanzt, während in Wand 1-3 nur vier Pflanzindividuen pro Art gepflanzt wurden. Folgende Tabelle stellt die durchschnittliche Biomasse ins Verhältnis zu der Stückzahl der Pflanzen.

Tabelle 80: Umrechnung der Biomasse auf die Stückzahl der Pflanzen pro Versuchswand (Quelle: eigene Erstellung 2022)

Biomasse (g) pro Pflanze				
Versuchswand	Wand 1	Wand 2	Wand 3	Wand 4
Artenanzahl (St.)	72	72	72	77
Biomasse (g)	362,62	657,21	676,02	1115,46
Biomasse (g) / Pflanze	5,03	9,12	9,38	14,48

Laut Tabelle 80 wird deutlich, dass auch umgerechnet auf die Pflanzenstückzahl die Pflanzen in der Reinigungswand durchschnittlich eine höhere Biomasse erzeugten als in den anderen Wänden. So ist

davon auszugehen, dass jene Arten der Reinigungswand, die eine hohe Biomasse produzierten mit den vorzufindenden Verhältnissen des Bewässerungsszenarios D und somit auch mit einer Grauwasserbewässerung gut zurechtkommen. Zu diesen Arten zählen *Carex grayi*, *Eupatorium cannabinum*, *Iris pseudacorus*, *Lythrum salicaria*, *Mentha aquatica*, *Sedum telephium* 'Herbstfreude' und *Thelypteris palustris*. Dennoch wird empfohlen eine längere Expositionszeit der Pflanzen mit Grauwasser zu untersuchen (RUSAN et al., 2007; FOWDAR et al., 2017).

Auch in der Literatur kamen manche der genannten Arten für die Verwendung mit Grauwasser bereits zum Einsatz. So wurde *Iris pseudacorus* bereits in Pflanzenkläranlagen eingesetzt (AVERY et al., 2007). Anstatt *Carex grayi* wurde eine andere Seggen-Art *Carex appressa* in Grauwasser-Versuchen in Australien eingesetzt (PRODANOVIC et al., 2019; FOWDAR et al., 2017; PRODANOVIC et al., 2020). Aber auch die Arten *Mentha aquatica* und *Thelypteris palustris* eigneten sich in anderen Untersuchungen als Reinigungspflanze (ZRAUNIG et al., 2019; AVERY et al., 2007; STROPPA et al., 2020). Für die Helophyten *Eupatorium cannabinum* und *Lythrum salicaria* gibt es bisher keine Untersuchungen zum Einsatz mit Grauwasserbewässerung. Eine weitere Art, die erstmalig in dem Forschungsbereich mit Grauwasser vorkommt und sich in diesem Feldversuch bewährte, ist *Sedum telephium* 'Herbstfreude'.

Resümee

Abschließend lässt sich zu der erzeugten Biomasse des Feldversuchs sagen, dass durch eine hohe Wasserzufuhr auch mehr Biomasse produziert wurde. Allerdings ist zu der Höhe der Biomasse anzumerken, dass diese stark von den Pflanzenarten abhängig ist und nicht miteinander verglichen werden kann. Vielmehr können die Individuen innerhalb eines Versuchs untereinander verglichen werden und daraus Rückschlüsse auf die Entwicklung der jeweiligen Pflanze gezogen werden. Vergleichswerte aus der Literatur bieten einen Anhaltspunkt, wie hoch die durchschnittliche Biomasse der jeweiligen Art sein kann, auch wenn diese häufig in der Freifläche erhoben wurde.

Dennoch zeigte sich der hohe Wasserstress, dem Pflanzen in einer Fassadenbegrünung wie der Trockenwand im Feldversuch ausgesetzt waren, auch negativ in der Trockenmasse und damit im teilweise kümmerlichen Wachstum der Pflanzen. Bestätigt wird dies auch durch BUCKLEY (2019), der zu dem Schluss kommt, dass für Pflanzen in den exponierten Bedingungen einer Fassadenbegrünung Hitzestress vermieden werden sollte. Für die Biomasseproduktion der Pflanzen ist auch die natürliche Ertragsfähigkeit des Bodens verantwortlich. Unter anderem sind somit Standorteigenschaften wie verfügbare Nährstoffe, die Durchwurzelbarkeit und Staunässe Einflussfaktoren, die sich auf das Wachstum der Pflanzen auswirken (BGL, 2003). Die Schmuckwände, die weder Staunässe noch hoher Trockenheit ausgesetzt waren, zeigten durchschnittliche Ergebnisse in ihrer Biomasseproduktion, verglichen mit anderen Pflanzenarten in der Literatur. Für viele Arten fehlen allerdings Vergleichswerte aus der Literatur, um eine aussagekräftigere Bewertung der Pflanzenentwicklung anhand der Biomasse abgeben zu können. Daher ist weitere Forschung in diesem Bereich notwendig, welche die Auswahl der Pflanzenarten für ein troggebundenes Fassadenbegrünungssystem bestärkt und erweitert.

Da die höchste Biomasse in Wand 4 und damit in der mit Grauwasser bewässerten Reinigungswand produziert wurde, ist davon auszugehen, dass sich dieses Bewässerungsszenario und die dadurch erzeugten Standortbedingung für bestimmte Arten in einem troggebundenen Begrünungssystem eignen. Eine Erklärung für die höhere Biomasse in der Reinigungswand ist ein höherer Nährstoffgehalt im Substrat durch das zugeführte Grauwasser, welches das Pflanzenwachstum ankurbelt und die Bodenfruchtbarkeit verbessert (RUSAN et al., 2007).

Eine hohe erzeugte Biomasse deutet gleichzeitig auf eine höhere CO₂-Bindung hin (MARCHI et al., 2015), was wiederum den positiven Effekt der Fassadenbegrünung als NBS im urbanen Bereich verdeutlicht. Weiters bietet die produzierte Biomasse von Fassadenbegrünungen großes Potenzial für die energetische Nutzung. Die erzeugte Biomasse eignet sich zum Teil für die Produktion von Biogas und Holzpellets (NEHLS et al., 2019; SCHMAL, 2017). Zusätzlich zeigt die Wiederverwendung von Grauwasser als NBS einen wesentlichen Vorteil zur Bewässerung von Fassadenbegrünungen indem dadurch Trinkwasser eingespart werden kann (PFOSER, 2016).

6.2 Vergleich von Brunnenwasserbewässerung (B) und Grauwasserbewässerung (C)

Um die Auswirkungen der Bewässerung mit Grauwasser auf die Pflanzenarten in einem troggeordneten System zu untersuchen, wurde ein Vergleich zwischen den identisch bepflanzten aber unterschiedlich bewässerten Schmuckwänden Wand 2 (Brunnenwasser) und Wand 3 (Grauwasser) aufgestellt. Zusammengefasst dargestellt werden die Ergebnisse aus Kapitel 5.1 in folgender Tabelle (81).

Tabelle 81: Vergleich der erhobenen Daten zwischen Wand 2 und Wand 3 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Vergleich der Schmuckwände						
Pflanzenart	Wand 2 (Brunnenwasser)			Wand 3 (Grauwasser)		
	Gesamt-eindruck	Volumen (dm ³)	Biomasse (g)	Gesamt-eindruck	Volumen (dm ³)	Biomasse (g)
<i>Allium schoenoprasum</i>	7,0	19	26,78	6,4	13,05	18,91
<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<u>8,6</u>	73,4	95,97	7,8	45,8	81,11
<i>Bergenia cordifolia</i>	6,7	16,3	62,87	6,65	20,7	49,78
<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	6,4	73,6	41,06	6,5	38,73	39,13
<i>Carex buchananii</i>	3,9	2,5	21,75	4,0	3,88	28,12
<i>Dryopteris filix-mas</i>	4,8	4,3	4,51	3,3	4,2	3,87
<i>Fragaria x ananassa</i>	6,8	7,3	13,84	6,5	5,35	13,58
<i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne'	7,3	18	26,98	7,2	12,8	23,2
<i>Helleborus orientalis</i> 'Red Hybrids'	3,7	4,9	4,78	4,4	1,28	2,33
<i>Hemerocallis middendorffii</i>	7,2	33,8	33,06	7,0	49,63	35,92
<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	7,7	61,6	85,06	<u>8,1</u>	55,4	91,71
<i>Iris barbata-nana</i>	7,2	19,1	14,4	6,9	19,5	14,37
<i>Iris pseudacorus</i>	6,3	37,7	22,5	6,9	29,7	27,74
<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	6,0	6,6	17,34	6,1	8,13	18,03
<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	8,0	<u>86,3</u>	<u>114,29</u>	7,7	<u>99,75</u>	<u>148,94</u>
<i>Salvia officinalis</i>	7,2	52,8	45,21	6,6	46,4	56,21
<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	6,0	27,95	12,51	5,9	21,43	8,4
<i>Skimmia japonica</i>	3,3	5,1	14,3	4,8	5,35	14,67
Mittelwert	6,34	30,57	657,21	6,26	26,73	676,02

Maximalwert

Der Vergleich der ident bepflanzten Schmuckwände mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien (siehe Tabelle 81) zeigt anhand der erhobenen Daten nur geringe Unterschiede, die nicht zwingend mit der Art der Bewässerung zu tun haben müssen, sondern genauso auf andere Einflussfaktoren wie Exposition und Verfügbarkeit von Licht und Nährstoffen zurückzuführen sein können (SCHULZE et al., 2002). Auch der Konkurrenzdruck von benachbarten Pflanzenarten hat Einfluss auf die Entwicklung der Arten (MA 22, 2019).

Allein die durchschnittlich höchste Bewertung im Gesamteindruck zeigt, dass sich die Arten in den beiden Wänden unterschiedlich entwickelten. So erreichte in Wand 2 die Art *Aster ageratoides* 'Asran' die höchste Bewertung, während in Wand 3 *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' am besten bewertet wurde.

Der gegebene Gesamteindruck der Arten korreliert nicht immer mit der produzierten Biomasse. So erhielt etwa *Salvia officinalis* einen höheren Gesamteindruck in Wand 2, welche mit Brunnenwasser bewässert wurde, schnitt aber in der produzierten Biomasse in Wand 3, die mit Grauwasser bewässert wurde besser ab. Vergleicht man die erhobenen Werte der beiden Wände untereinander, erhielten 11 von 18 Arten in Wand 2 einen höheren Gesamteindruck, wobei der Unterschied als sehr gering zu bewerten ist. Auch im kubischen Volumen wurde bei mehr als der Hälfte der Arten (12 von 18) ein höheres kubisches Volumen in Wand 2 gemessen. Eine höhere Biomasse produzierten mehrere Arten (10) in Wand 2. Auch wenn die durchschnittlich produzierte Biomasse in Wand 3 höher war, ist anzumerken, dass diese Differenz hauptsächlich durch die Art *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' zustande kam, welche in beiden Wänden eine sehr hohe Biomasse aufwies.

Betrachtet man nun alle Ergebnisse, schneidet Wand 2, welche mit Brunnenwasser bewässert wurde in der Gesamtbewertung minimal besser ab als die mit Grauwasser bewässerte Wand 3. Der Unterschied ist jedoch sehr gering und somit nicht signifikant. Bestätigt wird dieses Ergebnis in dem Versuch von ALFIYA et al. (2012). Dort zeigte sich bei der Pflanzenart *Lolium perenne* ebenfalls kein deutlicher Unterschied in dem Ertrag und Wachstum der Pflanzen, die mit gereinigtem Grauwasser bewässert wurden, zu denen die mit Leitungswasser bewässert wurden. Im Gegenteil - es war sogar mehr Ertrag zu messen. Auch bei den Untersuchungen der Auswirkungen von Grauwasser auf Gemüsekulturen in dem Versuch von MZINI (2013) wird diese These bestätigt. So brachten Spinat, Zwiebeln und Kohl sogar mehr Ertrag bei einer Bewässerung mit Grauwasser, Rote Beete zeigte keine Unterschiede im Vergleich zu einer Bewässerung mit Brunnenwasser. Nur bei Salat und Karotten war ein geringerer Ertrag zu messen als bei einer Bewässerung mit Trinkwasser.

Resümee

Es wird deutlich, dass bei einer Bewässerung mit Brunnenwasser oder Grauwasser von mittlerem Wasserverbrauch keine signifikanten oder nur sehr geringe Unterschiede hinsichtlich des Gesamteindrucks, des kubischen Volumen und der Biomasse in der Bepflanzung zu erkennen sind. Dementsprechend sind für die meisten verwendeten Pflanzenarten in einer troggebundene Fassadenbegrünung die Bewässerungsszenarien B und C mit einem mittleren Wasserverbrauch von Brunnenwasser und Grauwasser durchaus anwendbar. Dies stellt ein positives Ergebnis für die Anwendung von ressourcenschonenden Bewässerungsquellen wie Grauwasser dar, welche als NBS gegen die globale Wasserknappheit (KUMMU et al., 2010) eingesetzt werden könnte.

6.3 Interpretation des Ernteertrags

Um den Ernteertrag der essbaren Pflanzenteile in dem getesteten System der troggeordneten Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien feststellen zu können, werden die Ergebnisse aus Kapitel 5.3 nachfolgend interpretiert und diskutiert. Um den Ernteertrag besser abschätzen zu können wird für gewisse Arten ein Vergleich zu der gewerbsmäßigen Freilandkultur gezogen. Da die Standortbedingungen in einer Fassadenbegrünung mit denen im Freiland nicht zu vergleichen sind, dient die Gegenüberstellung nur als Anhaltspunkt. Zum besseren Vergleich wurde die bepflanzbare Substratoberfläche errechnet, welche 0,3 m² pro Pflanzwanne misst. Dabei wurde mit einer Pflanzenstückzahl acht Stück pro Wanne gerechnet außer bei den Gehölzen (vier Stück pro Wanne).

Tabelle 82: Erhebungen des frischen Ernteertrags der essbaren Pflanzenteile (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Pflanzenart	Ernteertrag in g			
	Wand 1	Wand 2	Wand 3	Wand 4
<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'		83	137	
<i>Allium schoenoprasum</i>		26,78	18,91	
<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'		17,34	18,03	
<i>Thymus vulgaris</i>	13,11			
<i>Salvia officinalis</i>	13,61	45,21	56,21	
<i>Satureja montana</i> 'Citriodora'	40,27			
<i>Mentha aquatica</i>				133,88
<i>Ribes rubrum</i>			52	
<i>Malus</i>		120		
Summe (g)	53,38	292,33	225,94	133,88

Tabelle 82 veranschaulicht die Summe der erhobenen Frischemasse der Kräuter, dessen Ernte die Blattmasse darstellt sowie die Frischemasse der Arten mit Fruchtertrag. Nicht gezeigt werden die Nutzpflanzen *Vitis vinifera*, *Ribes nigrum* und *Pyrus* aus dem Vorversuch, welche sich im dritten Wuchsjahr befanden und wie im Vorjahr keine Früchte bildeten. Dafür bildete die Art *Malus* in ihrem dritten Wuchsjahr die erste Frucht in Wand 2.

In der Trockenwand (Wand 1) war ein deutlicher Unterschied des Ernteertrags zwischen *Thymus vulgaris* und *Satureja montana* 'Citriodora' zu verzeichnen. Auch wenn sich diese Kräuter in ihrem Habitus und Ertrag ähnlich sein sollten (SLL, 2002), wurde bei *Thymus* kaum mehr als ein Viertel des Gewichts von *Satureja* geerntet. Mit umgerechnet 87,4 g pro m² liegt die produzierte Trockenmasse von *Thymus* in Wand 1 deutlich unter dem was eine *Thymus*-Pflanze an Blattmasse produzieren kann. So zeigte dieselbe Art im Versuch von NADJAFI et al. (2014) 239,48 g pro m² im ersten Jahr und bis zu 1175 g pro m² im zweiten Wuchsjahr. Das Wuchsjahr stellt also auch einen Einflussfaktor auf den Ertrag dar. Ein drei Jahre alter *Thymus vulgaris* produziert mehr Ertrag als ein- oder zwei-Jahre alte Arten. Grund dafür ist die vollständige Etablierung der Pflanzen, die Entwicklung des Wurzelsystems und die damit verbundene bessere Wasser- und Nährstoffaufnahmefähigkeit älterer Pflanzen (OMIDBAIGI, 1998). Da sich die Art im Feldversuch über zwei Jahre kaum in ihrem Ernteertrag steigerte (9,8 g 2020 und 13,11 g 2021), ist davon auszugehen, dass sich *Thymus vulgaris* als Nutzpflanze für eine troggeordnete Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch) nicht eignet. Dem Ergebnis ist jedoch hinzuzufügen, dass eine der vier Individuen

stark von der benachbarten Pflanzenart *Aster ageratoides* 'Asran' bedrängt wurde. *Saturjea montana* 'Citriodora' erreichte mit 26,82 g pro m² einen höheren Ertrag in Wand 1, welcher verglichen zu einer gut entwickelten *Satureja hortensis* in der Freifläche zumindest die Hälfte des Ertrags ausmacht (SLL, 2002).

Die Arten, die sich in den Schmuckwänden (Wand 2 und 3) befanden, zeigten vor allem bei *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' einen Unterschied in ihrem Fruchtertrag. Dabei ist zu vermerken, dass die Früchte nur in unregelmäßigen Abständen geerntet wurden und somit nicht alle produzierten Früchte erhoben werden konnten. Um den Ertrag vollständig zu erfassen, ist eine wöchentliche Ernte zu empfehlen. Nichtsdestotrotz ist der höhere Fruchtertrag von vier Einzelpflanzen mit 137 g in Wand 3 deutlich geringer verglichen zu der Kletterpflanze *Fragaria x ananassa* 'Elan', die in dem Versuch von BEGER (2022) in Summe 344 g Frucht (bei vier Einzelpflanzen) im ersten Wuchsjahr produzierte. In Anbetracht des Vorjahrs kam es bei *Fragaria x ananassa* 'Delikatess' in der zweiten Vegetationsperiode jedoch zu einer Steigerung im Ertrag. So wurde in Wand 2 im Vorjahr ein Ertrag von 61 g und in Wand 3 ein Ertrag von 100 g erhoben (ANTONI, 2021). Vergleicht man die Erträge von Wand 3 mit denen im erwerbsmäßigen Anbau, so stehen 913,33 g Fruchtertrag pro m² im Feldversuch 2000 g Fruchtertrag pro m² im biologischem Anbau in der Freifläche gegenüber (SCHUBERT, 2014). Dies entspricht zwar nur fast der Hälfte des durchschnittlichen Ertrags im erwerbsmäßigen Anbau, ist jedoch aufgrund der schwierigeren Bedingungen an der Fassade als positiv zu bewerten. Außerdem wurde im Feldversuch auf die Zugabe von Dünger verzichtet. Die Ernteerträge zeigen somit eine gute Eignung dieser Nutzpflanze für eine troggebundene Schmuckwand mit Bewässerungsszenario B und C, wobei die Art in der Grauwasser-Schmuckwand noch besser abschnitt und somit die Eignung einer Grauwasserbewässerung unterstreicht.

Die Pflanze *Ribes rubrum* erzielte einen Fruchtertrag von 52 g. Umgerechnet auf den Quadratmeter ist bei zwölf Einzelpflanzen mit einem Ertrag von 624 g pro m² zu rechnen, was weniger als die Hälfte des durchschnittlichen Ertrags (1,5 kg pro m²) von *Ribes rubrum* in der Freifläche bedeutet (KOB, 2022) und auf eine bedingte Eignung dieser Art für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario C (Grauwasser) hinweist.

Bei der Pflanzenart *Allium schoenoprasum* konnte ein höherer Ertrag in Wand 2 gemessen werden. Mit insgesamt 26,78 g Trockenblattmasse für vier Einzelpflanzen liegt diese Art jedoch deutlich unter der erzeugten Trockenmasse bei ebenfalls vier Pflanzenindividuen, die in gebräuchlichen Blumenkästen 221,22 g Trockenblattmasse erzeugen konnten (BERGER, 2022). Eine Eignung für *Allium schoenoprasum* als Nutzpflanze in einem troggebundenen System ist demnach sowohl für Bewässerungsszenario B als auch Bewässerungsszenario C in Frage zu stellen und in weiterer Forschung zu untersuchen.

Die Ertragswerte für *Salvia officinalis* in den Schmuckwänden erreichen einen Wert von maximal 376,69 g pro m². Dies gleicht der durchschnittlichen Menge an Trockenmasse, welche *Salvia officinalis* in ihrem ersten Wuchsjahr produziert. In der zweiten Vegetationsperiode sollte aber deutlich mehr Ertrag zu erheben sein (NADJAFI et al., 2014). In der Trockenwand wurde deutlich weniger Trockenmasse erhoben, was gegen einen Einsatz dieser Nutzpflanze in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A spricht.

Die *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' Pflanzen ähnelten sich in ihren erhobenen Erträgen in den unterschiedlich bewässerten Schmuckwänden. Mit einer Trockenmasse von insgesamt 35,37 g von acht Einzelpflanzen der Art *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' fällt der Ertrag allerdings deutlich geringer aus als im Pflanztrogsystem von BERGER (2022) indem acht Einzelpflanzen derselben Art insgesamt 313,09 g Trockenmasse erzeugten. Auch der Blick auf das erste Versuchsjahr, als die Pflanzen frisch gepflanzt wurden und gut gedüngt waren, zeigt kein besseres Ergebnis (ANTONI, 2021).

Daraus ableitend eignet sich *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' nicht als Nutzpflanze für die vorherrschenden Bedingungen der Schmuckwände.

Die einzige Nutzpflanze in der Reinigungswand *Mentha aquatica* zeigte verglichen zu den anderen Kräuterarten mit insgesamt 133,88 g für drei Einzelpflanzen durchaus einen guten Ertrag und ist mit 1189,92 g pro m² vergleichbar zu dem Mindestertrag der Kulturpflanze *Mentha x piperita* im ersten Pflanzjahr (BOMME, 2001).

Resümee

Wie schon erwähnt stellen die Vergleiche der Ernteerträge zu anderen Versuchen nur Anhaltspunkte dar und sind nicht direkt vergleichbar, da die meisten Ernteerträge aus der Literatur in der Freifläche erhoben wurden. Demnach sind die Pflanzenarten unterschiedlichen Wachstumsbedingungen ausgesetzt. Nicht nur die exponierteren Bedingungen an der Fassade (FRANCO et al., 2012; MA 22, 2019), sondern auch der Verzicht auf Dünger im Feldversuch erklären die Unterschiede im Ernteertrag der Pflanzen. Auch wenn sich andere Studien darüber uneins sind. Eine zweijährige Studie von NADJAFI et al. (2014) zeigt, dass die Zugabe von Biodünger keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag von *Salvia* hatte, sondern vielmehr das Pflanzenalter. Andere Studien ergaben wiederum, dass bei der Zugabe von Dünger ein Drittel mehr Ertrag produziert wurde (OMIDBAIGI et al., 2000). Jedenfalls sollten beide Einflussfaktoren (Wuchsjahr und Düngung) bei der Bewertung und in zukünftigen Forschungen zu Nutzpflanzen bedacht werden.

Abschließend ist festzustellen, dass es durchaus möglich ist Nutzpflanzen in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien zu kultivieren. Dabei sind ein ausreichendes Wurzelvolumen, die Substrateigenschaften, die Erreichbarkeit zur Ernte (STAV, 2016), sowie eine ausreichende Bewässerung wichtige Faktoren für einen erfolgreichen Anbau (HAUERT-HBG DÜNGER AG, 2021). Auch die Bewässerung mit Grauwasser kann in Erwägung gezogen werden. Der Vergleich zwischen einer Bewässerung mit Grauwasser oder Brunnenwasser zeigte im Versuch keine aussagekräftigen Unterschiede im Ertrag und unterstützt die gewonnene These aus Kapitel 3, dass Grauwasser bei gewissen Pflanzenarten zu einer höheren Biomasseproduktion führen kann (MZINI, 2013; ALFIYA et al., 2012). Für die Bedingungen der Trockenwand eignet sich *Saturjea montana* 'Citriodora' bedingt und *Thymus vulgaris* sowie *Salvia officinalis* können für Bewässerungsszenario A ausgeschlossen werden. In den Schmuckwände zeigten sich die Arten *Fragaria x ananassa* und *Salvia officinalis* als geeignete Nutzpflanzen, während von *Rosmarinus officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' abzusehen ist. Bedingt einsatzfähig als Nutzpflanze sind die Arten *Ribes rubrum* und *Allium schoenoprasum* für Bewässerungsszenario B und C (mittlerer Wasserverbrauch). Die Nutzpflanze *Mentha aquatica* lässt sich gut in einer Reinigungswand mit Bewässerungsszenario D kultivieren.

Die Vergleiche zur Literatur zeigten, dass höhere Erträge in der Freifläche zu erwarten sind, als sie im getesteten System zu messen waren. Aber auch in anderen vertikalen Systemen, die jedoch regelmäßig gedüngt wurden, lag der Ertrag bei bis zu 1 kg pro Monat auf einem Quadratmeter vertikaler Fläche (STAV, 2016) und damit deutlich höher als in der Versuchswand. Zu einer Ertragssteigerung könnte schlussfolgernd eine regelmäßige Ernte und der Einsatz von Dünger, wie es im konventionellen Anbau der Fall ist, führen. Um ein zusätzliches Nahrungsangebot in der vertikalen Fläche für Einzelhaushalte oder Zweipersonenhaushalte zu schaffen und zusätzliche Anbaufläche für Urban Gardening zu bieten, kann die begrünte Fassade jedoch ihren Teil dazu beitragen (STAV, 2016; DIERICH et al., 2017). Für eine breitere Palette an geeigneten Nutzpflanzen für die Fassade, ist der Bedarf an Forschung noch hoch. Auch ist interessant, inwiefern sich der Ertrag der Pflanzen über längere Zeit in einer troggebundenen Fassade entwickelt.

6.4 Interpretation der erzeugten Blattfläche

Um eine Aussage über die generierte Verdunstungsfläche in den Schmuckwänden treffen zu können und den Einfluss von Grauwasser auf das Blattwachstum zu untersuchen, wurde die Blattfläche der Pflanzenarten in den Versuchswänden 2 und 3 erhoben. Nicht erhoben wurde die Blattfläche von *Carex buchananii*, aufgrund des schwachen Wachstums dieser Art. Tabelle 83 veranschaulicht die erhobenen Daten.

Eine Aussage über die erzeugte Verdunstungskälte der Schmuckwände zu treffen, ist allein über die erhobene Blattfläche nicht möglich. Dazu müssten weitere Messungen der Verdunstung erfolgen. Dennoch können anhand vorhandener Literatur Rückschlüsse gezogen werden, inwiefern sich die eingesetzten Pflanzenarten und deren Blattfläche auf die Verdunstungskälte und damit den ausgehenden Kühlungseffekt der Fassadenbegrünung auswirkten. Außerdem wurde im Zuge eines weiteren Forschungsversuchs innerhalb des Forschungsprojekts UVG 2.0 durch PUCHER et al. (o.J.) am selben Versuchsstandort die Temperatur an der Fassade gemessen. Dadurch können Schlussfolgerungen auf die erzeugte Verdunstungskälte in Korrelation mit der im Feldversuch erhobenen Blattfläche gezogen werden.

Tabelle 83: Vergleich der erhobenen Blattfläche von Wand 2 und Wand 3 (Quelle: eigene Erstellung 2021)

Blattfläche (Leaf Area) in dm ²		
Pflanzenarten	Wand 2 (BW)	Wand 3 (GW)
<i>Allium schoenoprasum</i>	23,79	19,50
<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	66,66	53,96
<i>Bergenia cordifolia</i>	5,95	4,81
<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	21,08	15,70
<i>Carex buchananii</i>	-	-
<i>Dryopteris filix-mas</i>	10,05	10,44
<i>Fragaria x ananassa</i>	11,58	9,58
<i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne'	6,48	3,84
<i>Helleborus orientalis</i> 'Red Hybrids'	3,67	3,90
<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<u>181,05</u>	<u>235,54</u>
<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	99,92	91,55
<i>Iris barbata-nana</i>	14,68	15,22
<i>Iris pseudacorus</i>	24,29	16,03
<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	10,83	12,73
<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	59,05	64,48
<i>Salvia officinalis</i>	26,87	69,92
<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	24,22	18,98
<i>Skimmia japonica</i>	48,67	54,15
Summe (dm²)	638,84	700,33

Maximalwert

In Summe erzeugten die Pflanzenarten in Wand 3, welche mit Grauwasser bewässert wurden eine größere Blattfläche als die Arten in Wand 2, die mit Brunnenwasser bewässert wurden. Dies ist jedoch hauptsächlich auf die Arten *Hemerocallis middendorffii* und *Salvia officinalis* zurückzuführen, welche eine deutlich größere Blattfläche in Wand 3 erzeugten. Betrachtet man die einzelnen Arten im Vergleich, erreichten 9 von 17 Arten in Wand 2 eine größere Blattfläche. Der Unterschied ist jedoch oft als sehr gering zu bewerten.

Die größte Blattfläche war bei der Art *Hemerocallis middendorffii* zu verzeichnen. Auch *Aster ageratoides* 'Asran', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' und *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm' konnten eine hohe Leaf Area vorzeigen. Die Größe der Blattfläche bedeutet allerdings nicht, dass diese Arten mehr Verdunstungskälte erzeugten. Zwar führt eine höhere Laubdichte zu mehr Beschattung und damit zu einer höheren Kühlung der Oberflächentemperatur (SCHMIDT, 2003; PFOSER, 2016; BARTFELDER et al., 1987; THOMSIT-IRELAND et al., 2020) aber die Evaporation ist bei jeder Art unterschiedlich hoch und unabhängig von der Größe der Blattfläche. Diese Annahme zeigen unterschiedliche Untersuchungen, bei welchen eine ähnlich große Blattfläche zweier Arten verschiedene Werte in der Verdunstungskälte aufwies (CAMERON et al., 2014; BLANUSA et al., 2013; CHAROENKIT et al., 2020).

Vielmehr stellt die Morphologie der Pflanze einen Einflussfaktor auf die Evaporation dar (DAHANAYAKE et al., 2017). Arten wie *Heuchera* und *Salvia* mit hellerer Blattfarbe und längerer Blattbehaarung zeigen niedrigere Blatttemperaturen auf als dunkel gefärbte Blätter (MONTEIRO et al., 2016). Stellt man dieses Ergebnis aus der Literatur den Ergebnissen des Feldversuchs gegenüber, so ist davon auszugehen, dass *Salvia officinalis* 'Miss Jesopp's Upright' in Wand 3 mit einer mehr als doppelt so hohen Blattfläche als in Wand 2 zu einer größeren Verdunstungskälte führte. Für *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' ist der Unterschied in der Blattfläche zwischen den Wänden zu gering, als dass dieser einen Einfluss auf die Kühlungswirkung der Fassadenbegrünung haben könnte. Auch die Blattdicke wirkt sich auf die Blatttemperatur aus. Blätter mit geringerer Blattdicke tragen dazu bei, die Blatttemperatur auf einem niedrigen Wert zu halten, da eine höhere Wärmeabgabe erfolgt (DAHANAYAKE et al., 2017) und schneller auf die Umgebungstemperatur reagiert wird als bei dickblättrigen Arten wie Sukkulenten (MONTEIRO et al., 2016; ANSARI et al., 1959). Hinsichtlich des Feldversuchs bedeutet dies, dass die Art *Sedum telephium* 'Herbstfreude' keine wesentliche Rolle für eine Temperaturreduktion spielen mag, was bestätigt wird durch BLANUSA et al. (2013).

Außerdem wird laut BLANUSA et al. (2013) und PFOSER (2016) der Zusammenhang zwischen der Bewässerungsmenge und der Temperatur an der Fassade deutlich. Denn die Wasser-Rückhalteleistung des Substrats und die Menge der Bewässerung stellen große Einflussfaktoren auf die Verdunstungskälte und damit auch auf die Kühlung der Fassade dar. Es wird deutlich, dass durch die Verzögerung des Abflusses von Wasser eine höhere Verdunstungskälte entsteht (SCHMIDT, 2003). Das heißt, je weniger eine Fassadenbegrünung bewässert wird, desto weniger Verdunstungskälte kann entstehen. Bestätigt wird dies durch die Untersuchungen der Temperaturunterschiede in dem Versuch von PUCHER et al. (o.J.) an denselben Versuchswänden wie die des Feldversuchs. Der größte Temperaturunterschied wurde zwischen der am häufigsten bewässerten Reinigungswand und der blanken Wand gemessen. Demnach war die Temperatur bei der Reinigungswand an heißen Tagen 3,4°C niedriger, während die Trockenwand (1) ähnliche Temperaturen aufwies wie die unbegrünte Wand. Dieses Ergebnis ähnelt dem von BARTFELDER et al. (1987). Die Ergebnisse der niedrigen Evapotranspiration in Wand 1 sind auf die hitzestressen Pflanzenarten zurückzuführen, die sichtbar unter der geringen Wasserzufuhr litten und die These von CHENG et al. (2010) und GRÄF et al. (2021) unterstützen, dass wassergestresste Pflanzen nicht zu einem Kühleffekt beitragen können. In dem Versuch wird außerdem deutlich, dass die besser bewässerten Pflanzenarten in Wand 2, 3 und 4 eine höhere Verdunstungskälte erzeugen konnten. Genauer bedeutet das für die Schmuckwände an heißen Tagen, dass von 25 Litern Bewässerung pro Tag 10 Liter verdunsteten (PUCHER et al., o.J.), was der durchschnittlichen Verdunstung einer Fichte entspricht (WIMMER, 2006).

Resümee

Eine größere Blattfläche und damit eine größere Verdunstungsfläche bedeutet nicht gleichzeitig eine höhere Evaporation der Pflanze. Wobei in diesem Feldversuch bei gleicher Bewässerungsmenge die etwas größere Gesamtblattfläche in Wand 3 (siehe Tabelle 83) sich auch in den Grafiken von PUCHER

et al. (o.J.) in einer höheren Evapotranspiration widerspiegeln. Dazu ist anzumerken, dass die Blattfläche, durch die in Kapitel 4.5.5 beschriebene Methode errechnet wurde. Das heißt, es erfolgte eine Hochrechnung anhand des kubischen Volumens. Die errechnete Blattfläche ist somit ein Resultat einer Hochrechnung und vermittelt einen Orientierungswert und nicht die tatsächlich erzeugte Blattfläche in den Schmuckwänden. Genauere Ergebnisse könnten über die Erhebung der einzelnen Blattflächen jeder Pflanze geliefert werden, was im Rahmen dieser Masterarbeit nicht möglich war.

Abschließend lässt sich anhand der gewonnenen Erkenntnisse zusammenfassen, dass die Blattfläche und Laubdichte der Pflanzenarten zwar die Beschattung und damit die Kühlung an der Fassade beeinflussen (PERINI et al., 2017), aber jede Pflanzenart individuell zu betrachten ist hinsichtlich ihrer erzeugten Verdunstungskälte (MONTEIRO et al., 2016; DAHANAYAKE et al., 2017). Außerdem sollte die Verdunstungskälte immer in Abhängigkeit mit der Bewässerungsmenge (PERINI et al., 2017; SCHMIDT, 2003; PEDESCOLL et al., 2013) und den Eigenschaften des Wassers betrachtet werden. Eine langfristige Bewässerung mit Grauwasser kann sich in den physiologischen Merkmalen der Pflanzen zeigen und die Evaporation beeinflussen (CAPUTO et al., 2019; OULDBOUKHITINE et al., 2014).

Zusammenfassend kann allein über die erhobene Blattfläche im Feldversuch keine Aussage zu der Verdunstungsleistung der troggebundenen Fassade getroffen werden. Genauere Erkenntnisse über die Kühlfähigkeit der getesteten Bewässerungsszenarien konnten aus den Untersuchungen von PUCHER et al. (o.J.) an denselben Versuchswänden gewonnen werden. Ableitend aus der gemessenen Lufttemperatur und der Evapotranspiration anhand des gemessenen Wasserüberschusses der Bewässerung konnte festgestellt werden, dass eine höhere Bewässerungsmenge zu einer höheren Verdunstung führte. Inwiefern die einzelnen Pflanzenarten zu der Verdunstungskälte beitragen, kann in weiterer Forschung beispielsweise über die Erhebung des abgegebenen Wasserdampfs mittels eines Hygrometers erfolgen (STOCKER, 1956).

6.5 Conclusio

Basierend auf den zuvor diskutierten und interpretierten Ergebnissen, werden nachfolgend die Forschungsfragen beantwortet.

1. Welche Pflanzenarten eignen sich für das getestete System der troggebundenen Fassadenbegrünung, welches unterschiedlichen Bewässerungsszenarien hinsichtlich Wassermenge, Wasserart und Bewässerungsintervallen ausgesetzt ist?
 - Die Pflanzenarten kamen mit Bewässerungsszenarien B, C und D besser zurecht, das heißt einer mittleren bis hohen Wasserzufuhr von Brunnenwasser und Grauwasser, als mit Bewässerungsszenario A (geringer Wasserverbrauch). Wobei der hohe Einsatz von Grauwasser sich bei manchen Pflanzenarten negativ in ihrer Entwicklung auswirkte.
 - Die Arten in den Schmuckwänden mit Bewässerungsszenario B und C schnitten im zweiten Wuchsjahr am besten ab.
2. Wieviel Biomasse wurde in der untersuchten troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien erzeugt?
 - Es konnte mehr Biomasse bei einer höheren Wasserzufuhr erhoben werden. Das heißt Hitzestress zeigte sich in einem geringeren Wachstum.
 - Einige Arten in der Reinigungswand produzierten besonders viel Biomasse.
3. Wie entwickeln sich die Pflanzenarten in der untersuchten troggebundenen Fassadenbegrünung bei einer Bewässerung mit Grauwasser verglichen zu einer Bewässerung mit Brunnenwasser?
 - Es konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Entwicklung der Pflanzenarten bei einer Bewässerung mit Brunnenwasser oder Grauwasser festgestellt werden.

4. Wie hoch ist der Ernteertrag der essbaren Pflanzenteile in dem getesteten System der troggebundenen Fassadenbegrünung mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien? Welche Nutzpflanzen eignen sich für dieses System sowie für die Bewässerung mit Grauwasser?
 - Der Ernteertrag war in allen vier Versuchswänden des troggebundenen Fassadenbegrünungssystems geringer als er in der Freifläche zu erwarten wäre. Für einen trockenen Standort mit einer geringen Bewässerung eignete sich die Art *Satureja montana* 'Citriodora', für frische Standorte konnten die Nutzpflanzen *Fragaria x ananassa*, *Ribes rubrum* und *Allium schoenoprasum* eine bedingte Eignung erzielen. Für einen feuchten Standort in einem troggebundenen Begrünungssystem mit einer Bewässerung aus Grauwasser in einem kann eine Pflanzempfehlung für *Mentha aquatica* abgegeben werden.
5. Wieviel Blattfläche konnte in den Schmuckwänden des troggebundenen Fassadenbegrünungssystems als Verdunstungsfläche generiert werden?
 - Die etwas größere Gesamtblattfläche wurde in Wand 3 (Schmuckwand mit Grauwasser) erhoben und spiegelt sich auch in einer höheren Evapotranspiration wider (PUCHER et al. o.J.). Allerdings ist die Verdunstungsleistung einer Fassadenbegrünung nicht allein von der Blattfläche abhängig und kann somit anhand des Versuchs nicht aufgezeigt werden.

7 Ausblick

Zu Pflanzenwahl und Pflanzeignung

Damit Fassadenbegrünungen den prognostizierten vermehrten Hitzetagen und steigenden Temperaturen standhalten können, muss nicht nur ausreichend bewässert werden bei gleichzeitiger Herausforderung den Trinkwasserbedarf zu minimieren, sondern auch auf trockenresistente Pflanzen zurückgegriffen werden. Für eine vielfältige Auswahl an trockenresistente Pflanzenarten, die für die extremen Bedingungen an der Fassade geeignet sind, besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Aber auch generell ist das Vorantreiben der Forschung im Bereich der Pflanzeignung für die unterschiedlichen Begrünungssysteme wünschenswert. Zu berücksichtigen ist dabei das raue mitteleuropäische Klima, das von kalten Wintern bis trockenen Sommern gekennzeichnet ist, sowie die extremen Standortbedingungen der Fassade. Hierfür sollten weitere Vergleichswerte von geeigneten Pflanzenarten geschaffen werden.

Im Zuge dieser Masterarbeit stellte es sich als schwierig heraus, Vergleichswerte in der Literatur zur Bewertung der Biomasse für Fassadenbegrünungen zu finden. Da die Erhebung der Trockenmasse aber ein wichtiges Instrument zur Bewertung der Pflanzenentwicklung darstellt, kann durch weitere Forschung ein Orientierungswert geschaffen werden, der für die individuellen Pflanzenarten in einer Fassadenbegrünung die zu erwartende produzierte Biomasse angibt.

Um eine Eignung der Pflanzenarten nachhaltig feststellen zu können ist eine längere Versuchsdauer über mehrere Vegetationsperioden hinweg empfehlenswert. Gleiches gilt auch für die Forschung an der ressourcenschonenderen Bewässerung durch Grauwasser. Anhand des Vergleichs der beiden unterschiedlich bewässerten Schmuckwände lässt sich zwar nach zwei Jahren Versuchsdauer eine positive Bilanz für die Bewässerung mit Grauwasser ziehen, jedoch sollten weitere Forschungen die langfristigen Auswirkungen des Grauwassers auf die Pflanzenentwicklung ersichtlich machen.

Auch wenn im Bereich der vertikalen Pflanzenkläranlage noch erheblicher Forschungsbedarf besteht, konnte durch diese Masterarbeit ein Beitrag zu diesem Feld geleistet werden. So zeigten sich weitere Pflanzenarten als geeignete Arten in einer troggebundenen Fassadenbegrünung mit einer hohen Zufuhr an Grauwasser, die laut Literatur bisher nicht im Bereich der Grauwasserbewässerung getestet wurden. Inwiefern diese Arten zur Grauwasserreinigung beitragen, ist noch zu erforschen. Für den Einsatz als Zierpflanze in alternativ bewässerten Fassadenbegrünungen mit Grauwasser können diese Arten jedoch ein hohes Potenzial aufweisen.

Ein weiterer Forschungsbedarf ist im Bereich der Bewässerungssysteme festzustellen. Im Versuch zeigte sich, dass es zu unterschiedlichen Entwicklungen der Pflanzenarten innerhalb einer troggebundenen Versuchswand kam, was auf die ungleiche Verteilung des Wassers im System zurückzuführen ist. Eine gesteuerte Bewässerung mittels Bodenfeuchtesensoren könnte bedarfsorientiert die unterschiedlichen Klimabedingungen der Jahreszeiten ausgleichen und somit eine gleichmäßige Pflanzenentwicklung begünstigen. Diese wird bereits häufig für Fassadenbegrünungen eingesetzt. Wie sich die sensorgesteuerte Bewässerung in einer troggebundenen Fassadenbegrünung gerade in Kombination mit Grauwasser einsetzen lässt, sollte durch weitere Forschung getestet werden, um die Auswirkungen der erhöhten Biofilmentwicklung und Verstopfungsgefahr der Tröge auf die Sensoren ausreichend zu untersuchen.

Der positive Effekt von Fassadenbegrünungen auf das Kleinklima wurde bisher ausreichend in der Literatur belegt. Weiterer Forschungsbedarf besteht jedoch in der Erforschung der mikroklimatischen Wirkung der Pflanzenarten hinsichtlich ihrer Verdunstungskälte. In den meisten Studien wird dazu die Oberflächentemperatur der begrünter Wand im Vergleich zu der unbegrünter Wand erhoben oder anhand des Wasserüberschusses der Bewässerung errechnet, wieviel Wasser verdunstet wurde.

Gleichzeitig wurde herausgefunden, dass die Temperaturunterschiede je nach Pflanzenart variierten, was unter anderem auf dem Bedeckungsgrad der Pflanzen zurückzuführen ist. Um dieses Gebiet weiter zu erforschen, sollte anhand weiterer Messtechniken die Verdunstungsleistung der einzelnen Pflanzenarten untersucht werden, um einen Orientierungswert an zu erwartender Verdunstung bei bestimmter Bewässerungsmenge und Pflanzenart pro Quadratmeter angeben zu können.

Um das Nahrungsangebot in Städten durch Vertical Farming zu erweitern oder Urban Gardening an der Fassade für kleinere Haushalte voranzubringen, ist eine breit gefächerte Auswahl an Nutzpflanzen essentiell. Geeignete Nutzpflanzen für den Einsatz in einer troggebundenen Fassadenbegrünung haben sich durch bisherige Forschungen schon erwiesen, jedoch ist der Ernteertrag und die Vielfalt an Pflanzenarten noch ausbaufähig und zu erforschen. Dabei sind der Einsatz von Dünger und das Wuchsjahr wesentliche Einflussfaktoren auf den Ernteertrag, die in der Forschung zu berücksichtigen sind.

8 Zusammenfassung

Die Auswirkungen des Klimawandels in Bezug auf Städte und die steigende Bevölkerungsentwicklung im urbanen Raum erhöhen den Druck auf Trinkwasserressourcen und unbebaute Grünflächen. Umso mehr rückt die Fassadenbegrünung als platzsparendes Begrünungselement bei gleichzeitiger Nutzung alternativer Bewässerungsquellen in den Fokus. Diese trägt zur GI (Grünen Infrastruktur) von Städten bei und bietet verschiedene NBS (Nature Based Solutions) zur Integration in urbane Strukturen.

Im Zuge des Forschungsprojekts UVG 2.0 wurde diese Masterarbeit verfasst, die den Fokus auf troggebundene Begrünungssysteme legt, welche keinen Bodenanschluss benötigen und Möglichkeiten zur alternativen Bewässerung mit Grauwasser sowie zur Kultivierung von Nutzpflanzen eröffnen.

Ziel ist es im Zuge dieser Arbeit geeignete Pflanzenarten für ein troggebundenes Begrünungssystem zu finden, welches unterschiedlichen Bewässerungsszenarien hinsichtlich Wassermenge, Wasserart und Bewässerungsintervallen ausgesetzt ist. Außerdem wird die Eignung von Nutzpflanzen für das beschriebene System untersucht, sowie die generierte Verdunstungsfläche, die von den eingesetzten Pflanzenarten erzeugt werden konnte.

Geforscht wurde an einem troggebundenen Fassadenbegrünungssystem in Form von vier Einzelwänden, welche vier unterschiedlichen Bewässerungsszenarien ausgesetzt waren und damit unterschiedliche Standortbedingungen darstellten. Die troggebundene Fassadenbegrünung wird gebildet durch eine Trockenwand mit einer geringen Wasserzufuhr von Brunnenwasser, durch zwei Schmuckwände mit einem mittleren Wasserverbrauch von Brunnenwasser sowie Grauwasser und durch eine Reinigungswand mit einer hohen Wasserzufuhr von Grauwasser. Angepasst an die durch die Bewässerungsszenarien erzeugten Standorte wurde eine Pflanzwahl getroffen, die mit den Standortbedingungen zurechtkommen sollten.

Über die Erhebungen des Gesamteindrucks, des kubischen Volumen, der Biomasse, der Blattfläche und des Ernteertrags konnte sich der Beantwortung der Forschungsfragen genähert werden.

Aus den Erhebungen des Gesamteindrucks lässt sich feststellen, dass sich die Pflanzenarten in den Schmuckwänden mit den Bedingungen einer mittleren Wassermenge von Brunnenwasser oder Grauwasser am besten arrangierten. Dabei konnte bezüglich der unterschiedlichen Wasserquellen von Brunnenwasser und Grauwasser kein signifikanter Unterschied in der Pflanzenentwicklung festgestellt werden. Aber auch in der Reinigungswand zeigte sich, verglichen zur Trockenwand ein besseres Ergebnis im Gesamteindruck der Pflanzen. Das heißt, generell fiel die Bewertung der Pflanzenarten bei einer höheren Wassermenge zur Bewässerung positiver aus als bei einer niedrigen Bewässerungsmenge.

Für die Pflanzwahl in der Trockenwand lassen sich keine Positiven Bilanzen ziehen. Anhand des Gesamteindrucks können für eine Trockenwand nur fünf Arten bedingt empfohlen werden. Dazu zählen *Aster ageratoides* 'Asran', *Sedum telephium* 'Herbstfreude', *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie' und *Satureja montana* 'Citriodora'. Dabei wird für diese Arten ein längerer Beobachtungszeitraum empfohlen. Auch die Erhebungen der Biomasse verdeutlichen das geringe Wachstum der Pflanzenarten. Diese Ergebnisse zeigen, dass ein niedriges Bewässerungsszenario, wie es in der Trockenwand angewendet wurde, nicht für die ausgewählten zumeist trockenheitsresistenten Pflanzen geeignet ist. Die Fassade stellt einen Extremstandort dar, welcher die Pflanzenarten in gewisse Stresssituation hinsichtlich Hitze und geringem Wurzelraum versetzt. Demnach erfordert diese Begrünungsart eine ausreichende Bewässerung.

Für die Schmuckwände kann eine Pflanzempfehlung für 14 von 18 ausgewählten Arten gegeben werden. Für die frischen Standortbedingungen bei einer Bewässerung mit Brunnenwasser oder auch Grauwasser eigneten sich insbesondere Arten wie *Geranium wallichianum* 'Rozanne', *Iris barbata-nana* 'Path of Gold', *Heuchera x cultorum* 'Berry Smoothie', *Aster ageratoides* 'Asran', *Rudbeckia fulgida* 'Goldsturm', *Hemerocallis middendorffii* und *Salvia officinalis*. Damit erzielten typische Fassadenbegrünungspflanzen, die sich bisher laut Literatur bewährt haben, auch in den Schmuckwänden gute Ergebnisse. Dennoch fehlen für einige Arten wie *Aster*, *Rudbeckia* oder

Hemerocallis Vergleichswerte in der Literatur. Es besteht also noch weiterer Forschungsbedarf für eine breitere Auswahl an Pflanzenarten, die sich für eine troggebundene Fassadenbegrünung eignen.

Die Bedingungen der Reinigungswand und damit die hohe Wasserzufuhr von Grauwasser wirkten sich auf einen Teil der Pflanzen positiv hinsichtlich ihres Gesamteindrucks und der produzierten Biomasse aus, während ca. die Hälfte der Pflanzenarten weniger gut mit den Bedingungen zurechtkamen. Gut eigneten sich Arten wie *Sedum telephium* 'Herbstfreude', *Telypteris palustris*, *Lythrum salicaria*, *Eupatorium cannabinum*, *Mentha aquatica* und *Eriophorum vaginatum* für dieses System. Es fehlen jedoch Vergleichswerte in der Literatur für die Arten *Eupatorium cannabinum*, *Sedum telephium* 'Herbstfreude' und *Lythrum salicaria* für den Einsatz im Bereich der Grauwasserforschung. Aufgrund ihrer positiven Entwicklung in dem Feldversuch der Masterarbeit könnten sie jedoch interessant für weitere Untersuchungen mit Grauwasser sein, auch wenn dafür eine längere Versuchsdauer empfohlen wird.

Die produzierte Biomasse war insgesamt in der Reinigungswand am höchsten. Eine Erklärung dafür ist der durch das Grauwasser entstandene, vermutlich höhere Nährstoffgehalt im Substrat, welcher die Bodenfruchtbarkeit verbessert und das Pflanzenwachstum ankurbelt.

Hinsichtlich des ermittelten Ernteertrags ist zu erwähnen, dass sich die exponierten Bedingungen an der Fassade auch auf den Ertrag auswirkten und ein Vergleich zu herkömmlichen Erträgen in der Freifläche sich als schwierig erwies.

Bei dem Einsatz von Nutzpflanzen in einem troggebundenen Begrünungssystem ist mit Einschränkungen im Ertrag zu rechnen. Für trockene Verhältnisse eignete sich die Art *Saturjea montana* 'Citriodora' bedingt. Für frische Standorte mit einer Bewässerung durch Grauwasser oder Brunnenwasser eigneten sich die Arten *Fragaria x ananassa* und *Salvia officinalis* als Nutzpflanzen. Bedingt einsatzfähig für diesen Standort sind die Arten *Ribes rubrum* und *Allium schoenoprasum*. Die Nutzpflanze *Mentha aquatica* lässt sich gut in einer Reinigungswand mit einem hohen Wasserverbrauch an Grauwasser kultivieren. Auch die Bewässerung mit Grauwasser stellt ein mögliches Bewässerungsszenario für die Kultivierung von Nutzpflanzen dar. Das heißt, für einen Ein-Zweipersonenhaushalt kann der zu erwartende Ertrag in einer troggebundenen Fassadenbegrünung das Nahrungsangebot erweitern. Dazu fehlen jedoch weitreichende Vergleichswerte in der Literatur und auch im Allgemeinen ist die Eignung von Nutzpflanzen für eine troggebundene Fassadenbegrünung in weiteren Forschungen zu untersuchen.

Die Erhebungen der Blattfläche ergaben eine größere Gesamtblattfläche in der mit Grauwasser bewässerten Schmuckwand. Über die Verdunstungsleistung konnten anhand dieses Ergebnisses jedoch keine Rückschlüsse gezogen werden.

Generell ist eine längere Versuchsdauer zur weiteren Beobachtung der Pflanzenarten und deren langfristigen Reaktionen auf die Bewässerung zu empfehlen. Allein in diesem Feldversuch über zwei Jahre zeigte sich ein Unterschied in der Entwicklung der Pflanzen. Im Gegensatz zum ersten Versuchsjahr, fielen die Pflanzenarten hinsichtlich ihres Wachstums in der Trockenwand im zweiten Versuchsjahr deutlich schlechter aus. Während die Arten in der mit Grauwasser bewässerten Schmuckwand im zweiten Versuchsjahr einen Zuwachs verzeichnen konnten, das heißt sich an die Bedingungen angepasst haben.

9 Quellenverzeichnis

9.1 Literaturverzeichnis

- ALFIYA, Y., DAMTI, O., STOLER-KATZ, A., ZOUBI, A., SHAVIV, A. & FRIEDLER, E. (2012): Potential impacts of on-site greywater reuse in landscape irrigation. *Water Science and Technology*, 65, S. 757-764
- ALTHÖFER, P. (1996): Untersuchung der Fassadenbegrünung in Düsseldorf unter städtebaulichen und ökologischen Aspekten. unveröffentlichte Diplomarbeit, am Geographischen Institut der Universität Köln.
- AMA-AGRARMARKT AUSTRIA (2019): Getreideernte - Pressekonferenz 2019. Online: https://www.ama.at/getattachment/Allgemein/Presse/2019/Getreideernte-2019-Durchschnittliche-Erntemenge-mi/PK_Folien_2019.pptx?lang=de-AT. Letzter Zugriff: 17.04.2022.
- ANSARI, A. & LOOMIS, W. (1959): Leaf temperatures. *American Journal of Botany*, 46, S. 713-717
- ANTONI, M. (2021): Pflanzen für Living-Wall-Systeme mit unterschiedlichen Bewässerungsszenarien, sowie Grauwasserbewässerung und -reinigung. Master Thesis an der Universität für Bodenkultur Wien am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB).
- ASI. ÖNORM L1136 (2021): Vertikalbegrünung im Außenraum - Anforderungen an Planung, Ausführung. Wien: Austrian Standards Institute/ Österreichisches Normungsinstitut; 2010., S.
- AVERY, L. M., FRAZER-WILLIAMS, R. A. D., WINWARD, G., SHIRLEY-SMITH, C., LIU, S., MEMON, F. A. & JEFFERSON, B. (2007): Constructed wetlands for grey water treatment. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 7, S. 191-200
- BALLY, A. & BITTNER, K. Pflanzenkläranlagen-Die ökologische Alternative zur technischen Kleinkläranlage. Online: <http://www.bicon-ag.com/pflanzenklaeranlagen/BiCon-Klaeranlagen4.pdf>. Letzter Zugriff: 16.05.2022.
- BARRON, N. J., DELETIC, A., JUNG, J., FOWDAR, H., CHEN, Y. & HATT, B. E. (2019): Dual-mode stormwater-greywater biofilters: The impact of alternating water sources on treatment performance. *Water Research*, 159, S. 521-537
- BARTFELDER, F. & KÖHLER, M. (1987): Experimentelle Untersuchungen zur Funktion von Fassadenbegrünungen (Experimental investigations into the functioning of facade greening systems). Doctoral thesis, Freie Universität Berlin.
- BAŞDOĞAN, G. & ÇIĞ, A. (2016): Ecological-social-economical impacts of vertical gardens in the sustainable city model. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 26, S. 430-438
- BERARDI, U., GHAFARIANHOSEINI, A. & GHAFARIANHOSEINI, A. (2014): State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, S. 411-428
- BERGER, A. (2022): Vertical Urban Gardening - vertikaler Nutzpflanzenanbau im städtischen Kontext. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB).
- BEVILACQUA, P., COMA, J., PÉREZ, G., CHOCARRO, C., JUÁREZ, A., SOLÉ, C., DE SIMONE, M. & CABEZA, L. F. (2015): Plant cover and floristic composition effect on thermal behaviour of extensive green roofs. *Building and Environment*, 92, S. 305-316
- BGL-BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT & BLU-BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003): Das Schutzgut Boden in der Planung - Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren, München, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz und Bayerisches Geologisches Landesamt.
- BIRKBY, J. (2016): Vertical farming. *ATTRA sustainable agriculture*, S. 1-12
- BLANUSA, T., VAZ MONTEIRO, M. M., FANTOZZI, F., VYSINI, E., LI, Y. & CAMERON, R. W. F. (2013): Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'? *Building and Environment*, 59, S. 99-106
- BOANO, F., CARUSO, A., COSTAMAGNA, E., RIDOLFI, L., FIORE, S., DEMICHELIS, F., GALVÃO, A., PISOEIRO, J., RIZZO, A. & MASI, F. (2020): A review of nature-based solutions for greywater

- treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of the total environment*, 711, S. 6-14
- BOANO, F., COSTAMAGNA, E., CARUSO, A., FIORE, S., CHIAPPERO, M., GALVÃO, A., PISOEIRO, J., RIZZO, A. & MASI, F. (2021): Evaluation of the influence of filter medium composition on treatment performances in an open-air green wall fed with greywater. *Journal of Environmental Management*, 300, S. 1-8
- BOHNER, A. (2015): Zur Bedeutung von Zeigerpflanzen im Grünland. 20. Alpenländische Expertenforum, S. 39
- BOLUND, P. & HUNHAMMAR, S. (1999): Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, S. 293-301
- BOMME, U. (2001): Kulturanleitung für Pfefferminze. LfL-Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 4. grundlegend überarbeitete Auflage.
- BRUNE, M. (2016). Urban trees under climate change. Potential impacts of dry spells and heat waves in three German regions in the 2050s. Report 24, Climate Service Center Germany, Hamburg.
- BRUNE, M., BENDER, S. & GROTH, M. (2017): Gebäudebegrünung und Klimawandel: Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Climate Service Center Germany.
- BRUNEDER, M. (2020): Untersuchung der Eigenschaften von Substratkomponenten für Fassadenbegrünungen unter besonderer Berücksichtigung der Bewässerung mit Grauwasser und der ökologischen Verträglichkeit einzelner Bestandteile. Master Thesis an der Universität für Bodenkultur Wien am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB).
- BUCKLEY, T. N. (2019): How do stomata respond to water status? *New Phytologist*, 224, S. 21-36
- BUGG-BUNDESVERBAND GEBÄUDEGRÜN E.V. (2020): Grüne Innovation Fassadenbegrünung. Online: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Fassadenbegruenung/Innovation_Fassadenbegruenung_2020_09_30_kl.pdf. Letzter Zugriff: 09.06.2022.
- BUKEA-BEHÖRDE FÜR UMWELT KLIMA ENERGIE UND AGRARWIRTSCHAFT HAMBURG (2020): Handbuch grüne Wände. Online: <https://www.hamburg.de/contentblob/13871400/fab9561696501bf6902c7c48e86477d1/data/d-fassadenguide.pdf>. Letzter Zugriff: 18.05.2022.
- CAMERON, R. W. F., TAYLOR, J. E. & EMMETT, M. R. (2014): What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, 73, S. 198–207
- CAPUTO, L. Z., SIQUEIRA, C. S., CAPUTO, B. A., BACCHI, C. G., MAGALHÃES FILHO, F. J. & PAULO, P. L. (2019): Effects of graywater on the growth and survival of ornamental plants in nature-based systems. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 54, S. 1023-1034
- CARPENTER, S. (2014): *Growing Green Guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria Australia*. S. 86
- CARTER, T. & JACKSON, C. R. (2007): Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning*, 80, S. 84-94
- CHAROENKIT, S., YIEMWATTANA, S. & RACHAPRADIT, N. (2020): Plant characteristics and the potential for living walls to reduce temperatures and sequester carbon. *Energy and Buildings*, 225, S.
- CHENG, C., CHEUNG, K. K. & CHU, L. (2010): Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and environment*, 45, S. 1779-1787
- CHUNG, P.-W. (2020): The effects of rooting volume, greywater irrigation and reduced sunlight on climbing plants for indirect green façades in urban environments. PhD at the School of Ecosystem and Forest Sciences.
- CONVERTINO, F., VOX, G. & SCHETTINI, E. (2021): Evaluation of the cooling effect provided by a green façade as nature-based system for buildings. *Building and Environment*, 203, S. 1-14
- DAHANAYAKE, K. C., CHOW, C. L. & HOU, G. L. (2017): Selection of suitable plant species for energy efficient Vertical Greenery Systems (VGS). *Energy Procedia*, 142, S. 2473-2478
- DIERICH, A., SPECHT, K. & THOMAIER, S. (2017): Der Umweltnutzen von ZFarming. Potenzial. produktiv genutzter Dächer und Fassaden für Gebäudeklima, Stadtklima und Klimaschutz.

- Transforming Cities, 1, S. 83-87
- EC - EUROPEAN COMMISSION (2022): The EU and nature-based solutions. Online: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en. Letzter Zugriff: 20.05.2022.
- ERIKSSON, E., AUFFARTH, K., HENZE, M. & LEDIN, A. (2002): Characteristics of grey wastewater. *Urban water*, 4, S. 85-104
- FBB-FACHVEREINIGUNG BAUWERKSBEGRÜNUNG E.V. (2010): 3. FBB-Symposium Fassadenbegrünung 2010 - Vortragsreihe zu Themen der Fassadenbegrünung. Online: https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-symposien/Fassadenbegruenungssymposium/3_FBB-Fassadenbegruenungssymposium_2010.pdf. Letzter Zugriff: 09.06.2022.
- FLL (2018): Fassadenbegrünungsrichtlinien - Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau, S. 98-155
- FLOHR, S. (2010): Untersuchungen zum Fangvermögen von Mittel- und Feinstaub (PM10 und PM2.5) an ausgesuchten Pflanzenarten unter Berücksichtigung der morphologischen Beschaffenheit der Blatt- und Achsenoberflächen und der Einwirkung von Staubauflagen auf die Lichtreaktion der Photosynthese. Dissertation an der Universität Duisburg-Essen.
- FLORINETH, F. (2012): Pflanzen statt Beton: sichern und gestalten mit Pflanzen, Patzer Verlag.
- FOWDAR, H. S., HATT, B. E., BREEN, P., COOK, P. L. M. & DELETIC, A. (2017): Designing living walls for greywater treatment. *Water Research*, 110, S. 218-232
- FRANCIS, R. A. & LORIMER, J. (2011): Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*, 92, S. 1429-1437
- FRANCO, A., FERNÁNDEZ-CAÑERO, R., PÉREZ-URRESTARAZU, L. & VALERA, D. L. (2012): Wind tunnel analysis of artificial substrates used in active living walls for indoor environment conditioning in Mediterranean buildings. *Building and Environment*, 51, S. 370-378
- FREY, D., HOYOS, C. G. & STAHLBERG, D. (1988): *Angewandte Psychologie: Zur Eingrenzung und Beschreibung einer psychologischen Disziplin*, München, S. 363-271
- GHAFFARIANHOSEINI, A., TOOKEY, J., GHAFFARIANHOSEINI, A., YUSOFF, S. M. & HASSAN, N. B. (2016): State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review. *Desalination and Water Treatment*, 57, S. 95-104
- GHAITIDAK, D. M. & YADAV, K. D. (2013): Characteristics and treatment of greywater—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20, S. 2795-2809
- GÓMEZ-BAGGETHUN, E. & BARTON, D. N. (2013): Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, S. 235-245
- GORBACHEVSKAYA, O., SCHREITER, H. & KAPPIS, C. (2007): Wissenschaftlicher Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential von Pflanzen (qualitativ und quantitativ). *Ergebnisse der Literaturstudie. Berliner Geographische Arbeiten*, 109.
- GORGICH, M., MATA, T. M., MARTINS, A., CAETANO, N. S. & FORMIGO, N. (2020): Application of domestic greywater for irrigating agricultural products: A brief study. *Energy Reports*, 6, S. 811-817
- GRÄF, M., IMMITZER, M., HIETZ, P. & STANGL, R. (2021): Water-Stressed Plants Do Not Cool: Leaf Surface Temperature of Living Wall Plants under Drought Stress. *Sustainability*, 13, S. 3910
- GRAMMATIKOPOULOS, G. & MANETAS, Y. (1994): Direct absorption of water by hairy leaves of *Phlomis fruticosa* and its contribution to drought avoidance. *Botany*, 72, S. 1805-1811
- HAMETER (2022): Hameter Staudengärtnerei. Online: <https://www.hameter.at/>. Letzter Zugriff: 10.05.2022.
- HAND, M. S. (2002): *Klinische Diätetik für Kleintiere*, Schlütersche, S. 7.
- HANSEN, R., STAHL, F. & DUTHWEILER, S. (2016): *Die Stauden und ihre Lebensbereiche*, 6. Auflage. s.l.: Verlag Eugen Ulmer.
- HAUERT-HBG DÜNGER AG (2021): Die Bedeutung des Wassers für Pflanzen. Online: <https://www.hauert.com/ch-de/angebot/unternehmen/ratgeber/detail/die-bedeutung-des-wassers-fuer-pflanzen>. Letzter Zugriff: 25.04.2022.

- HOLLANDS, J. (2017): Entwicklung eines Modells zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und energetischen Auswirkungen Fassadengebundener Begrünungssysteme. Diploma Thesis, Technische Universität Wien.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer Geneva, Switzerland.
- KALTENBACH, F. (2008): Lebende Wände, vertikale Gärten–vom Blumentopf zur grünen Systemfassade. *DETAIL*, Zeitschrift für Architektur, 48, S. 1454-1466
- KAPLAN, R. (2001): The Nature of the View from Home: Psychological Benefits. *Environment and Behavior*, 33, S. 507-542
- KOB-STIFTUNG KOMPETENZZENTRUM OBSTBAU BODENSEE (2022): Die Bedeutung des Wassers für Pflanzen. Online: <https://www.kob-bavendorf.de/rote-johannisbeere.html>. Letzter Zugriff: 25.04.2022.
- KÖHLER, M. (2008): Green facades—a view back and some visions. *Urban ecosystems*, 11, S. 436
- KÖHLER, M. & ANSEL, W. (2012): Handbuch Bauwerksbegrünung: Planung, Konstruktion, Ausführung; [Dach, Fassade, Innenraum] mit 49 Tabellen, Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG.
- KORJENIC, A. (2013): Untersuchung des Mikroklimas in Innenhöfen in Abhängigkeit von der Begrünung, Wiener Umweltschutzabteilung - Bereich Räumliche Entwicklung; ÖkoKaufWien - Arbeitsgruppe 25 Grün- und Freiräume.
- KOWITT, B. (2018): Urban Agriculture Startup Gotham Greens Closes \$29 Million Round of Funding. *agritecture.com*. Online: <https://www.agritecture.com/blog/2018/6/21/urban-farming-company-gotham-greens-closes-29-million-round-of-funding>. Letzter Zugriff: 21.07.2021
- KUMMU, M., WARD, P. J., DE MOEL, H. & VARIS, O. (2010): Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. *Environmental Research Letters*, 5, S. 1-10
- LANGERGRABER, G., CASTELLAR, J. A. C., PUCHER, B., BAGANZ, G. F. M., MILOSEVIC, D., ANDREUCCI, M.-B., KEARNEY, K., PINEDA-MARTOS, R. & ATANASOVA, N. (2021): A Framework for Addressing Circularity Challenges in Cities with Nature-Based Solutions. *Water*, 13, S. 1-31
- LI, F., WICHMANN, K. & OTTERPOHL, R. (2009): Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of The Total Environment*, 407, S. 3439-3449
- LOH, S. (2008): Living walls—a way to green the built environment. *Environment Design Guide*, S. 1-7
- LÖSCHMANN, L. (2001). *Leben im begrünten Haus - eine Bürgerbefragung in Köln*. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Köln.
- MA 22 (Hrsg.) (2015): *Urban Heat Islands Strategieplan Wien*. Magistrat der Stadt Wien, Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22. Online: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/uhi-strategieplan.pdf>. Letzter Zugriff: 23.07.2021.
- MA 22 (Hrsg.) (2018): *Oberflächen Entwässerung - Leitfaden für die Bauplanung*. Magistratsdirektion - Geschäftsbereich Bauten und Technik. Online: https://www.wien.gv.at/wienatshop/Gast_bestellservice/Start.aspx?Artikel=272395. Letzter Zugriff: 22.03.2022.
- MA 22 (Hrsg.) (2019): *Leitfaden Fassadenbegrünung*. Wiener Umweltschutzabteilung - Bereich Räumliche Entwicklung; ÖkoKaufWien - Arbeitsgruppe 25 Grün- und Freiräume. Online: <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/fassadenbegruenung.html>. Letzter Zugriff: 22.03.2022.
- MANSO, M. & CASTRO-GOMES, J. (2015): Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, S. 863-871
- MARCHI, M., PULSELLI, R. M., MARCHETTINI, N., PULSELLI, F. M. & BASTIANONI, S. (2015): Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system. *Ecological Modelling*, 306, S. 46-56
- MERAL, A., BAŞARAN, N., YALCINALP, E., DOĞAN, E., AK, M. & EROGLU, E. (2018): A Comparative Approach to Artificial and Natural Green Walls According to Ecological Sustainability. *Sustainability*, 10, S. 1-16

- MONTEIRO, M. V., BLANUŠA, T., VERHOEF, A., HADLEY, P. & CAMERON, R. W. (2016): Relative importance of transpiration rate and leaf morphological traits for the regulation of leaf temperature. *Australian Journal of Botany*, 64, S. 32-44
- MZINI, L. L. (2013): The effects of greywater irrigation on vegetable crops and soil. Masterarbeit an der University of Cape Town Rondebosch.
- NADJAFI, F., MAHDAVI DAMGHANI, M., TABRIZI, L. & NEJAD EBRAHIMI, S. (2014): Effect of Biofertilizers on Growth, Yield and Essential Oil Content of Thyme (*Thymus vulgaris* L.) and Sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17, S. 237-250
- NAGLE, L., ECHOLS, S. & TAMMINGA, K. (2017): Food production on a living wall: Pilot study. *Journal of Green Building*, 12, S. 23-38
- NEHLS, T., RUMMEL, N., PETSCH, T. & SCHMAL, P. (2019): Biomass production in the city-productive vertical greening systems. *Geophysical Research Abstracts*, 21.
- NIEUWENHUIJSEN, M. J. (2021): Green infrastructure and health. *Annual Review of Public Health*, 42, S. 317-328
- NOLDE, E. (2000): Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings—over ten years experience in Berlin. *Urban water*, 1, S. 275-284
- OMIDBAIGI, R. (1998): Study on aspects of thyme production and processing of its active substances. *Pajouhesh-va-Sazandegi*, 36, S. 67-71
- OMIDBAIGI, R. & REZAEI NEJAD, A. (2000): The influence of nitrogen-fertilizer and harvest time on the productivity of *Thymus vulgaris* L. *International Journal of Horticultural Science*, 6, S. 43-46.
- OSTENDORF, M., RETZLAFF, B., THOMPSON, K., WOOLBRIGHT, M. & MORGAN, S. (2011): Storm water runoff from green retaining wall systems. *CitiesAlive - proceedings of the 9th annual green roof and wall conference*, 9, S. 1-15
- OULDBOUKHITINE, S.-E., SPOLEK, G. & BELARBI, R. (2014): Impact of plants transpiration, grey and clean water irrigation on the thermal resistance of green roofs. *Ecological Engineering*, 67, S. 60-66
- ÖWAV (2021): Nutzwassersysteme in Gebäuden mit Trinkwasserversorgung. ÖWAV ExpertInnenpapier des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Wien.
- PANZENBÖCK, F. (2021). Greywater treatment performance in living walls. Master Thesis an der Universität für Bodenkultur Wien am Institut für Water Management and Environmental Engineering.
- PEARLMUTTER, D., PUCHER, B., CALHEIROS, C. S. C., HOFFMANN, K. A., AICHER, A., PINHO, P., STRACQUALURSI, A., KOROLOVA, A., POBRIC, A., GALVÃO, A., TOKUÇ, A., BAS, B., THEOCHARI, D., MILOSEVIC, D., GIANCOLA, E., BERTINO, G., CASTELLAR, J. A. C., FLASZYNSKA, J., ONUR, M., MATEO, M. C., ANDREUCCI, M. B., MILOUSI, M., FONSECA, M., LONARDO, S. D., GEZIK, V., PITHA, U. & NEHLS, T. (2021): Closing Water Cycles in the Built Environment through Nature-Based Solutions: The Contribution of Vertical Greening Systems and Green Roofs. *Water*, 13, S. 1-33
- PEDESCOLL, A., SIDRACH-CARDONA, R., SÁNCHEZ, J. C. & BÉCARES, E. (2013): Evapotranspiration affecting redox conditions in horizontal constructed wetlands under Mediterranean climate: Influence of plant species. *Ecological Engineering*, 58, S. 335-343
- PÉREZ, G., COMA, J., BARRENECHE, C., DE GRACIA, A., URRESTARAZU, M., BURÉS, S. & CABEZA, L. F. (2016): Acoustic insulation capacity of Vertical Greenery Systems for buildings. *Applied Acoustics*, 110, S. 218-226
- PÉREZ-URRESTARAZU, L., FERNÁNDEZ-CAÑERO, R., FRANCO-SALAS, A. & EGEEA, G. (2015): Vertical greening systems and sustainable cities. *Journal of Urban Technology*, 22, S. 65-85
- PERINI, K., MAGLIOCCO, A. & GIULINI, S. (2017): Vertical greening systems evaporation measurements: does plant species influence cooling performances? *International Journal of Ventilation*, 16, S. 152-160
- PFOSER, N. (2016): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung. Dissertation an der Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt.

- PONWEISER, D. (2021): Einsatz von Nutzpflanzen bei Fassaden-und Dachbegrünung. Diplomarbeit am Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie an der Technischen Universität Wien.
- PRADHAN, S., AL-GHAMDI, S. G. & MACKEY, H. R. (2019): Greywater treatment by ornamental plants and media for an integrated green wall system. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 145, S. 1-9.
- PRASKAC (2022): Das Pflanzenland GmbH. Online: <https://www.praskac.at/de/shop/>. Letzter Zugriff: 25.02.2022.
- PRENNER, F., PUCHER, B., ZLUWA, I., PITHA, U. & LANGERGRABER, G. (2021): Rainwater Use for Vertical Greenery Systems: Development of a Conceptual Model for a Better Understanding of Processes and Influencing Factors. *Water*, 13, S. 2-18.
- PRODANOVIC, V., HATT, B., MCCARTHY, D. & DELETIC, A. (2020): Green wall height and design optimisation for effective greywater pollution treatment and reuse. *Journal of Environmental Management*, 261, S. 1-14.
- PRODANOVIC, V., MCCARTHY, D., HATT, B. & DELETIC, A. (2019): Designing green walls for greywater treatment: The role of plants and operational factors on nutrient removal. *Ecological engineering*, 130, S. 184-195.
- PUCHER, B. & LANGERGRABER, G. (2019): The state of the art of clogging in vertical flow wetlands. *Water*, 11, S. 1-27.
- PUCHER, B., ZLUWA, I., SPÖRL, P., PITHA, U. & LANGERGRABER, G. (o.J.): Evaluation of the multifunctionality of a vertical greening system using different irrigation strategies on cooling, plant development and greywater use. Under Review. Submitted at the Science of The Total Environment (unpublished), S. 1-39.
- PUGH, T. A. M., MACKENZIE, A. R., WHYATT, J. D. & HEWITT, C. N. (2012): Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environmental Science & Technology*, 46, S. 7692-7699.
- RABIN, J., ZINATI, G. & NITZSCHE, P. (2012): Yield expectations for mixed stand, Small-Scale Agriculture. *Sustainable Farming on Urban Fringe*, 7, S. 1-4.
- RADIĆ, M., BRKOVIĆ DODIG, M. & AUER, T. (2019): Green Facades and Living Walls—A Review Establishing the Classification of Construction Types and Mapping the Benefits. *Sustainability*, 11, S. 1-23.
- REINEKE, W. & SCHLÖMANN, M. (2020): Mikroorganismen an unterschiedlichen Standorten: Lebensbedingungen und Anpassungsstrategien. *Umweltmikrobiologie*. Springer Verlag.
- RIBEIRO, G. (2021). Grauwasserreinigung in fassadengebundenen Begrünungssystemen. Wien.
- RITTEL, K., BREDOW, L., WANKA, E. R., HOKEMA, D., SCHUPPE, G., WILKE, T., NOWAK, D. & HEILAND, S. (2014): Grün, natürlich, gesund: Die Potenziale multifunktionaler städtischer Räume, BfN Skripten 371, Bundesamt für Naturschutz Bonn Bad-Godesberg, S. 27-34
- RUSAN, M., MUNIR, J., HINNAWI, S. & ROUSAN, L. (2007): Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215, S. 143-152
- SAENGER, P. & SCHROEDER, F. G. (2019): Green city solutions – a new concept for greener cities and reduction of air pollution. *Acta Horticulturae*, 1266, S. 181-186
- SÁNCHEZ-RESÉNDIZ, J. A., RUIZ-GARCÍA, L., OLIVIERI, F. & VENTURA-RAMOS, E. (2018): Experimental assessment of the thermal behavior of a living wall system in semi-arid environments of central Mexico. *Energy and Buildings*, 174, S. 31-43.
- SCHLÖSSER, S. A. (2003): Zur Akzeptanz von Fassadenbegrünung: Meinungsbilder Kölner Bürger; eine Bevölkerungsbefragung. Dissertation an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln.
- SCHMAL, P. (2017): Facade greening for the production of biomass – an energy balance. Master Thesis am Institut für Ökologie, Fachgebiet Standortkunde und Bodenschutz der Technischen Universität Berlin.
- SCHMAUCK, S. (2019): Dach- und Fassadenbegrünung – neue Lebensräume im Siedlungsbereich: Fakten, Argumente und Empfehlungen. Bundesamt für Naturschutz, Außenstelle Leipzig, BfN Skripten 538, S. 35

- SCHMIDT, M. (2003): Energy saving strategies through the greening of buildings the example of the Institute of Physics of the Humboldt-University in Berlin-Adlershof, Germany. *Forest*, 29, S. 20-23
- SCHUBERT, W. (2014): 10 Jahre Erdbeersortenversuche unter ökologischen Anbaubedingungen in Bamberg. *Öko Obstbau*, 3.
- SCHULZE, E.-D., BECK, E. & MÜLLER-HOHENSTEIN, K. (2002): *Pflanzenökologie*, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- SLL-SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2002): Einfluss des Ernte- und Nachernteprozesses auf die Qualität ausgewählter Arzneidrogen als Beitrag zur Erschließung neuer Verwertungsmöglichkeiten. Das Lebensministerium, Zwischenbericht 2000-2001.
- SPEAK, A., ROTHWELL, J. J., LINDLEY, S. J. & SMITH, C. L. (2013): Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate*, 3, S. 40-55
- STAV, Y. (2016): Transfunctional living walls-designing living walls for environmental and social benefits. Bachelor Thesis at the Queensland University of Technology.
- STOCKER, O. (1956): Meßmethoden der Transpiration. In: ADRIANI, M. J., ASLYNG, H. C., BURSTRÖM, H., GEIGER, R., GESSNER, F., HÄRTEL, O., HUBER, B., HÜLSBRUCH, M., KALLE, K., KERN, H., KILLIAN, C., KISSER, J. G., KRAMER, P. J., LEMÉE, G., LEVITT, J., MEYER, B. S., MOTHESS, K., PISEK, A., RUTTNER, F., STÄLFELT, M. G., STILES, W., STOCKER, O., STOCKING, C. R., STRAKA, H., THORNTHWAITE, W. C., TROLL, C., ULLRICH, H. & VEIHMEYER, F. J. (Hrsg.) *Pflanze und Wasser / Water Relations of Plants*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- STROPPA, N., ONELLI, E., HEJNA, M., ROSSI, L., GAGLIARDI, A., BINI, L., BALDI, A. & MOSCATELLI, A. (2020): *Typha latifolia* and *Thelypteris palustris* behavior in a pilot system for the refinement of livestock wastewaters: A case of study. *Chemosphere*, 240, S. 1-14
- SUPARWOKO & TAUFANI, B. (2017): Urban Farming Construction Model on the Vertical Building Envelope to Support the Green Buildings Development in Sleman, Indonesia. *Procedia Engineering*, 171, S. 258-264
- THELEN-GERMANN, M. (2015): Entwicklung eines Bewertungsschemas zur Beurteilung krautiger Pflanzen bei vegetationstechnischen Aufnahmen. Master Thesis am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (IBLB) der Universität für Bodenkultur.
- THOMAIER, S., SPECHT, K., HENCKEL, D., DIERICH, A., SIEBERT, R., FREISINGER, U. B. & SAWICKA, M. (2015): Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30, S. 43-54
- THOMSIT-IRELAND, F., ESSAH, E. A., HADLEY, P. & BLANUŠA, T. (2020): The impact of green facades and vegetative cover on the temperature and relative humidity within model buildings. *Building and Environment*, 181, S. 1-11
- THÖNNESSEN, M. (2006): Staubfilterung und immissionshistorische Aspekte am Beispiel fassadenbegründenden Wilden Weines (*Parthenocissus tricuspidata*). *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*, 18, S. 12
- TIWARY, A., GODSMARK, K. & SMETHURST, J. (2018): Field evaluation of precipitation interception potential of green façades. *Ecological Engineering*, 122, S. 69-75
- TOMSON, M., KUMAR, P., BARWISE, Y., PEREZ, P., FOREHEAD, H., FRENCH, K., MORAWSKA, L. & WATTS, J. F. (2021): Green infrastructure for air quality improvement in street canyons. *Environment International*, 146, S. 1-20
- UEPA - US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY & C MICHAEL HOGAN (2012): Heat island. Washington DC, National Council of Science and Environment. Online: https://editors.eol.org/eoearth/wiki/Heat_island. Letzter Zugriff: 25.03.2022.
- ULRICH, R. (1984): View Through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Science* (New York, N.Y.), 224, S. 420-421
- USDA & NRCS (2022): The PLANTS Database. National Plant Data Team, Greensboro, NC USA. Online: <https://plants.usda.gov/home/plantProfile?symbol=BEVU2>. Letzter Zugriff: 25.02.2022.
- VAN DE WOUW, P. M. F., ROS, E. J. M. & BROUWERS, H. J. H. (2017): Precipitation collection and evapo(transpi)ration of living wall systems: A comparative study between a panel system and a planter box system. *Building and Environment*, 126, S. 221-237

- VAN HERZELE, A. & DE VRIES, S. (2012): Linking green space to health: A comparative study of two urban neighbourhoods in Ghent, Belgium. *Population and Environment*, 34, S. 171-193
- VIECCO, M., VERA, S., JORQUERA, H., BUSTAMANTE, W., GIRONÁS, J., DOBBS, C. & LEIVA, E. (2018): Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates. *Sustainability*, 10, S. 1-18
- VYMAZAL, J. (2013): Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. *Ecological Engineering*, 61, S. 582-592
- WALKER, R. & SCHENK, D. (2016): Optimierung der Evapotranspirations- und Kühlleistung extensiver Dachbegrünungen durch gezielte Nutzung von Grauwasser Abschlussbericht Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.
- WEERAKKODY, U., DOVER, J. W., MITCHELL, P. & REILING, K. (2017): Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27, S. 173-186
- WIMMER, R. (2006): 100 Liter am Tag. Der Wassertransport im Baum. *Zuschnitt 22*, proHolz Austria. Online: <https://www.proholz.at/zuschnitt/22/100-liter-am-tag>. Letzter Zugriff: 25.04.2022.
- WOLCOTT, S., MARTIN, P., GOLDDOWITZ, J. & SADEGHI, S. (2016): Performance of green wall treatment of brewery wastewater. *Environment Protection Engineering*, 42, S. 137-149
- ZAMG-ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2021): Phänosaison 2021. Online: https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/phaenospiegel/jahr/wien_hohe_warte/?jahr=2021. Letzter Zugriff: 28.09.2021.
- ZRAUNIG, A., ESTELRICH, M., GATTRINGER, H., KISSER, J., LANGERGRABER, G., RADTKE, M., RODRIGUEZ-RODA, I. & BUTTIGLIERI, G. (2019): Long term decentralized greywater treatment for water reuse purposes in a tourist facility by vertical ecosystem. *Ecological Engineering*, 138, S. 138-147

9.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lebensbereiche der Stauden (Quelle: Eigene Erstellung 2021, nach HANSEN et al. 2016) ...	25
Tabelle 2: Pflanzwahl Indikatorarten (Quelle: eigene Erstellung 2022)	26
Tabelle 3: Pflanzwahl für die Trockenwand (Wand 1) (Quelle: eigene Erstellung 2022).....	26
Tabelle 4: Pflanzwahl für die Schmuckwände (Wand 2 und 3) (Quelle: eigene Erstellung 2022).....	28
Tabelle 5: Pflanzwahl für die Reinigungswand (Wand 4) (Quelle: eigene Erstellung 2022)	29
Tabelle 6: Bewertungsschema krautige Pflanzen – Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (Quelle: eigene Erstellung 2021, nach IBLB o.J.).....	30
Tabelle 7: Bewertungsschema der Pflanzeignung nach Antoni 2021 (Eigene Erstellung 2021)	33
Tabelle 8: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude' (Quelle: eigene Erstellung 2021)	37
Tabelle 9: Erhebungen Blattfläche von <i>Sedum telephium</i> ,Herbstfreude' (Quelle: eigene Erstellung 2021)	38
Tabelle 10: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Geranium wallichianum</i> ,Rozanne' (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	40
Tabelle 11: Erhebungen der Blattfläche von <i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne' (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	41
Tabelle 12: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Iris pseudacorus</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	43
Tabelle 13: Erhebungen der Blattfläche von <i>Iris pseudacorus</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	44
Tabelle 14: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Achillea millefolium</i> 'Summer Pastels' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	47
Tabelle 15: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Echium amoenum</i> 'Red Feathers' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	48

Tabelle 16: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Asphodeline lutea</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	50
Tabelle 17: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Centranthus ruber</i> 'Coccineus' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	51
Tabelle 18: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Festuca cinerea</i> 'Silberreihler' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	52
Tabelle 19: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Thymus vulgaris</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	55
Tabelle 20: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen und Biomasse von <i>Helleborus foetidus</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	56
Tabelle 21: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen und Biomasse von <i>Satureja montana</i> 'Citriodora' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	58
Tabelle 22: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse <i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	59
Tabelle 23: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Ceratostigma plumbaginoides</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	61
Tabelle 24: Erhebungen der Blattfläche von <i>Ceratostigma plumbaginoides</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	61
Tabelle 25: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Aster ageratoides</i> 'Asran' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	64
Tabelle 26: Erhebungen der Blattfläche von <i>Aster ageratoides</i> 'Asran' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	65
Tabelle 27: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Iris barbata-nana</i> 'Path of Gold' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	66
Tabelle 28: Erhebungen der Blattfläche von <i>Iris barbata-nana</i> 'Path of Gold' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	67
Tabelle 29: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	69
Tabelle 30: Erhebungen der Blattfläche von <i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	70
Tabelle 31: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Salvia officinalis</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	72
Tabelle 32: Erhebungen der Blattfläche von <i>Salvia officinalis</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	73
Tabelle 33: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Bergenia cordifolia</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	74
Tabelle 34: Erhebungen der Blattfläche von <i>Bergenia cordifolia</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	75
Tabelle 35: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen und Biomasse von <i>Carex buchananii</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	78
Tabelle 36: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen und Biomasse von <i>Allium schoenoprasum</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	79
Tabelle 37: Erhebungen der Blattfläche von <i>Allium schoenoprasum</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	80
Tabelle 38: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Dryopteris filix-mas</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	82
Tabelle 39: Erhebungen der Blattfläche von <i>Dryopteris filix-mas</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	82
Tabelle 40: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	84
Tabelle 41: Erhebungen der Blattfläche von <i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	85

Tabelle 42: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Rosmarinus officinalis</i> ‘Miss Jesopp’s Upright’ (Quelle: eigene Erstellung 2021)	86
Tabelle 43: Erhebungen der Blattfläche von <i>Rosmarinus officinalis</i> ‘Miss Jesopp’s Upright’ (Quelle: eigene Erstellung 2021)	87
Tabelle 44: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Skimmia japonica</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	88
Tabelle 45: Erhebungen der Blattfläche von <i>Skimmia japonica</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	89
Tabelle 46: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Helleborus orientalis</i> ‘Red Hybrids’ (Quelle: eigene Erstellung 2021)	91
Tabelle 47: Erhebungen der Blattfläche von <i>Helleborus orientalis</i> ‘Red Hybrids’ (Quelle: eigene Erstellung 2021)	91
Tabelle 48: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Rudbeckia fulgida</i> ‘Goldsturm’ (Quelle: eigene Erstellung 2021)	93
Tabelle 49: Erhebungen der Blattfläche von <i>Rudbeckia fulgida</i> ‘Goldsturm’ (Quelle: eigene Erstellung 2021)	94
Tabelle 50: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Calamagrostis x acutiflora</i> ‘Karl Foerster’ (Quelle: eigene Erstellung 2021)	95
Tabelle 51: Erhebungen der Blattfläche von <i>Calamagrostis x acutiflora</i> ‘Karl Foerster’ (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	96
Tabelle 52: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen und Biomasse von <i>Hemerocallis middendorffii</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	97
Tabelle 53: Erhebungen der Blattfläche von <i>Hemerocallis middendorffii</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	98
Tabelle 54: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Valeriana officinalis</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	101
Tabelle 55: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Thelypteris palustris</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	103
Tabelle 56: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Eriophorum vaginatum</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	104
Tabelle 57: Erhebungen Gesamteindruck, kubisches Volumen, Biomasse von <i>Liriope muscari</i> ‘Ingwersen’ (Quelle: eigene Erstellung 2021)	106
Tabelle 58: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Eupatorium cannabinum</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	107
Tabelle 59: Erhebungen der Blattfläche von <i>Eupatorium cannabinum</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	108
Tabelle 60: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Lythrum salicaria</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	109
Tabelle 61: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Ophiopogon planiscapus</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	111
Tabelle 62: Erhebungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Caltha palustris</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	112
Tabelle 63: Entwicklungen Gesamteindruck, Volumen, Biomasse von <i>Carex grayi</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	114
Tabelle 64: Erhebungen der Blattfläche von <i>Carex grayi</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	114
Tabelle 65: Erhebungen Gesamteindruck und kubisches Volumen von <i>Typha minima</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	116
Tabelle 66: Erhebungen Gesamteindruck und kubisches Volumen von <i>Mentha aquatica</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	117

Tabelle 67: Pflanzeignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario A (Quelle: eigene Erstellung 2021)	119
Tabelle 68: Pflanzeignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario 2 und 3 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	120
Tabelle 69: Pflanzeignung für eine troggebundene Fassadenbegrünung mit Bewässerungsszenario D (Quelle: eigene Erstellung 2021)	121
Tabelle 70: Ernteertrag von <i>Satureja montana</i> 'Citriodora' (Quelle: Eigene Erstellung 2022).....	122
Tabelle 71: Ernteertrag von <i>Thymus vulgaris</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2022)	122
Tabelle 72: Ernteertrag von <i>Allium schoenoprasum</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2022)	123
Tabelle 73: Ernteertrag von <i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright' (Quelle: Eigene Erstellung 2022)	123
Tabelle 74: Ernteertrag von <i>Salvia officinalis</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2022)	123
Tabelle 75: Ernteertrag von <i>Mentha aquatica</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2022)	124
Tabelle 76: Ernteertrag von <i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess' (Quelle: eigene Erstellung 2022).....	124
Tabelle 77: Ernteertrag der Gehölze (Quelle: Eigene Erstellung 2022)	124
Tabelle 78: Erhebungen der Biomasse in Wand 1-4 (Quelle: eigene Erstellung)	130
Tabelle 79: Ausfall der Arten in den Versuchswänden (Quelle: Eigene Erstellung 2022).....	132
Tabelle 80: Umrechnung der Biomasse auf die Stückzahl der Pflanzen pro Versuchswand (Quelle: eigene Erstellung 2022)	132
Tabelle 81: Vergleich der erhobenen Daten zwischen Wand 2 und Wand 3 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	134
Tabelle 82: Erhebungen des frischen Ernteertrags der essbaren Pflanzenteile (Quelle: eigene Erstellung 2021)	136
Tabelle 83: Vergleich der erhobenen Blattfläche von Wand 2 und Wand 3 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	139

9.3 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Beispiel zur Errechnung der Blattfläche (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	34
Diagramm 2: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Sedum telephium</i> ‚Herbstfreude‘ (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	36
Diagramm 3: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Geranium wallichianum</i> 'Rozanne' (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	39
Diagramm 4: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Iris pseudacorus</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	42
Diagramm 5: Entwicklung des Gesamteindrucks der Indikatorarten (Quelle: Eigene Erstellung 2022) .	45
Diagramm 6: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Achillea millefolium</i> 'Summer Pastels' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	46
Diagramm 7: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Echium amoenum</i> 'Red Feathers' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	47
Diagramm 8: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Asphodeline lutea</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	49
Diagramm 9: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Centranthus ruber</i> 'Coccineus' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	50
Diagramm 10: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Festuca cinerea</i> 'Silberreier' (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	52
Diagramm 11: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Thymus vulgaris</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021)	54

Diagramm 12: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Helleborus foetidus</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	56
Diagramm 13: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Satureja montana</i> ‚Citriodora‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	57
Diagramm 14: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Euphorbia polychroma</i> ‚Bonfire‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	59
Diagramm 15: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Ceratostigma plumbaginoides</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	60
Diagramm 16: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Aster ageratoides</i> ‚Asran‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	63
Diagramm 17: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Iris barbata-nana</i> ‚Path of Gold‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	66
Diagramm 18: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Heuchera x cultorum</i> ‚Berry Smoothie‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	68
Diagramm 19: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Salvia officinalis</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	71
Diagramm 20: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Bergenia cordifolia</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	74
Diagramm 21: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Carex buchananii</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	77
Diagramm 22: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Allium schoenoprasum</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	79
Diagramm 23: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Dryopteris filix-mas</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	81
Diagramm 24: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Fragaria x ananassa</i> ‚Delikatess‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	83
Diagramm 25: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Rosmarinus officinalis</i> ‚Miss Jesopp’s Upright‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	85
Diagramm 26: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Skimmia japonica</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	87
Diagramm 27: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Helleborus orientalis</i> ‚Red Hybrids‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	90
Diagramm 28: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Rudbeckia fulgida</i> ‚Goldsturm‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	92
Diagramm 29: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Calamagrostis x acutiflora</i> ‚Karl Foerster‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	94
Diagramm 30: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Hemerocallis middendorffii</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	97
Diagramm 31: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Valeriana officinalis</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	100
Diagramm 32: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Thelypteris palustris</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	102
Diagramm 33: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Eriophorum vaginatum</i> (Quelle: eigene Erstellung).....	103
Diagramm 34: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Liriope muscari</i> ‚Ingwersen‘ (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	105
Diagramm 35: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Eupatorium cannabinum</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	106

Diagramm 36: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Lythrum salicaria</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	108
Diagramm 37: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Ophiopogon planiscapus</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	110
Diagramm 38: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Caltha palustris</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	111
Diagramm 39: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Carex grayi</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021) ..	113
Diagramm 40: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Typha minima</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	115
Diagramm 41: Entwicklung des Gesamteindrucks von <i>Mentha aquatica</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	116
Diagramm 42: Entwicklung des Gesamteindrucks aller Arten (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	125
Diagramm 43: Entwicklung des Gesamteindrucks Vergleich Trocken- und Schmuckwand (Quelle: Eigene Erstellung 2022).....	129

9.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit (Eigene Erstellung 2021).....	4
Abbildung 2: Abbildung der Versuchswände Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	22
Abbildung 3: Ansicht der troggebondenen Fassadenbegrünung UVG 2.0 (Quelle: ANTONI 2021).....	22
Abbildung 4: horizontales Durchflutungssystem (links), teil-vertikales Durchflutungssystem (rechts) (Quelle: PUCHER 2021).....	23
Abbildung 5: Messmethode kubisches Volumen (Quelle: Eigene Erstellung, 2022).....	31
Abbildung 6: Erhebung der Biomasse (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	31
Abbildung 7: Erhebung der Blattfläche von <i>Rudbeckia fulgida</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	32
Abbildung 8: Erhebung des Ernteertrags von <i>Fragaria x ananassa</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	32
Abbildung 9: Entwicklung <i>Sedum telephium</i> ‚Herbstfreude‘ in Wand 1 und Wand 4 (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	36
Abbildung 10: Entwicklung von <i>Geranium wallichianum</i> ‚Rozanne‘, Juli 2021, Wand 2 und Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	39
Abbildung 11: Entwicklung von <i>Iris pseudacorus</i> , April, Mai und Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	42
Abbildung 12: Entwicklung von <i>Achillea millefolium</i> ‚Summer Pastels‘ April, Mai und Juni 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	46
Abbildung 13: Entwicklung von <i>Echium amoenum</i> ‚Red Feathers‘, April, Mai, Juli 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	48
Abbildung 14: Entwickeln von <i>Asphodeline lutea</i> , April, Mai, August, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	49
Abbildung 15: Entwicklung von <i>Centranthus ruber</i> ‚Coccineus‘, Mai, Juli, August 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	51
Abbildung 16: Entwicklung von <i>Festuca cinerea</i> ‚Silberreihler‘, Mai, Juli, August 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	53
Abbildung 17: Entwicklung von <i>Thymus vulgaris</i> , Mai, Juli, August 2021, Wand 1 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	54
Abbildung 18: Entwicklung von <i>Helleborus foetidus</i> in der Trockenwand April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung).....	57
Abbildung 19: Entwicklung von <i>Satureja montana</i> ‚Citriodora‘ in der Trockenwand, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	58

Abbildung 20: Entwicklung von <i>Euphorbia polychroma</i> ‘Bonfire’ in der Trockenwand April, Mai, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung)	60
Abbildung 21: Entwicklung von <i>Ceratostigma plumbaginoides</i> in der Trockenwand, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	62
Abbildung 22: Entwicklung von <i>Aster ageratoides</i> in Wand 1 (links), Wand 2 (mitte), Wand 3 (rechts) Mai 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	64
Abbildung 23: Entwicklung von <i>Iris barbata nana</i> ‘Path of Gold’ in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung)	68
Abbildung 24: Entwicklung von <i>Heuchera x cultorum</i> ‘Berry Smoothie’ in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	69
Abbildung 25: Entwicklung von <i>Salvia officinalis</i> in der Trockenwand (links), Schmuckwand 2 (mitte), Schmuckwand 3 (rechts) Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	71
Abbildung 26: Entwicklung von <i>Bergenia cordifolia</i> in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	73
Abbildung 27: Entwicklung von <i>Carex buchananii</i> in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	77
Abbildung 28: Entwicklung von <i>Allium schoenoprasum</i> in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	80
Abbildung 29: Entwicklung von <i>Dryopteris filix-mas</i> in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	81
Abbildung 30: Entwicklung von <i>Fragaria x ananassa</i> ‘Delikatess’ in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	83
Abbildung 31: Entwicklung von <i>Thymus vulgaris</i> in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	86
Abbildung 32: Entwicklung von <i>Skimmia japonica</i> in den Schmuckwänden, April, Mai, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	88
Abbildung 33: Entwicklung von <i>Helleborus orientalis</i> in den Schmuckwänden, April, Mai, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	90
Abbildung 34: Entwicklung von <i>Rudbeckia fulgida</i> ‘Goldsturm’ in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	92
Abbildung 35: Entwicklung von <i>Calamagrostis x acutiflora</i> ‘Karl Foerster’ in den Schmuckwänden, April, Mai, Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	96
Abbildung 36: Entwicklung von <i>Hemerocallis middendorffii</i> in den Schmuckwänden, Mai, Juli, August 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	98
Abbildung 37: Vergleich Bewässerungsszenario B (Brunnenwasser) links und Szenario C (Grauwasser) rechts, Stand Juli 2021 (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	99
Abbildung 38: Entwicklung von <i>Valeriana officinalis</i> April, Mai, Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	100
Abbildung 39: Entwicklung von <i>Thelypteris palustis</i> April, Mai, Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	102
Abbildung 40: Entwicklung von <i>Eriophorum vaginatum</i> Mai, Juli, August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	104
Abbildung 41: Entwicklung von <i>Liriope muscari</i> im April, Mai und Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	105
Abbildung 42: Entwicklung von <i>Eupatorium cannabinum</i> April, Mai, August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	107
Abbildung 43: Entwicklung von <i>Lythrum salicaria</i> im Mai, Juli, August, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	109

Abbildung 44: Entwicklung von <i>Ophiopogon planiscapus</i> im Mai, Juli und August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021)	110
Abbildung 45: Entwicklung von <i>Caltha palustris</i> im April, Mai und Juli 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	112
Abbildung 46: Entwicklung von <i>Carex grayi</i> im Mai, Juli und August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	113
Abbildung 47: Entwicklung von <i>Typha minima</i> im Mai, Juli und August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	115
Abbildung 48: Entwicklung von <i>Mentha aquatica</i> im Mai, Juli und August 2021, Wand 4 (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	117
Abbildung 49: <i>Satureja montana</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	122
Abbildung 50: <i>Thymus vulgaris</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	122
Abbildung 51: <i>Allium schoenoprasum</i> (Quelle: eigene Erstellung 2021).....	123
Abbildung 52: <i>Rosmarinus officinalis</i> ‘Miss Jesopp’s Upright’	123
Abbildung 53: <i>Salvia officinalis</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	123
Abbildung 54: <i>Mentha aquatica</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2022)	124
Abbildung 55: <i>Fragaria x ananassa</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021)	124
Abbildung 56: Fruchtertrag <i>Malus</i> (Quelle: Eigene Erstellung 2021).....	124

9.5 Bildquellenverzeichnis

ANTONI, Maria (2021), Institut IBLB, Universität für Bodenkultur Wien
Abbildung: 3

BRAUNEGGER, Rebecca (2021): eigene Erstellung
Abbildung: Deckblatt

ZLUWA, Irene (2022), IBLB, Universität für Bodenkultur Wien
Abbildung: 4

10 Anhang

Wand 1 - Trockenwand									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	
W1	<i>Vitis vinifera</i>	<i>Daphne mezereum</i>	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Amelanchier</i>	<i>Beta vulgaris subsp. vulgaris</i>	<i>Ribes rubrum</i>	<i>Rubus fruticosus</i>		
W2	<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>	<i>Centranthus ruber</i> 'Coccinea'	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Achillea millefolium</i> 'Summer pastels'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'	<i>Echium ameonium</i> 'Red Feathers'	<i>Satureja montana</i> 'Citriodora'	
W3	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Festuca cinerea</i> 'Silberreihel'	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'	
W4	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Asphodeline lutea</i>	<i>Centranthus ruber</i> 'Coccinea'	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Thymus vulgaris</i>	
W5	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Satureja montana</i> 'Citriodora'	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Achillea millefolium</i> 'Summer pastels'	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Asphodeline lutea</i>	
W6	<i>Echium ameonium</i> 'Red Feathers'	<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>	<i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Satureja montana</i> 'Citriodora'	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Festuca cinerea</i> 'Silberreihel'	
W7	<i>Euphorbia polychroma</i> 'Bonfire'	<i>Achillea millefolium</i> 'Summer pastels'	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Asphodeline lutea</i>	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Centranthus ruber</i> 'Coccinea'	
W8	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Echium ameonium</i> 'Red Feathers'	<i>Festuca cinerea</i> 'Silberreihel'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Satureja montana</i> 'Citriodora'	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	
W9	<i>Festuca cinerea</i> 'Silberreihel'	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Achillea millefolium</i> 'Summer pastels'	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	
W10	<i>Asphodeline lutea</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Centranthus ruber</i> 'Coccinea'	<i>Ceratostigma plumbaginoides</i>	<i>Echium ameonium</i> 'Red Feathers'	

Bepflanzungsplan Wand 1 (Trockenwand) (Quelle: ANTONI 2021).

Wand 2 - Schmuckwand Brunnenwasser									
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	
W1			<i>Ribes nigrum</i>	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Malus</i>	<i>Eupatorium cannabinum</i>			
W2	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	<i>Helleborus x orientalis</i> 'Red Hybrids' <i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Skimmia japonica</i>	<i>Allium schoenophrasum</i>	
W3	<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Carex buchananii</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	<i>Helleborus x orientalis</i> 'Red Hybrids'	
W4	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Bergenia cordifolia</i>	
W5	<i>Carex buchananii</i>	<i>Skimmia japonica</i>	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Helleborus x orientalis</i> 'Red Hybrids'	<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	
W6	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Allium schoenophrasum</i>	<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'	
W7	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Carex buchananii</i>	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	
W8	<i>Helleborus x orientalis</i> 'Red Hybrids'	<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Skimmia japonica</i>	<i>Allium schoenophrasum</i>	<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	
W9	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Carex buchananii</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	
W10	<i>Allium schoenophrasum</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Skimmia japonica</i>	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Dryopteris filix-mas</i>	

Bepflanzungsplan Wand 2 (Schmuckwand Brunnenwasser) (Quelle: ANTONI 2021)

Wand 3 - Schmuckwand Grauwasser

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8
W1	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Ribes nigrum</i>	<i>Eupatorium cannabinum</i>	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Pyrus</i>	<i>Helleborus foetidus</i>	<i>Eupatorium cannabinum</i>
W2	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	<i>Helleborus x orientalis</i> 'Red Hybrids'	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Skimmia japonica</i>	<i>Allium schoenophrasum</i>
W3	<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Carex buchananii</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	<i>Helleborus x orientalis</i> 'Red Hybrids'
W4	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Bergenia cordifolia</i>
W5	<i>Carex buchananii</i>	<i>Skimmia japonica</i>	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Helleborus x orientalis</i> 'Red Hybrids'	<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'
W6	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Allium schoenophrasum</i>	<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'
W7	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Salvia officinalis</i>	<i>Carex buchananii</i>	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Rudbeckia fulgida</i> 'Goldsturm'
W8	<i>Helleborus x orientalis</i> 'Red Hybrids'	<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Skimmia japonica</i>	<i>Allium schoenophrasum</i>	<i>Hemerocallis middendorffii</i>	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Calamagrostis x acutiflora</i> 'Karl Foerster'
W9	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Carex buchananii</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	<i>Fragaria x ananassa</i> 'Delikatess'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'
W10	<i>Allium schoenophrasum</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i> 'Miss Jesopp's Upright'	<i>Heuchera x cultorum</i> 'Berry Smoothie'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Bergenia cordifolia</i>	<i>Skimmia japonica</i>	<i>Iris x barbata-nana</i> 'Path of Gold'	<i>Dryopteris filix-mas</i>

Bepflanzungsplan Wand 3 (Schmuckwand Grauwasser) (Quelle: ANTONI 2021)

Wand 4 - Reinigungswand

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
W1	<i>Typha minima</i>	<i>Eupatorium cannabinum</i>	<i>Typha minima</i>	<i>Eupatorium cannabinum</i>	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Typha minima</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Eupatorium cannabinum</i>	<i>Typha minima</i>
W2	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Caltha palustris</i>	<i>Carex grayi</i>	<i>Thelypteris palustris</i>	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'		
W3	<i>Caltha palustris</i>	<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Juncus effusus</i>	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Ophiopogon planiscapus</i> 'Black Dragon'	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'		
W4	<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>Vulgaris</i>	<i>Juncus effusus</i>	<i>Thelypteris palustris</i>	<i>Caltha palustris</i>	<i>Ophiopogon planiscapus</i> 'Black Dragon'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'		
W5	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Carex grayi</i>	<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'	<i>Valeriana officinalis</i>	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Juncus effusus</i>		
W6	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>Vulgaris</i>	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Caltha palustris</i>	<i>Carex grayi</i>	<i>Thelypteris palustris</i>		
W7	<i>Carex grayi</i>	<i>Caltha palustris</i>	<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Juncus effusus</i>	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Ophiopogon planiscapus</i> 'Black Dragon'		
W8	<i>Juncus effusus</i>	<i>Thelypteris palustris</i>	<i>Caltha palustris</i>	<i>Ophiopogon planiscapus</i> 'Black Dragon'	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	<i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>Vulgaris</i>	<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'		
W9	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Carex grayi</i>	<i>Liriope muscari</i> 'Ingwersen'	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Valeriana officinalis</i>	<i>Juncus effusus</i>	<i>Geranium wallichianum</i> 'Magical all Summer Blue'	
W10	<i>Typha minima</i>	<i>Mentha aquatica</i>	<i>Sedum telephium</i> 'Herbstfreude'	<i>Mentha aquatica</i>	<i>Typha minima</i>	<i>Mentha aquatica</i>	<i>Typha minima</i>		

11 Curriculum Vitae



REBECCA BRAUNEGGER B.Eng.



REBECCA.BRAUNEGGER@GMAIL.COM



+436706082300



PERSÖNLICHE DATEN

Adresse: Kreuzgasse 34/7,
1180 Wien
Geburtsdatum: 13.02.1993
Geburtsort: Kempten
Staatsbürgerschaft: Deutschland

FÄHIGKEITEN

Hardware Kenntnisse:
Microsoft Office: Word, Excel,
PowerPoint
Adobe Programme: Photoshop,
InDesign, Illustrator
Sonstige: AutoCAD, Vectorworks

BERUFSERFAHRUNG

SEIT APRIL 2021

Angestellte bei PlanSinn, Planung & Kommunikation
Bereich: Landschaftsarchitektur & Freiraumplanung, Objekt- und
Detailplanung

2019 - 2020

Beschäftigt bei Health Consult als Assistentin bei
Gesunduntersuchungen

2017 - 2019

Beschäftigt bei Silands Gresz+Kaiser Landschaftsarchitekten Ulm

2015 / 2016

Fünfmonatiges Praktikum bei RMP Stephan Lenzen
Landschaftsarchitektur

2010

Fünfwöchiges Sozialpraktikum in der Einrichtung für Menschen mit
Behinderung „Triform“ Hudson / New York

AUSBILDUNG

2018 - 2022

Universität für Bodenkultur Wien
Masterstudium: Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur

2013 - 2017

HfWU Nürtingen-Geislingen
Bachelorstudium: Landschaftsarchitektur

2008 - 2012

Freie Waldorfschule Ulm Römerplatz
Abschluss: Abitur

1999 - 2008

Freie Schule Albris (Kempten)

