



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

# WANDGEBUNDENE BEGRÜNUNGEN

## Quantifizierungen einer neuen Bauweise in der Klima-Architektur



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE  
**ZukunftBAU**



Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung







# Wandgebundene Begrünungen – Quantifizierungen einer neuen Bauweise in der Klima-Architektur

Endbericht

Januar 2015

Projekträger und Bewilligungsbehörde:  
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumordnung (BBSR) im  
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR),  
Deichmanns Aue 31-37, 53179 Bonn.

Zuwendung aus dem Bundeshaushalt für Forschungsprojekte im Rahmen der  
Forschungsinitiative „Zukunft Bau“.  
A2 II3-F20-12-1-037 / SWD-10.08.18.7-12.43

„Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren“.

## Impressum:

Hochschule Neubrandenburg,  
Brodaer Str. 2, Haus 2,  
D- 17033 Neubrandenburg.

## Autoren:

Prof. Dr. Manfred Köhler - [koehler@hs-nb.de](mailto:koehler@hs-nb.de)  
Dr. Cristian Rares Nistor, Hochschule Neubrandenburg - [nistor@hs-nb.de](mailto:nistor@hs-nb.de)

## Mitarbeit:

Daniel Kaiser, Hochschule Neubrandenburg [dkaiser@hs-nb.de](mailto:dkaiser@hs-nb.de)  
Prof. Dr. Winfried Malorny, Hochschule Wismar [winfried.malorny@hs-wismar.de](mailto:winfried.malorny@hs-wismar.de)>  
Yvonne Menzel, Hochschule Wismar [yvonne.menzel@hs-wismar.de](mailto:yvonne.menzel@hs-wismar.de)

**Projektlaufzeit:** 01.12.2012 - 30.11.2014

**FLL-Schriftenreihe „Forschungsvorhaben“, FV 2015/01**

## FLL Impressum

FLL

# Inhaltsverzeichnis

Seite

0	Danksagung	
1	Fragestellung/Einleitung	11
2	Arbeitspakete im Rahmen des Projektes	15
2.1	Tests von Geovliesen/Dämmstoffen/Trägermaterialien	15
2.2.1	Möglichkeiten weiterer Untersuchungsmethoden und einschlägige Untersuchungsvorschriften	18
2.2.2	Bisherige Ergebnisse der Materialtests und der Bauphysik	19
2.2.3	Brandverhalten	22
2.2.4	Künstliche Bewitterung	26
2.3	Tests von Substraten bei den WB	26
2.3.1	Korngrößenuntersuchung von Substraten	27
2.4	Geschwindigkeit der Wasserinfiltration der untersuchten Substrate	29
2.5	Elektrische Leitfähigkeit und pH-Werte	31
2.6	Lichtversorgung an den Untersuchungsfassaden	31
2.7	Wasserverbrauch für WB	32
2.8	Wasserverbrauch Innenwand	35
2.9	Klimamessungen	37
2.9.1	Klima/Witterung	37
2.9.2	Witterung/Klima 2012	41
2.9.3	Klima/Witterung 2013	41
2.9.4	Klima/Witterung 2014	41
2.9.5	Konzept der klimatischen Messungen an den Wandbegrünungen	41
2.9.6	Klimatische Messungen im Untersuchungszeitraum 2013/2014	45
2.9.6.1	Vergleich zwischen der Dach-Referenzstation und dem Log 32 Datenlogger auf dem Dach	45
2.9.7	Messungen im Winter 2014	51
2.9.7.1	Messungen am Vivagrün Modul – Nordfassade im Frühjahr 2014	52
2.9.7.2	Messungen am Sempergreen Modul – Nordfassade im Frühjahr 2014	58
2.9.7.3	Messungen am Sempergreen Modul – Südfassade im Frühjahr 2014	63
2.9.7.4	Messungen am 90 DeGreen Modul – Nordfassade im Sommer 2013	68
2.9.7.5	Messungen am Vivagrün Modul (Vorne und Hinten) – Nordfassade im Sommer 2013	70
2.10	Infrarot-Temperaturmessungen ausgewählter Tage	73

3	Die Testinstallationen in Neubrandenburg	82
3.1	Technische Daten der WB	85
3.2	Pflanzenverwendung	86
3.2.1	Methodik zur Pflanzenerfassung	90
3.2.2	Ergebnisse zur Pflanzenentwicklung auf den getesteten WB	91
3.3	Erfahrungen zur Pflanzenauswahl an WB in Neubrandenburg	92
3.3.1	Gabionentyp	96
3.3.2	Begrünungen des Typs „Kleine Kübel	101
3.3.3	Flächenhafte Vertikalbegrünung	104
3.3.3.1	WB A, „Metallkassetten auf Regalrahmen“	104
3.3.3.2	WB B, Vertikalmodule mit „Aluminiumkassetten“	109
3.3.3.3	WB C, Vertikalmodule mit „Steinwollekissen“	116
3.3.3.4	WB D, Vertikalmodule mit „flächiger Steinwollebedeckung“	124
3.3.3.5	WB E, Vertikalmodule auf Basis von „Steinwolle“	127
3.3.4	WB als Geovlies-Bauweise	129
3.3.5	WB für die Innenraumbegrünung	132
3.4	Zusammenfassende Übersichten der erfolgreichsten Pflanzenarten im Test	135
4	LifeCycle (LCA) Analysen	144
4.1	Bedeutung der LifeCycle Analyse	144
4.2	Durchführung der LCA – Analyse	146
5	Entwicklung eines Entscheidungsbaumes für WB	164
5.1	Kosten/Lebensdauer	166
5.1.1	Kosten der Bewässerungsanlagen bei WB	167
5.2	Erreichbarkeit der WB für Pflege und Wartung	168
5.3	Pflege	169
5.4	Entscheidungsbaum bei der Auswahl des geeigneten vertikalen Begrünungstyps	172
5.5	Vergleich WB, Fassadenbegrünung, Jalousien	175
6	Chancen zur Vertikalbegrünung	180
6.1	Zusammenfassung und Ausblick	183
6.2	Summary	184
7	Anhang	187
	Literatur-, Quellenverzeichnis	187
	Abbildungs-, Tabellenverzeichnis	192
	Ergänzende Abbildungen und Tabellen	200



## 0 Danksagung

Die hier vorgelegte Arbeit konnte in dieser Form nur Dank vielfältiger Unterstützer realisiert werden.

Die Hochschulverwaltung der Hochschule Neubrandenburg war auch bei diesem Vorhaben sehr kooperativ und unterstützte bei der Vorbereitung und der administrativen Durchführung vorbildlich.

Das Forschungsvorhaben wurde durch eine hochschulinterne Arbeitsgruppe vorbereitet und im weiteren Verlauf für die bauphysikalischen Fragestellungen durch einen Werkvertrag an die HS Wismar, Arbeitsgruppe Prof. Dr. W. Malorny, im Jahr 2013 unterstützt.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) finanzierte im Vorfeld für Cristian Rares im Jahr 2011 einen einjährigen Forschungsaufenthalt an der Hochschule Neubrandenburg. In dieser Zeit konnten erste Grundlagen für das Forschungsfeld „Wandbegrünung“ gelegt werden. Cristian Rares konnte seine Dissertation im Zuge des Vorhabens im Dezember 2013 erfolgreich abschließen.

Dank auch an die FLL, die dieses Vorhaben vorbildlich begleitete und den Abschlussbericht in ihre neue Reihe „Wissenschaft“ aufnimmt.

Auch die Unterstützung durch die Beiratsmitglieder war jederzeit hilfreich.

Eine Reihe von Firmen stellten Testmaterialien zur Verfügung, ohne die diese Untersuchungen nicht in der beschriebenen Form möglich gewesen wären.

## Beiratsmitglieder:

**Frau Brigitte Reichmann**, Technische Referentin in der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Abteilung ZF-Ministerielle Grundsatzangelegenheiten  
Arbeitsgebiet: Grundsatzangelegenheiten der Ökologie im Bauwesen, Ökologische Gebäudekonzepte, Stadtökologische Modellvorhaben

**Frau Dr. Julia von Werder**, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Hochschule Wismar, in Vertretung für Prof. Dr. Helmuth Venzmer, Fachgebiet Physik und technische Mechanik; Bautenschutz.

**Dr. Gunter Mann**, Präsident Fachvereinigung Bauwerksbegrünung, FBB; Saarbrücken, sowie Marketingleiter Firma Optigrün International, Krauchenwies.  
Stellvertreter: Martin Küster, Berlin.

### Kooperationspartner:

**Francois Lassalle**, Leiter für Forschung und Entwicklung der Abteilung Sopranature, Vivagreen, Soprema, Strasbourg,

**Artur Akira Andrade**, Firma Sempergreen, SempergreenVertical Systems, NL-3700 AZ Zeist  
The Netherlands, Büro Berlin

**Klaasjan Lautenbach**, Firma Cultilene, St. Gobain, Niederlande, Zeusstraat 2 . 5048 CA Tilburg, P: PO-box 10190 . 5000 JD Tilburg . The Netherlands

Vertreter des Projektträgers:

**Dr. Michael Brüggemann**, Fraunhofer, Informationszentrum Raum und Bau, BBR/Zukunft Bau, Deichmanns Aue 31-37, Bonn.

## Unterstützer:



<http://www.atka.de/>



Ihr Partner für natürliche Baustoffe

<http://www.dispo-online.de/baumsubstrate.html>



<http://www.ecorain.de/>



<http://www.recticel.com/>



[http://www.aquaresintechnologies.com/en/resins\\_agro\\_b.v./fytofoam/](http://www.aquaresintechnologies.com/en/resins_agro_b.v./fytofoam/)



<http://www.schadenberg-hem.nl/index2.php?do=pagina&cid=6>



un Jardin sur votre toit

<http://www.vertandvert.com/>



<http://www.optigruen.de/Systemloesungen/Fassadengarten.html>



<http://www.sempergreenvertical.com/>



<http://www.vertiko-gmbh.de/index.php>



<http://www.vertiss.de/>



<http://www.wmeurope.com>

Lieferant von Bausteinen der Bewässerungsanlage



<http://zeobon.de/hp1/Dachbegruenung.htm>



<http://www.90degree.com/>



<http://www.soprema.fr/metiers/produit/1497/278440/SOPRANATURE-VIVAGREEN->



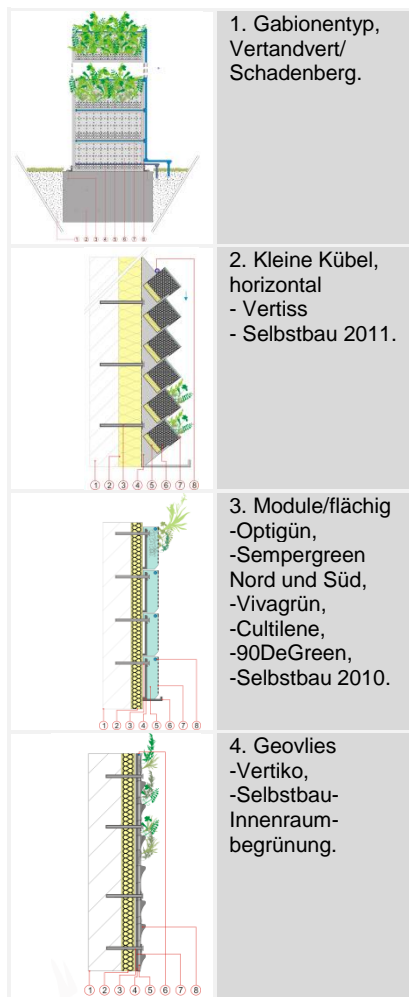
<http://www.uni-greifswald.de/~sphagnumfarming/>

# 1 Fragestellung/Einleitung

# 1 Fragestellung/Einleitung

Im Rahmen dieses Projektes werden die in Europa angebotenen Begrünungssysteme in vier Kategorien eingeteilt.

Abb. 1.1: Charakterisierung der im Test befindlichen WB.



„Living Walls“ oder „vertikale Gärten“ werden im FLL-Arbeitskreis Fassadenbegrünung seit 2013 als „Wandgebundene Begrünungen“ bezeichnet. Das Wort „Wand“ umfasst mehr vertikale Strukturen als der bisher bevorzugte Begriff „Fassade“, der sich definitorisch auf eine Auswahl von Außenmauern beschränkt. Mit dem Wort „Begrünungssysteme“ sind in der Regel Firmen – Systemlösungen beschrieben. Die hier verwendete Bezeichnung „Begrünungen“ soll auf wesentliche Merkmale von Bauweisen unabhängig von Firmen fokussieren (siehe Abb. 1.1). Der in diesem Bericht verwendete Begriff „Wandgebundene Begrünungen“ wird durchgängig verwendet und der Einfachheit halber mit „WB“ abgekürzt.

WB sind seit wenigen Jahren ein neues Arbeitsfeld innerhalb der Gebäudebegrünung. Außerhalb Europas, vor allem in den Megacities Asiens mit beschränktem ebenerdigen Grünanteil, sind bereits viele Beispiele realisiert. Die dort verwandten bautechnischen Anforderungen entsprechen aus vielerlei Gründen nicht in jedem Fall europäischen Anforderungen. Tropisches, subtropisches, aber zumindest frostfreies Klima macht es sehr viel leichter, WB über den kompletten Jahresverlauf gut aussehen zu lassen.

Das Interesse an dieser Technik ist auch in Europa bei Architekten jetzt recht groß (vgl. Francis u. Lorimer, 2011, Pfoser et al., 2013, Köhler et al., 2012). Dem endgültigen Siegeszug dieser Begrünungstechnik auf dem europäischen Markt steht noch ein geringes Wissen über die längerfristige Haltbarkeit, zur Quantifizierung der Vorteile sowie zu einigen Details in der Bauweise entgegen. Diese Lücke soll mit diesem Forschungsprojekt geschlossen werden. Wesentliche Arbeitsergebnisse dieses Projektes fließen in den Regelwerksausschuss „Wandgebundene Begrünungen“ der FLL ein.

Teile dieser Arbeit sind auf Fassadenseminaren der FBB in Frankfurt (September 2013) und in Berlin (Oktober 2014) der Fachöffentlichkeit vorgestellt worden.

Nach Pitha et al. (2013) und Pfoser et al. (2013, 2014) sind eine Vielzahl von Varianten zwischen WB und klassischen Kletterpflanzenbegrünungen möglich. Der Phantasie von Architekten stehen nur die Restriktionen bei der Technik, den Beschränkungen bei der lokal möglichen Pflanzenauswahl und der sicheren Installation zur Erreichbarkeit für die regelmäßige Pflege entgegen.



An der Hochschule Neubrandenburg werden seit 2010 Untersuchungen an Begrünungsmodulen durchgeführt, diese sind kontinuierlich, vor allem mit der Unterstützung zahlreicher Firmen ausgebaut worden. Im Rahmen dieser Projektförderung sind weitere Module der Firmen Sopranature Modulname „Vivagreen“ schon im November 2011 als Modulsatz geliefert, von der Firma Saint Gobain das System „Cultilene“, sowie von der Firma Sempergreen eine weitere Installation an der Südfassade (Frühjahr 2013) ergänzt worden. Im nachfolgenden Text kann auf die Erfahrungen mit ersten selbstgebauten WB seit 2010 zurückgeblendet werden. Die gelieferten Systeme sind zunächst nach den Vorgaben der einzelnen Lieferanten bepflanzt worden. Bei erforderlicher Ergänzung der Pflanzen wurde in der Regel auf Arten zurückgegriffen, die sich bereits für den Standort Neubrandenburg in den weiteren WB bewährten. Bei einer letzten Nachpflanzung im Herbst 2014 wurden einige Arten ausgewählt, die sich in einer regionalen Baumschule besonders bewährt hatten, siehe Ergänzungen in der Tab. 3.42.

Da WB auch für die Innenraumbegrünung eine wichtige Rolle spielen, werden hier aus den eigenen Arbeiten auch Erfahrungen mit einem Innenmodul eingearbeitet, die auf der Masterarbeit von Kaiser (2013) beruhen und parallel zum Projektverlauf durch Kuievda (2015) fortgeführt wurden.

Im Zuwendungs schreiben zu diesem Projekt wurden einige Punkte genannt, die im Rahmen dieses Vorhabens bearbeitet wurden, etwa:

- Substrate und deren längerfristige Eignung,
- Benennung des Bewässerungsbedarfs,
- Dichte des Bewuchs und besonders geeignete Pflanzenarten,
- Abschätzung zur Haltbarkeit von Einzelkomponenten,
- Gesamtbeurteilung/Empfehlungen zum Life-Cycle der WB.

Die Arbeitsschritte folgten dem im Ablaufplan „Arbeitspakete und Meilensteine“, siehe Abb. A1 (im Anhang) beschriebenen Vorgehen. Die Arbeit wurde auf zwei Beiratssitzungen im Februar und im Oktober 2013 fachlich unterstützt. Als eine Empfehlung resultierte hieraus die Entwicklung eines Entscheidungsbaumes, bzw. Checkliste für die Auswahl der passenden objektbezogenen Begrünung. Das Messprogramm wurde für das zweite Untersuchungsjahr auf eine Wand konzentriert, um eine Feinabstufung des Temperaturgradienten zu erzielen.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen sind dokumentiert, es wird der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt, der allerdings jetzt die Aufgabe von entsprechend zertifizierten Prüflaboren darstellt. Hier sei auf die nur angerissene Beantwortung der Fragestellung nach der möglichen Brandlast hingewiesen. Aus der hier vorgestellten Diskussion wird deutlich, dass es sich hierbei nur um eine kleine Gefahr handelt, die aber mit dieser Ausführung noch nicht abschließend aufgearbeitet ist.

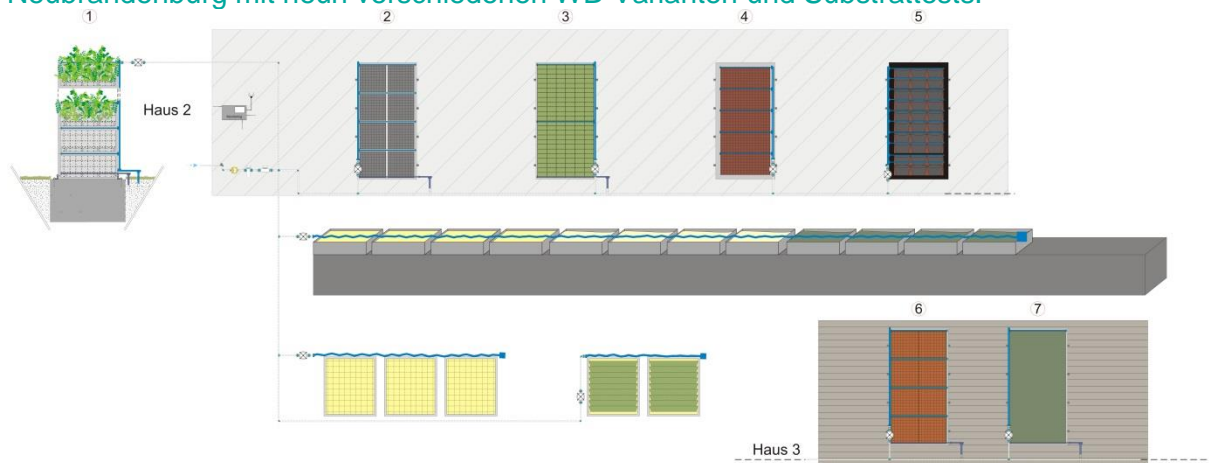
Die Life Cycle Analyse hat interessante Detailaussagen zum energetischen Verbrauch der verschiedenen WB geliefert. Auch diese Ergebnisse können Entscheidungsträger bei der Auswahl der Begrünungsform helfen.

Aufbauend auf die Empfehlungsliste zu geeigneten Pflanzenarten, die in Pfoser et al., 2014 abgedruckt ist, sind in diesem Bericht die eigenen Ergebnisse zum Pflanzenwuchs aus dem eigenen Untersuchungszeitraum ausgewertet worden (Tab. 3.42). Während der Winter 2012/2013 extrem kalt war, bot auch der Winter 2013/2014 mindestens eine Woche Temperaturen unter – 10 Grad. Es waren zwar unterschiedlich kalte aber doch typische Wintersituation in beiden Jahren auszuwerten, die Rückschlüsse für die weiteren Jahre erlauben.

In der Abb. 1.1 sind die vier wesentlichen Bauweisen für WB skizziert. Aus diesen Prinzipien sind die Varianten für den in der Abb. 1.2 dargestellten Versuchsaufbau ausgewählt worden. Neben diesen Wandinstallationen an zwei Hochschulgebäuden, gibt es flach aufgebaute Module für ergänzende Substrattests. Es zeigte sich über den

Versuchsverlauf, dass vom Grundsatz her weitere interessante Substrate für die WB in Frage kommen, diese Liste lässt sich ständig ergänzen. Hier seien stellvertretend Braunkohletorf und Kieselgur erwähnt, als Produkte für die im Rahmen des Vorhabens ebenfalls Alterungs- und Verdunstungstests in einem Außen-, und einem Labortest durchgeführt wurden.

Abb. 1.2: Vereinfachte Darstellung des Versuchsaufbaus an der Hochschule Neubrandenburg mit neun verschiedenen WB-Varianten und Substrattests.



Im Versuchszeitraum sind weitere Forschungsstandorte mit WB eingerichtet worden, etwa in Wien (Österreich), La Rochelle (Frankreich), Frankfurt (Deutschland), Lleida (Spanien), Sheffield sowie Stoke-on-Trent (beide UK). Außerhalb Europas sind als Versuchsstandorte Vancouver, Hongkong und Singapur hervorzuheben. Die Versuche in Singapur, Wien und in Frankfurt sind bereits wieder abgebaut. Es bleibt zu hoffen, dass die langfristige Eignung sowie die synergistische Verknüpfung der verschiedenen Vorteile von WB in Folgeprojekten für das Baugeschehen in den unterschiedlichen Klimaregionen Europas in Folgevorhaben bearbeitet werden.

Im Zeitraum dieses Forschungsvorhabens sind neue Erkenntnisse zur energetischen Wirkung von WB vor; siehe Perez et al. (2014) und Cameron et al. (2014), zum Life Cycle ist die Studie von Feng u. Hewage (2014) publiziert worden. Für die Interpretation der eigenen Ergebnisse standen hiervon jeweils Vorabzüge zur Verfügung.

Im vorliegenden Bericht werden die eigenen Untersuchungen im Detail vorgestellt – das kann eine Forschungslücke für den nordostdeutschen Raum schließen.

Die Verallgemeinerung der Kenntnisse für die verschiedenen Klimazonen in Europa sowie die Analyse weiterer Bauweisen (Abb.1.3), etwa die Beschäftigung mit „erdelose“ WB auf porösen Oberflächen eröffnet noch Fragestellungen.

Dieser Bericht liefert Praxiserfahrungen mit dem Pflege- und Wartungsaufwand der getesteten Varianten. Eine weitere Reduzierung von Pflege und Wartung wird ebenso wie die Fertigstellung des in Aussicht gestellten Regelwerkes der FLL zu Wandbegrünung dieser neuen Form der Gebäudebegrünung sicherlich noch einen weiteren Verbreitungsschub liefern.

Abb. 1.3: Beispiel eines neuen europäischen WB-Materials. Es ist eine Zusammensetzung aus einer Kokosmatte als Trägerschicht, einem Geovlies zur Wasserspeicherung und der gleichmäßigen Wasserverteilung, sowie einem weiteren, stabilen Trägervlieses, in das die Tropfschläuche eingelassen sind. EAME Huntsman-Polyurethanes EBDT Commercial Everslaan 45 B-3078 Everberg – Belgium.



## **2 Arbeitspakete im Rahmen des Projekt**

## 2 Arbeitspakete im Rahmen des Projektes

### 2.1 Tests von Geovliesen/Dämmstoffen/Trägermaterialien

Die in den Tests untersuchten Pflanzmaterialien gehören zu den Gruppen „Geovliese“, „Dämmstoffe“ sowie „Substrate“. Kunststoffe sind aktuell für vertikal zu montierende Pflanzboxen weit verbreitet. Diese sind aus sehr unterschiedlichen chemischen Verbindungen, meist auf der Basis petrochemischer Produkte, aufgebaut. Aus dieser Gruppe stand ein Produkt für den Test bereit. Für Kunststoffe sprechen vor allem, das geringe Gewicht, die leichte Verarbeitbarkeit und bei hohen Stückzahlen der geringe Preis. Die richtige Auswahl des verwendeten Kunststoffgranulates ist bei der Frage der UV-Beständigkeit, der Reduktion der möglichen Brandlast und der ausreichenden Haltbarkeit entscheidend.

Metalle, die als Regal oder Trägerkonstruktion vielfach verwendet werden sind eine weitere essentielle Stoffgruppe von WB, im Rahmen der Life Cycle Analyse wird hierauf eingegangen.

In der Tab. 2.1 sind die Stoffgruppen zusammengestellt, die für WB von Bedeutung sind. Die am Markt befindlichen Firmen kombinieren diese Materialien in sehr unterschiedlicher Form, meist in einer „Sandwichbauweise“. Die Anforderungen an das „Produkt“ WB sind vielfältig, etwa:

- Geeigneter Wuchsgrund für Pflanzenarten,
- Einfache Montagemöglichkeit,
- Langfristige Haltbarkeit,
- Wartungsarmut,
- Leichte Austauschbarkeit von Teilen,
- Keine zusätzliche Brandgefahr – nicht brennender Gesamtaufbau,
- Passgenaue Anpassung an Gebäudeoberflächen, möglichst als Substitution einer technischen Außenhaut eines Gebäudes.

Die Aufgabe der Materialtests innerhalb dieses Projektes war es, wesentliche Elemente dieser Sandwichbauweise hinsichtlich der Materialeigenschaften zu charakterisieren und hieraus „Empfehlungen“ abzuleiten.

Eine Interpretation von Materialeigenschaften muss unter zwei Gesichtspunkten erfolgen, zum einen, die generellen Stoffeigenschaften wie die Fähigkeit, Wasser zu speichern, zum anderen, ob dieses Wasser dann auch durch die im Material wurzelnden Pflanzen aufgenommen werden kann. Besonders reißfeste chemische Gewirke können einer Fassadenkonstruktion Haltbarkeit geben, sie bieten aber nicht in jedem Fall gute Verankerungsmöglichkeiten für die Pflanzenwurzeln.

Durch die Arbeitsgruppe Prof. W. Malorny und Yvone Menzel sind im bauphysikalischen Labor der Hochschule Wismar eine Auswahl von technischen Gewirken getestet worden, um diesen beiden Fragen nachzugehen. Viele dieser Produkte finden auch in der Dachbegrünungstechnik Anwendung und sind in diesem Zusammenhang schon getestet worden. Vgl. [www.dibt.de/de/Zulassungen/ETA.html](http://www.dibt.de/de/Zulassungen/ETA.html). Dazu nachfolgendes Zitat:

„Verfahren Europa Europäische Technische Bewertungen Am 24. April 2011 ist die Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates (EU-Bauproduktenverordnung – EU-BauPVO) in Kraft getreten. Aufgrund von in der Verordnung vorgesehenen Übergangsregelungen wurden jedoch einige Vorschriften, die ihre praktische Anwendung im Zusammenhang mit der CE-Kennzeichnung betreffen, erst ab dem 1. Juli 2013 wirksam.“

Dazu gehört auch der Bereich der Europäischen Technischen Bewertungen, der durch die bisherigen europäischen technischen Zulassungen abgelöst worden ist.“

Jede Firma, die zukünftig ein System zur WB auf den Markt bringen will, steht vor der Aufgabe aus der Vielzahl der Möglichkeiten, die Materialien so zu kombinieren, dass sie Europäischen Technischen Bewertungen auch als Gesamtprodukt standhalten.

Anträge für die Ausstellung einer Europäischen Technischen Bewertung sind über zugelassene Prüfbüros zu stellen. Die Materialien müssen nach dem Anhang II der EU-Bauproduktenverordnung vorgesehene Verfahrensschritte technisch bewertet und zugelassen werden.

Die Tests im Rahmen dieser Studie ersetzen keine Untersuchungen der WB-Anbieter an deren eigenen Produkten. Jedes Bauprodukt muss eine Zulassungsprozedur durchlaufen (siehe: [https://www.dibt.de/de/Zulassungen/data/Grafik\\_Erteilung\\_ETA.pdf](https://www.dibt.de/de/Zulassungen/data/Grafik_Erteilung_ETA.pdf)).

Auf diese Zulassung kann auch in der FLL-Arbeit im Regelwerksausschuss aufgebaut werden. Da bisher aber die Datenlage zu WB noch gering ist, kann eine Auseinandersetzung mit den angebotenen Produkten hilfreich sein, zumal die Akzente anders gesetzt werden können. Nicht die grundsätzliche Eignung steht dann zu Diskussion, sondern Kriterien hinsichtlich des ökologischen, bzw. ökonomischen Nutzens. Hier seien als Kriterien etwa „Eignung für Pflanzenarten“ oder Life – Cycle Fragen hervorzuheben, die in dieser Form bei der Zulassung so nicht gestellt werden.

Die Bearbeitung dieses Vorhabens kann eine Lücke schließen, da das Bauteil WB komplexer als das der Dachbegrünung ist und der bisherige Vorlauf vom Inverkehrbringen der ersten WB bis hin zur Richtlinienarbeit geringer ist als bei der Dachbegrünung.

In Europa ist der Markt für WB in Europa und England etwas weiter entwickelt als in Deutschland. Innerhalb der Projektlaufzeit zeigten die subjektiven Eindrücke der beteiligten Firmenvertreter, dass das Interesse an WB stark wächst. Grundlegende Qualitätsanforderungen werden EU-weit in den nächsten Jahren angeglichen. Die nachfolgende EU Verordnung gibt Auskunft zu dieser Entwicklung:

#### VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES

vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur

Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rat:

Im Anhang IV sind die Produktbereiche und Anforderungen genannt;

WB haben Bezug zu verschiedenen Produktgruppen, wie (Bereichscodes):

- 4: Wärmedämmprodukte,
- 8: Geotextilien, Geomembrane und verwandte Erzeugnisse,
- 22: Bausätze für Bedachungen,
- 33: Befestigungen,
- 34: Bausätze, ... Vorgehängte Elemente.

Das Ergebnis einer solchen Prüfung mündet in der Genehmigung von Bausatzlösungen mit dem Begriff „Kits for green roofs“, ähnliche „Bausatzlösungen für WB mit dem Begriff „Kits for Living walls“ stehen noch aus.

Vereinfachend sind für dieses Projekt die nachfolgenden Produkte und die genannten Analysen ausgewählt worden (Tab. 2.1).

In der voran genannten EU-Richtlinie wird von entsprechenden Tests eine Risikoabschätzung erwartet, Zitat:

„Erkennen möglicher Risiken und Vorteile der Verwendung innovativer Bauprodukte ...“



- Festlegung der technischen Kriterien;
- „Umsetzung des Ergebnisses der Risikoanalyse ...“
- Festlegung des Bewertungsverfahrens;
- „Entwicklung und Validierung geeigneter Verfahren zur Bewertung ...“

Die Analysen sind letztlich in technischen Bewertungsstellen durchzuführen. Eine Unabhängigkeit muss gewährleistet sein. Die hier zu entwickelnden Arbeitsschritte sind nur erste Tests, die in Empfehlungen für zukünftige Prüfverfahren für „Inverkehrbringer“ münden können.

Tab. 2.1: Mögliche Untersuchungen an Materialien.

	Materialgruppe	Typenbezeichnungen der Testprodukte	Tests
1	Geovliese/- Technische Gewirke	Technische Gewirk mit 700 g/m <sup>2</sup> , von Optigrün  Technisches Gewirk auf Erdölbasis von „Ecorain“ in ca.500 g/m <sup>2</sup>  Recycling Geovlies, Typ Aquanappe jeweils mit und ohne Kaschierung zur zusätzlichen Stabilisierung.	Zug-,Dehnungsversuche, Wasseraufnahme/Kapillarität Wasserabgabe  Alterung
2	Dämmstoffe als Trägermaterialien	Recticel, St.Gobain-Cultilene Glaswolle in 10,12 und 15 cm Stärke Kaschierte – Steinwolle Hartdämmplatte Isover-Saint Gobain-Dämmstoff ... Fytofoam-Flocken	Platten-Druckversuche – Stabilität Rohgewichte Wasserspeichereigenschaften Wasserabgabe
3	Geformte Kunststoffplatten zur Befüllung mit Substraten	Beispiel ATKA - Dachplatte	
4	Metallkonstruktionen	Nicht untersucht	

#### Zu 1

Die Geovliese sind in der Regel als technische Gewirke aus Erdölprodukten hergestellt und meist für die Anwendung „Zugbeanspruchung“ im Deponiebau entwickelt worden. Auch im Bereich der Dachbegrünung sind diese meist sehr reißfesten Materialien im Einsatz, um die empfindlichen Dachbahnen gegenüber Druckbelastungen zu schützen.

Druck- und Durchstoß mit spitzen oder scharfkantigen Gegenständen sind hierfür typische Belastungen.

Das Eindringen von Wurzeln ist in der Regel nicht erwünscht.

Die Gruppe der Trennvliese hingegen können durchwurzelt werden, sie sollen nur die Auswaschung von Feinpartikeln aus unterschiedlichen Lagen verhindern. Diese sind ebenfalls in der Dachbegrünung häufig als Trennung von Drain- und Substratschicht eingesetzt.

Bei den WB könnten diese eine Rolle als Verankerungsschicht für Pflanzenwurzeln spielen, sofern sie mit weiteren Tragschichten kombiniert werden.

Die Geovliese aus Recyclingstoffen sind preisgünstig, sie werden in der Regel als kurzfristige Abdeckungen zu vielerlei Zwecken eingesetzt.

Sie lassen sich gut durchwurzeln, In ihnen verteilen sich Benetzungen gleichmäßig. Diese bilden die wesentliche Trägerschicht für die „Geovlies“- Varianten auf hydroponischer Basis von einer ganzen Reihe von Begrünungsanbietern weltweit.  
Eine geschickte Kombination mit anderen Materialien ist hier ein Lösungsansatz.

Zu 2:

Bei den Dämmstoffen als Trägermaterialien gibt es grundsätzlich sehr druckfeste Materialien, die bei offenporiger Struktur als Wasserspeicher- und Haltemedium für Pflanzenarten geeignet sind. Je leichter und besser sich diese Platten von Pflanzenwurzeln durchdringen lassen, desto weniger formstabil ist das Material. Auch hier gilt es zwischen der Stabilität einerseits und der Durchdringungseignung andererseits einen Kompromiss zu finden. Der kann auch darin liegen, dass unterschiedliche Dämmstoffe mit verschiedenen ergänzenden Eigenschaften als Trägersubstanz kombiniert werden.

Zu 3:

Kunststoffplatten als Montageelemente für die Fassaden. Diese lassen sich in jeder gewünschten Form aus unterschiedlichen Granulat-Mischungen produzieren. Grundsätzlich stehen den vielfältigen technischen Herstellungsmöglichkeiten die Problematik einer möglichen Brandlast gegenüber (Kap. 2.2.3).

Zu 4:

Aus Aluminium, Blechen unterschiedlicher Ausrüstung werden seit vielen Jahrzehnten Wandverkleidungen gefertigt. Einige Firmen haben hieraus Wandmodule entwickelt, die mit Substrat aufgefüllt und bepflanzt werden können. Diese sind hier aber nicht weiter vertieft.

### 2.2.1 Möglichkeiten weiterer Untersuchungsmethoden und einschlägige Untersuchungsvorschriften:

(nach Quelle: <http://www.ulffc.com/de/leistungen/pruefverfahren/mechanische.html>)

Die nachfolgende Tabelle fasst einige mögliche Prüfverfahren zusammen, die für Einzelkomponenten in einer Produktprüfung Auskunft über die Stabilität geben können.

Tab. 2.2: Beispielhafte Verfahren und deren Vorschriften zu Untersuchungen an Materialien der WB.

Verfahren	Betreffende Normen
Zugversuch mit E-Modul	DIN EN ISO 527 DIN EN 20527 DIN 53455/53457 DIN EN 61 ASTM D638
Biegeversuch mit E-Modul für konstruktive Teile der Befestigung	DIN EN ISO 178 DIN EN 20178 DIN 53452/53457 DIN EN 63 ASTM D790
Durchstoßversuch	DIN EN ISO 6603-2
Kugeldruckhärte	DIN EN ISO 2039-1 DIN EN 53456

## 2.2.2 Ergebnisse der Materialtests und der Bauphysik

Kurzfassung der Untersuchungen der AG Malorny, Hochschule Wismar:  
Bauphysikalische Betrachtung zur Wirkung einer Wandbegrünung

Der Einfluss einer WB beruht auf der Sandwichbauweise verschiedener Schichten einschließlich einer ruhenden Luftschicht zwischen den Bauteilen. Hier einige Daten zu einem Aufbau ohne eine finale Begrünungsschicht:

a) Berechnungen in Anlehnung an die Randbedingungen nach DIN 4108 für die Heizperiode (Raumlufttemperatur: 20°C; Außentemperatur: -10°C; Wärmeübergangswiderstand an der Wandinnenoberfläche (Raumseite)  $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ; Wärmeübergangswiderstand an der Außenoberfläche  $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ),

b) wie vor, aber mit erhöhtem Wärmeübergangswiderstand  $R_{se} = 0,21 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  infolge durch die Begrünung bewirkter ruhender Luftschicht an der Bauteilaußenoberfläche.

Anmerkungen:

- Der beispielhaft angenommene dreischichtige Wandaufbau aus Innenputz, Mauerwerk und Außenputz besitze einen Wärmedurchlasswiderstand  $R = 2,32 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ ,
- die Begrünung wird bei der hier vorgenommenen wärmeschutztechnischen Berechnung nicht in Ansatz gebracht; der prognostizierte Effekt durch die Fassadenbegrünung beruhe allein auf der verminderten Konvektion an der Außenseite des Wandbauteils,
- die resultierende Abnahme des U-Werts (Wärmedurchgangskoeffizient) von  $0,401 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  ohne Begrünung auf  $U = 0,376 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  mit Begrünung bewirkt eine Verminderung der Wärmestromdichte und dementsprechend des Energieverlustes an diesem Bauteil um 6,2 % sowie unter den gewählten normgemäßen thermischen Randbedingungen einen Anstieg der Außenoberflächentemperatur der Wand um 1 K.

Folgende orientierende Untersuchungen wurden durchgeführt:

### *Thermogravimetrie*

Im Zuge thermogravimetrischer Analysen (TG, DTG) wird das Probenmaterial einem Temperaturprogramm unterworfen, bei dem ausgehend von einer Starttemperatur – typischerweise Labortemperatur – die Temperatur im Probenraum unter konstanter Temperaturanstiegsgeschwindigkeit, gemessen in Kelvin pro Minute (K/min), bis zu einer vorgewählten Maximaltemperatur gesteigert und die Probenmasse und vielfach auch deren Änderung als nach der Temperatur differenziertes Signal (DTG) fortlaufend registriert und aufgezeichnet wird.

Bei der hierzu verwendeten Messapparatur Mettler SDTA 851 wird parallel zur Aufzeichnung des Thermogramms der TG eine Differenzthermoanalyse (DTA) vorgenommen.

Bei letztgenannter Methode dient die während des Aufheizprogramms bei diskreten Ofentemperaturen auftretende Differenz zwischen der Temperatur der Probe und des Ofens als Referenzmessstelle zum Nachweis mit dem Auftreten latenter Wärmen verbundener exo- bzw. endothermer Reaktionen. Im Fall einer Wärme freisetzenden (exothermen) Reaktion eilt die Probentemperatur der Ofentemperatur voraus, bei einer Wärme verbrauchenden (endothermen) Reaktion bleibt sie zurück. Phasenumwandlungen, wie Schmelzen/Erstarren, aber auch Umkristallisationen sind mit dem Auftreten latenter Wärmen, aber ohne Masseänderung, verbunden.

Die Methode liefert somit Auskunft über die thermische Stabilität diverser Stoffe. Sie dient vielfach als „Fingerprint-Methode“ zur Charakterisierung und Identifizierung der verschiedenen Materialien im Zuge der Qualitätskontrolle und Güteüberwachung.

Tab.2.3.a: Ergebnisse der thermogravimetrischen Analysen an Vlies- und Dämmstoffen sowie einem Kunststoffbehälter.

Vlies	Massenverlust [%]	Beginn $\Delta m$ [°C]	Max.-Peak [°C]	Ende $\Delta m$ [°C]
Aqua Nappe	99,4	220	320	670
Aqua Nappe kaschiert	94,9	230	265/340	680
Ecorain, weiß	100	220	380	650
Ecorain, grün	95,8	210	325/365	480
Optigrün	98,7	320	440	580

Dämmstoff	Massenverlust [%]	Beginn $\Delta m$ [°C]	Max.-Peak [°C]	Ende $\Delta m$ [°C]
Cultilene	5,4	200	480	540
Isover	8,1	180	280/450	590
Knauf	4,6	200	495/550	590
Recticel 30900	4,8	220	310	650
Recticel 30750	6,5	220	320	660
Recticel 32250	6,8	220	310	640
Recticel bonded	98,2	220	295	650
Vydro	4,9	240	295	600

Kunststoffbehälter	Massenverlust [%]	Beginn $\Delta m$ [°C]	Max.-Peak [°C]	Ende $\Delta m$ [°C]
Atka	99,3	230	320	670

Die hier untersuchten Materialien eignen sich in unterschiedlicher Weise für WB. Tabelle 2.3.a führt aus den Thermogrammen der diversen Stoffe entnommene Messwerte als Materialkennwerte auf. Neben dem Gesamtmasseverlust in Prozent der Ausgangsprobenmasse werden die Temperatur des Einsetzens thermisch bedingten Masseverlustes („Beginn  $\Delta m$  [°C]“), die Temperatur, bei der der Masseverlust endet („Ende  $\Delta m$  [°C]“) und die Temperatur, bei der die größer Änderung der Probenmasse („Max.-Peak  $\Delta m$  [°C]“) erfolgt, wiedergegeben. Die Bandbreite der untersuchten Materialien bezüglich des letztgenannten Parameters reicht von 265 Grad C als bei Aqua nappe als niedrigsten Wert bis zum höchsten Wert mit 550 °C bei dem Steinwolleprodukt von Knauf.

#### *Ein-axiale Zugversuche zur Ermittlung der Reißfestigkeit*

Vliese als Bestandteile von WB werden auf Zug beansprucht und müssen demgemäß eine entsprechende Zerreißfestigkeit aufweisen. Dementsprechend wurde der Zugversuch an streifenförmigen Abschnitten bis zum Zerreißen durchgeführt.

#### *Druckfestigkeit – Plattendruckversuch*

Im Unterschied zur Zugbeanspruchung, der Vliese unterworfen sind, besteht die Belastung von Dämmstoffen als Träger von WB primär in einer Druckbeanspruchung. Angesichts der Komprimierbarkeit der diversen verwendeten Dämmstoffe wird das Probenmaterial bei dieser Beanspruchung bis auf ein vorgewähltes Maß gestaucht und die hierzu erforderliche Belastung in Form einer Druckspannung als Kennwert angegeben.

## Wärmeleitfähigkeit

Tab. 2.3.b: Untersuchte Materialien AG Malorny.

Material -Bezeichnung	Charakterisierung	Wärmeleitfähigkeit Watt/(m·K)	Druckspannung 10 % Stauchung N/mm <sup>2</sup>
Vydro	2 cm	0,0362	0,0036
	3 cm	0,0381	0,0065
	5 cm	0,0523	0,0026
Isover – St.GobainGelb	Leichtes Dämm-Material, typisch bei der Gebäude- Innendämmung	0,041	0,824
Isover - Cultilene Steinwolle, grau	10 cm Stärke	0,0427	0,0154
Isover – Cultilene Steinwolle, grau	12 cm Stärke	0,0469	0,0050
Isover – Cultilene Steinwolle, grau	15 cm Stärke	0,0549	0,0073
Knauf	2 cm	0,0313	0,0123
Recticel, P 32250	5 cm	0,0373	0,0070
Recticel, P 30750	5 cm	0,0380	0,0149
Recticel, P. 30900	5 cm	0,0377	0,0149

An den genannten Materialien wurde die Wärmeleitfähigkeit im trockenen Zustand ermittelt. Die Druckspannung führt zu einer negativen Dehnung („Stauchung“); der 10%-Wert wird bei diesen flexiblen Materialien bereits bei geringer Druckspannung erzielt; ein sehr geringer Wert ist etwa bei Vydro 5 cm mit 0,0026 N/mm<sup>2</sup> erreicht.

Tab.2.3.c: Ergebnisse der Messungen von Höchstzugkraft und Dehnung bei Höchstzugkraft gemäß DIN EN 29073: Prüfverfahren für Vliesstoffe, Teil 3.

Vlies	Trocken		Feucht	
	Kraft F [N]	Dehnung $\epsilon$ [%]	Kraft F [N]	Dehnung $\epsilon$ [%]
Aqua Nappe	20,98	10,2	20,42	23,93
Aqua Nappe kaschiert	372,38	3,3	385,30	3,03
Ecorain, weiß	376,38	21,0	483,36	23,5
Ecorain grün	415,40	25,5	413,34	31,8
Optigrün	1758	55,9	886	74,2

Die erforderliche Zugbelastung für das Optigrüen – Geovlies liegt deutlich höher als bei den anderen Materialien. Das Geovlies Aquanappe ist zwar empfindlich, wird aber durch Feuchtigkeit nicht schlechter in den Werten.

Als Fazit dieser Tests ist zu sehen; nahezu alle Materialien eignen sich für eine Bepflanzung. Es liegt im Entscheidungsrahmen des WB-Entwicklers, entweder Erdöl-basierte Produkte zu nehmen oder vergleichbare Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen mit dem Ziel die Umweltbelastung zu reduzieren. Durch eine geschickte Kombination unterschiedlicher Materialien können Nachteile einzelner Materialien untereinander ausgeglichen werden.

Wichtige Voraussetzung für ein langfristiges Wachstum in den Materialien ist, dass eine gleichmäßige Wasserversorgung an den Wurzeln gewährleistet ist. Bei einigen Materialien bilden sich über die Jahre Rinnen im Material, die eine gleichmäßige Benetzung verhindern.

### 2.2.3 Brandverhalten

Fassaden sind aus einer Vielzahl von Materialien unterschiedlicher Brandklassen zusammengesetzt. Allein in Deutschland werden jährlich etwa 40 Mill.m<sup>2</sup> Fassaden mit Wärmedämm-Verbund-Systemen (WDVS) (<https://baufuesick.wordpress.com/2012/04/09>) gebaut. Hierbei dominiert mit 82% die Verwendung EPS Schäumen, die in der Brandklasse B1 als „schwer entflammbar“ eingestuft sind. In der Presse sind zu solchen Fassaden zahlreiche Beispiele für Brände zu finden, etwa:

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/waermedaemmung-an-haeusern-erhoehte-brandgefahr-durch-styropor-a-1001121.html>.

Das ist ein Grund, warum die Diskussion um eine Brandlast von WB geführt wird.

Zahlreiche Anbieter von WB nutzen Kunststoffelemente, etwa aus Polypropylen, das meist der Brandklasse B2 (normal entflammbar), also leichter brennbar als EPS-Schäume eingestuft wird. Auch Kunststoffgefäße aus nachwachsenden Rohstoffen sind meist dieser Klasse zugeordnet. Welches Brandlastrisiko sich für das Produkt WB hieraus ableiten lässt, muss der Anbieter der WB für sein System überprüfen lassen.

Die Abschätzung der Brandgefahr ist komplex. Die Brandklassen verwendeten Werkstoffe sind nur eine Frage, der Gesamtaufbau der WB muss den Anforderungen der Musterbauordnung, bzw. den jeweiligen Landesbauordnungen entsprechen (<http://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=759O986O991>).

Auch wenn die Einstufung für eine WB vorliegt, kann im Einzelfall noch eine zusätzliche Prüfung nach dem „Single-Burning-Item Verfahren“ erforderlich sein (DIN EN 13501-1 5.4).

Die Einschätzung der Brandklassen der Einzelmaterialien ist nur ein erster Baustein zur Beurteilung. Die potentielle Brandgefahr wird baurechtlich nach Gebäudetyp und Baugröße differenziert betrachtet. Die Brandklasse B2 ist bei Gebäuden bis 22 Meter nach den Landesbauordnungen Bauordnungen zulässig, höhere Gebäude müssen mit nicht brennbaren Stoffen der Klasse A1 nach DIN 4102, bzw. der DIN EN 13501-1 ausgelegt sein, Mit der DIN EN 13501 wird der Brandschutz europaweit gleich geregelt und wird die DIN 4102 ersetzen. Ergänzend sind Nebeneffekte von Brände, wie Rauchentwicklung (s= smoke in drei Klassen, sowie brennendes Abtropfen d (genannt „Droplet“) in den Klassen d0, d1 und d2 ergänzt. Der Kamineffekt, Pflegezustand und Art der Verbauung können die Gefahr vergrößern, ggf. aber auch mindern.

Mit einer Begrünung darf keine zusätzliche Brandgefahr an die Fassade geholt werden. Im Idealfall kann ein richtig gewählter Aufbau einer WB eine zusätzliche Sicherheit gegen potentielle Brandfälle bieten. Alle einschlägigen Systemhersteller sind gehalten, für ihre Bauvarianten einschlägige Nachweise in zertifizierten Prüfinstitutionen erstellen zu lassen um auf entsprechende Frage von Bauwilligen europaweit vorbereitet zu sein. Die Abhandlung in dieser Untersuchung kann diese Beurteilungen nicht ersetzen, aber auf einige Prinzipien hinweisen.

Im Vergleich zu Brandbeispielen mit Fassadendämmstoffen sind entsprechende Beispiele aus dem Bereich der Fassadenbegrünungen in der Presse selten. Thorwald Brandwein (mdl.) hat hierzu einschlägige Schadensfälle gesammelt Nach seiner Recherche hat er 54 Schadensfälle in der europäischen Presse gefunden. In 80% der Fälle handelte es sich um Brände in Zusammenhang mit altem, meist mit viel Totmaterial besetztem Efeu. Die überwiegend geringe Brandlast resultiert nach der Auffassung Brandweins, aus den wasserführenden Pflanzenteilen. Brandschadensfälle von Begrünungen mit Gerüstklettopflanzen und von WB gibt es bisher nicht oder sind nicht dokumentiert.



Die Aufgabenstellung ist vergleichbar mit der Frage um die Brandlast bei extensiven Dachbegrünungen, die in Deutschland in den 1980er Jahren in Brandversuchen mündeten. Das seitdem gültige Ergebnis ist, Gründächer sind als „harte Bedachungen“ eingestuft. Die Brandlast ist vergleichbar mit Ziegeldächern. Zur regelgerechten Bauausführung gehören Kies-Randstreifen und alle 40m ein durchgängiger Kiesstreifen um Brandüberschlag zu verhindern. In den letzten Jahren wurde die Debatte um den Brandschutz begrünter Dächer auch in den USA geführt. ANSI (American National Standards Institute) unterscheidet „Sukkulente-basierte“ und „Gras – basierte Gründächer. Es wird weiterhin auf den Anteil des organischen Anteils im Substrat geachtet, der 80% nicht überschreiten soll. Regelgerecht ausgeführte Gründächer sind in den USA nun auch in der Stufe ASTM E108Class A als schwer entflammbar eingestuft.

Aus England gibt es eine Studie vom Departement „Communities and Local Government“, mit dem Titel „Fire Performance of Green roofs and Walls“ (August 2013). Es wurden für den englischen Markt sowohl Gründächer als auch WBs erstmals auf ihr Brandverhalten hin getestet. Es sind die fünf nachfolgenden WB-Systemaufbauten (Tab. 2.4) mit dem Resultat getestet worden, dass mit den klassischen Testverfahren alle fünf Varianten entflammbar waren:

Tab. 2.4 Test von fünf kommerziellen WB Systemen, die in England verfügbar sind.

Anbieter	Beschreibung des Systems
Biotecture	Hydroponisches System in HDPE boxen mit Steinwolle
ANS	HDPE – Boxen mit Erde gefüllt
Optigrün	Aluminium Boxen mit mehrschichtigem Pflanzsubstrat
Cityroof	Bewässerte - Kunststoff-Boxen
Mini Garden	Stapelsystem aus HDPE-Gefäßen mit speziellem Pflanzsubstrat.

Für alle fünf Varianten wurde sowohl die Feuerwuchsrate „Figra“ als auch die Rauchentwicklung „Smogra“ ermittelt. Ergebnis dieser durchgeführten Tests ist, die Systeme hielten den entsprechende zehn-minütige Feuertest nicht aus. Diese Untersuchungen wurden jeweils vorzeitig abgebrochen. Zwei Systeme brachen zusammen, auch die anderen drei konnten die austretende Normhitze von über 350 kW nicht unbeschadet überstehen.

Als Resümee, die Tests sind unter veränderten Bedingungen zu wiederholen, da die angewandte Brandlast für Begrünungen unrealistisch stark war.

In den USA wird bei der Auswahl der Gartenpflanzen teilweise darauf geachtet, dass „wenig brennbare Arten“ verwendet werden und mögliche Buschbrände am Gartenzaun abgehalten werden. Ähnliches könnte auch für die Fassaden formuliert werden, liegt aber auch in den USA noch nicht vor.

Aktuell (November 2014) sind Untersuchungen in Singapur zur potentiellen Brandlast von WB in Arbeit. Auch dort hat man für diese Fragestellung jetzt ein Problembewusstsein entwickelt, nachdem viele auch großflächige WB realisiert sind. Die Ergebnisse sind aber noch nicht publiziert, die Kontaktperson ist Prof. Phuyay Yok Tan, von der NUS (National University Singapore).

### Brandschutz-Tests

Die nachfolgende Tabelle 2.5 benennt Prüfverfahren, die im Zuge der Überprüfung des Brandverhaltens im Rahmen von Materialprüfung größtenteils mit Bezug auf Thermoplaste angewandt werden können.

Für die Sicherheit der Anwender sind geeignete Untersuchungen an WB aus Einzel-Material-Tests und aussagekräftigen Messungen der kompletten Bauweise erforderlich. Diese sind durch das DIBT zugelassene Prüfinstitute durchzuführen und durch Prüfzeugnisse bzw. Zulassungen zu dokumentieren.

Tab. 2.5: Beispielhafte Übersicht zu Brandschutz –Prüfverfahren, die auch für Materialien der WB in Frage kommen.

Brand Prüfverfahren	Norm
Brennbarkeit UL 94 HB	UL 94
Brennbarkeit UL 94 V	UL 94
Brennbarkeit UL 94-5V	UL 94
US-FMVSS	DIN 75200, US-FMVSS 30, TL 1010
LOI	ISO 4589-2
Nadelflammtest	IEC 60695-2-13
Glühdraht	IEC 60695-2-12
HWI	ASTM D3874
Aschegehalt	ISO 3451-1

Quellen: <http://www.ulttc.com/de/leistungen/pruefverfahren/thermische-alterung.html>  
<http://www.ulttc.com/de/leistungen/pruefverfahren/kuenstliche-bewitterung.html>

### Brandschutz-Anforderungen an WB:

Empfehlung unserer Arbeit ist, die verwendeten Materialien sollten einzeln (mindestens) schwerentflammbar sein (DIN 4102-B1), in der Summe des WB-Systems noch höherwertig. Der Vorschlag von Kotthoff (2008) zum Einbau von „Brandriegeln“ könnte bei großflächigen Ausführungen von WB zusätzliche Sicherheit bieten und analog zu den alle 40m vorgesehenen Kiesstreifen bei extensiven Dachbegrünungen angesehen werden.

Bei fensterlosen Wänden sind die potentiellen Brandüberschlagpunkte auf wenige Anschlussbereiche, etwa an Dachflächen beschränkt. Bei Fassaden mit Fenstern wären Aufkantungen und Abstandsbauteile mit der Funktion von Brandriegeln in nichtbrennbaren Materialien ein sinnvolles Planungsdetail, das in das Fassadendesign integriert werden kann. Diese Riegel um die Fenster sind als konstruktive Details bei den meisten WB gut zu integrieren, da sie auch dazu beitragen, dass kein Wasser abtropfen kann.

Analog zur brandschutzrechtlichen Anforderung an Gebäude mit WDVS, bei denen mit der Höhe die Ansprüche zum Brandschutz von schwerentflammbar (DIN 4102-B1) bis nichtbrennbar (DIN 4102-A) zunehmen, ist etwas Ähnliches auch für WB angeraten.

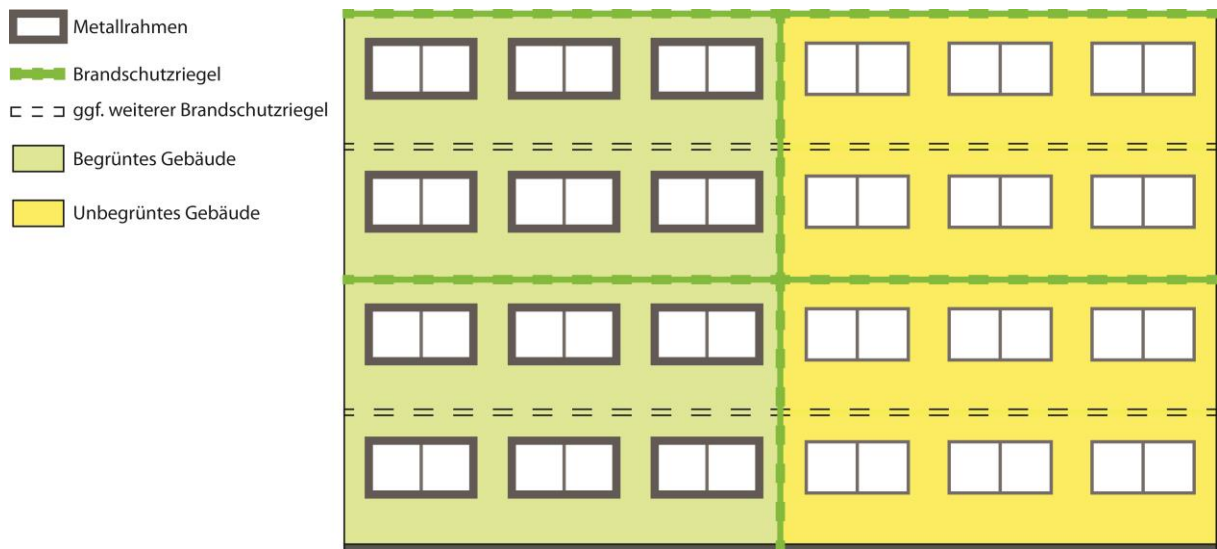
Auch die der Vegetationstragschicht reicht aktuell von nicht brennbaren mineralischen Materialien, etwa vulkanischen Substraten bis hin zu Geovliesen oder Torfmoosen (Sphagnum spec.), die im trockenen Zustand brennen können.

Im Normalfall sind WB durchgehend gut wasserversorgt und dadurch nicht brennbar. Ausgetrocknete Systeme mit abgestorbenen Pflanzenteilen sind ein vernachlässigter Wartungsfall – und bedürfen in jedem Falle einer Pflege. Die Verpflichtung zur regelmäßigen Pflege ist aber schwierig in einer Bauvorschrift vorzuschreiben.

In der nachfolgenden Abb. 2a ist der Vorschlag von Brandriegeln skizziert. Bei einer WB kann um jedes Fenster eine nicht brennbare Barriere (z.B. aus Metall) in einer Tiefe von ca. 30 cm angelegt werden. Solch eine Aufkantung ist für die Einfassung von WB auch schon baulich sinnvoll, um die Schichten einer WB zu verdecken. Einige gliedernde Metallstrukturen zwischen Stockwerken können neben funktionalen Bauteilen der WB auch als ergänzende Brandriegel dienen.



Abb.2.a: Prinzipieller Aufbau von WB mit „Brandschutz-Barrieren“ an Fensterflächen und als Trennriegel innerhalb einer Fassade am Beispiel eines „teilbegrüntes Hauses“ (n. Kotthoff, 2008, verändert).



Quellen: <http://www.london.gov.uk/sites/default/files/living-roofs.pdf>  
 Department for Communities and Local Government 2013: Fire performance of Green roofs and Walls.  
 Download:  
[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/230510/130819\\_SW3529R\\_-\\_Issue\\_3\\_-\\_Green\\_Roofs\\_and\\_Walls\\_Project\\_web\\_version\\_v3.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/230510/130819_SW3529R_-_Issue_3_-_Green_Roofs_and_Walls_Project_web_version_v3.pdf)  
<http://extension.oregonstate.edu/gardening/fight-fire-plants-you-bet>

In der Technik der WB steckt auch das Potential einer aktiven „Brandverhinderung“. Sofern ein zweites Bewässerungssystem, etwa mit Sprinklern vor der Begrünung installiert wird, die nicht nur zur Bewässerung genutzt werden, sondern auch im Brandfall aktiviert werden können. Sollte Kunststoffe in einer WB verwendet werden, sind diese so einzubauen, dass sie von anderen Materialschichten umschlossen sind.

Die WB ist als äußere Schicht einer Vorgehängten hinterlüfteten Fassade zu verstehen. Diese gelten im bauphysikalischen Sinne als sicherer Gebäudeschutz (Krolkiewicz, 2010). Der tragende Kern ist von der äußeren Bekleidungsschale getrennt. Diese äußere Schale dient dem Gebäudedesign. Die WB ist im Grunde eine weitere Variante der äußeren Wandbekleidung – im Vergleich zu vielen anderen Materialien mit einer Reihe zusätzlichen ökologischen Funktionen.

Die typische Bepflanzung von WB besteht aus krautigen sehr wasserhaltigen Pflanzenarten. Die potentielle Brandlast von WB ist ein wichtiges Thema, das aber durch Detaillösungen ins positive gekehrt werden kann.

## 2.2.4 Künstliche Bewitterung

Bei vielen WBs sind Kunststoffteile auch der ständigen UV – Bestrahlung durch Sonnenlicht ausgesetzt. Beispiele hierfür sind die großflächigen WB in Bangalore (Indien) oder in Singapur. Als Testverfahren, ob Kunststoffe hierfür geeignet sind und langfristig der Belastung standhalten, gibt es eine ganze Reihe von künstlichen Bewitterungstests, die mittels einer Xenon – Bestrahlung die Belastung wie in einem Zeitraffer simulieren. Entsprechende Normen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Ergänzend können die Materialien unter kontrollierten Bedingungen auf Freigeländen einem normalen Tagesgang von Sonnenlicht ausgesetzt werden und deren Eignung beurteilt werden.

Die Praxis zeigte, dass Kunststoffteile, die vorschriftsmäßig bedeckt eingebaut werden sollten, häufig einer entsprechenden Bestrahlung ausgesetzt sind und vorzeitig ihre Funktionsfähigkeit einbüßen. Sollen Kunststoffe bei WB zum Einsatz kommen, ist ein entsprechender Haltbarkeitsnachweis zu fordern.

Tab. 2.6: Normen für die Bewitterung von Kunststoffen.

Test	Normen, Richtlinien
Xenon – WOM Verfahren	ASTM G26 modifiziert; ASTM G151; ASTM G155; DIN EN ISO 4892 – 2; SAE J2412 (J1885); SAE J2527 (J1960); VDA 75202
UV-Test Künstliche Bewitterung	DIN EN ISO 4892 - 3
Freibewitterung	EN ISO 877-3:2010

## 2.3 Tests von Substraten bei den WB

Es stehen zwei Substratgruppen gegenüber; zum einen hydroponische, erdelose Stoffe, die durchwurzelungsfähig sind und zum anderen mineralische Substrate, ähnlich denen, die in der intensiven Dachbegrünung verwendet werden. Geovliese sind in diesem Sinne keine Substrate sondern Trägermaterialien, die Wurzeln Halt bieten können. Die letztgenannte Gruppe setzt eine regelmäßige Wasserversorgung voraus.

Zur ersten Gruppe gehören bepflanzbare Dämmstoffplatten, wie sie im Kap. 2.1 vorgestellt wurden, vor allem Schäume, die als Flockenware angeboten werden. Ein Produktname wären hier Fytofoam, diese Flocken sind Bestandteil der Substrattests und wurden schon im „Selbstbau 2010“ im Vergleich zu mineralischen Dachsubstrate verwendet. Ein Vorteil dieser Materialien liegt in dem geringen Trockengewicht. In einem weiteren Selbstbau sind seit 2011 diese Fytofoam-Flocken in Pflanztaschen erneut in einem weiteren Versuch.

Vorteile dieser Schäume im Vergleich zu vulkanischen oder anderen grobporigen Substraten sind: Geringes Gewicht und hohe Wasserspeicherung. Sie können gute Bedingungen für das Pflanzenwachstum liefern, wenn mit dem Bewässerungswasser regelmäßig ausreichend Nährstoffe geliefert werden.

In der Abb. 2.1 ist die Pflanzenentwicklung auf drei ganz unterschiedlichen Substraten zu sehen. Die etwa 45x45 cm großen Module haben sind zwei Winter getestet worden. Die Bepflanzung musste in der Zeit ergänzt werden. Alle drei unterschiedlichen Substrate zeigten hinsichtlich der Verdichtung und Funktionsfähigkeit keine negativen Veränderungen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Flächen jeweils im Spätsommer. Dieser erste Versuch ist beendet und abgebaut.

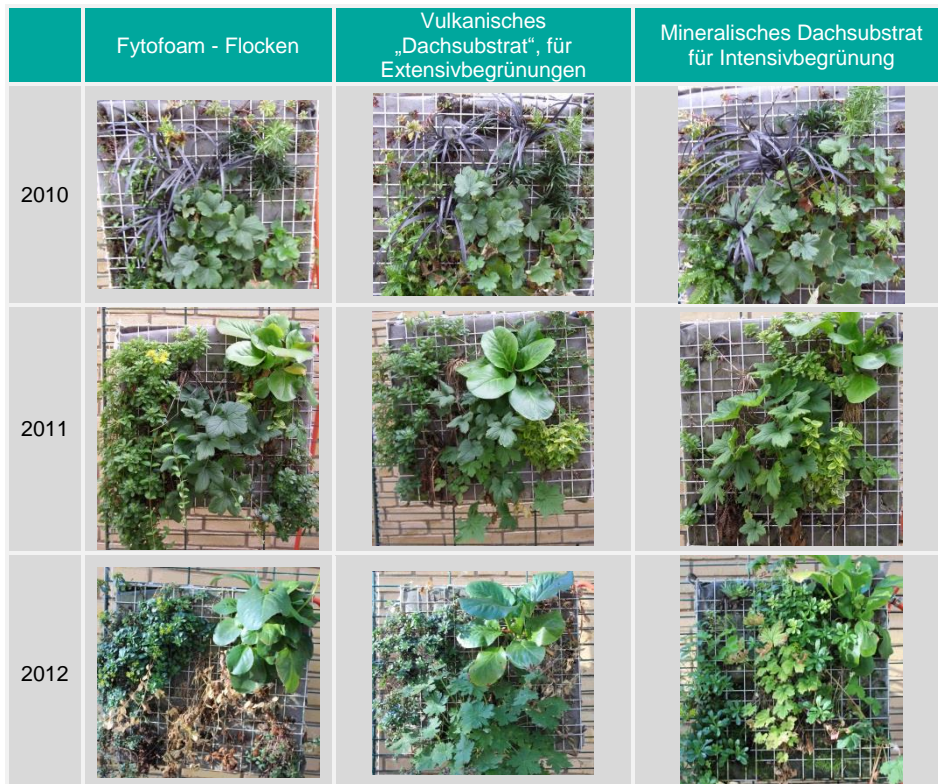
### \*Selbstbau:

Die als “Selbstbau” bezeichneten vertikalen Pflanzmodule sind nicht kommerzielle Eigenentwicklungen im Jahr 2010 = Selbstbau 1. Sie dienten einem ersten Eignungstest von Substraten und Pflanzenarten (siehe Abb. 2.1).

Selbstbau 2 aus dem Jahre 2011 war ein kombiniertes Wandmodul aus Kunststoffschalen mit einem Geovlies kombiniert.

Beide Testvarianten erheben keinen Anspruch auf eine dauerhafte Bauweise, sie dienten der Ermittlung erster Erkenntnisse von Substraten, Vliesen und Pflanzenarten.

Abb. 2.1: Selbstbau 2010 – Installationen, abgeschlossener drei – Jahres-Versuch.



### 2.3.1 Korngrößenuntersuchung von Substraten

Mittels eines Haver EML 200 digital N- Sieblinien-Analysators wurden für die in Tab. 2.7 genannten Substrate die Sieblinien nach bodenkundlicher Vorschrift bestimmt.

Die gemessenen Siebstufen: Schlämmkorn (Lehm/Ton)  $<0,063$  mm, Sande: Feinsande  $<0,125$  mm, Mittelsande  $<0,25$  mm, Sand  $<1,0$  mm, Grobsand  $<2,0$  mm, Kiese  $<4,0$  mm,  $<8,0$  mm und  $<16,0$  mm. Die kompletten Ergebnisdiagramme sind im **Anhang** in den Abb. A2 – A9 abgedruckt.

Der Anteil zwischen Grob- und Feinpartikel schwankt erheblich bei diesen getesteten Substraten. Beim Schadenberg-Substrat ist der besonders hohe Feinanteil auffällig, In Ulopor- und Zeobon – Substraten dominieren die groben Partikel, die übrigen getesteten Substrate sortieren sich zwischen diesen genannten Beispielen ein. Ein hoher Anteil an Grobpartikeln erschwert die gleichmäßige Wasserversorgung und hat eine mehrmals tägliche Bewässerung als Konsequenz bei WB zur Folge. Ein hoher Feinanteil speichert besser, nimmt das Wasser langsam auf. Hier reicht meist eine einzige wöchentliche Bewässerung. Die langsame Infiltration kann aber beim hohen Feinanteil auch zu einem oberflächigen Ablauf führen.

Die gesamte Bandbreite dieser Produkte ist für WB geeignet. Die Bepflanzung und die Art der kontinuierlichen Bewässerung ist aber aufeinander abzustimmen.

Tab. 2.7: Zusammenfassung der prozentualen Verteilung der Größenklassen von Sand- und Kiesanteilen in ausgewählten Substraten von WB.

Substratbezeichnungen	Feinpartikel (%)	Kies ab 2 mm (%)
Vertiss	30,51	67,81
Schadenberg	83,43	12,30
Ulopor	25,98	73,23
Sabarroof	21,48	78,26
Optigrün	40,60	58,53
Zeobon	22,51	77,40
Vivagrün	51,82	46,16

Tab. 2.8: Neue Substrate und Zuschlagstoffe für den Test 2014.

Typenbezeichnung	Charakterisierung	Tests
Jongkind B.V.	Organische Substrat für die Innenraumbegrünung	Max. Wasserkapazität, Infiltrationsgeschwindigkeit, pH-Wert Leitfähigkeit Korngrößen
Novintiss Substrat	Spezialsubstrat für die Innenraumbegrünung	
Consagros Diatopor Ad Soil	Zuschlagstoff zur verbesserten Wasserspeicherung	
Consagros Greenplus	Zuschlagstoff zur verbesserten Wasserspeicherung	
Consagros Fairwayplus	Zuschlagstoff zur verbesserten Wasserspeicherung	
Stockabsorb 660	Zuschlagstoff für die bessere Wasserhaltung	
Zeostrat	Mischsubstrat aus Bims, Ton, Lava, in der Innenraumbegrünung bewährt.	
Xylitt - Braunkohlefasertorf	Nicht vollständig zersetzte Braunkohle	

Die in der Tab. 2.8 genannten Substrate und Zuschlagstoffe wurden als geeignete Materialien im Rahmen dieser Arbeit für WB ausgewählt. Charakteristische Kennwerte wurden 2014 ermittelt und sind in der Tab. 2.8a aufgelistet.

Tab.2.8.a: Max. Wasserkapazität, Infiltrationsgeschwindigkeit, pH-Wert und Leitfähigkeit.

Name	Maximale Wasserkapazität (%)	Wasserdurchlässigkeit cm/s	pH Wert	Leitfähigkeit
Jonkind B.V.	43,7	0,1	6,3	520
Novintiss Substrat	18,2	0,2	6,4	160
Consagros Diatopor Ad. Soi	38,3	0,6	6,4	30
Consagros Grenplus	56,9	0,2	6,5	10
Consagros Fairwayplus	46,9	0,1	6,4	10
Zeostrat	12,6	1,2	6,4	0
Xylit	26,3	0,0	4,3	70
Destilliertes Wasser			7,1	30

Berechnung für die maximale Wasserkapazität ( $WK_{max}$ ) nach FLL (2008):

$$WK_{max} = \frac{(m_{wk} - m_t) * 100}{v} = [\text{Vol. - \%}]$$

$m_{wk}$  = Masse (Gewicht) bei maximaler Wasserkapazität in g

$m_t$  = Masse (Gewicht) in trockenem Zustand in g

Berechnung für die Wasserdurchlässigkeit ( $K_{mod.}$ ) nach FLL (2008):

$$\text{mod. } K_f = \frac{1}{t} * \frac{h}{h + 4,0} = [\text{cm/s}]$$

$h$  = Höhe des verdichteten Prüfgutes in cm (s. 2.3)

$t$  = Zeit für das Absinken des Wasserspiegels von 45 mm auf 35 mm in s

Tab. 2.9: Bandbreite der Verdunstungsleistungen aus Trägermaterialien von WB. Angaben in Liter/m<sup>2</sup> x cm Material – jeweils sommerliche Tageswerte.

Bandbreite der Tageswerte	Schaum-Matte	Fytofoam-Schaumflocken	Torfmoos
	L/m <sup>2</sup> x cm	L/m <sup>2</sup> x cm	L/m <sup>2</sup> x cm
Mai ohne Bewuchs	0,08 – 1,12	0,06 – 2,04	0,02 – 0,44
Mai mit Bewuchs, n=3	0,1 – 1,2	0,04 – 1,21	0,03 – 0,65
Juni ohne Bewuchs	0,04 – 0,45	0,01 – 0,46	0,05 – 0,49
Juni mit Bewuchs, n=3	0,06 – 0,45	0,05 – 0,58	0,09 – 0,81
Juli ohne Bewuchs	0,02 – 0,19	0,14 – 0,48	0,13–0,23
Juli mit Bewuchs, n=3	0,09 – 0,28	0,19 – 0,27	0,24 – 0,52

In diesem Test wurden jeweils drei Module in Sommermonaten bepflanzt und unbepflanzt untersucht. Die hohen oberen Verdunstungswerte erreicht das Material jeweils bei voller Wassersättigung. Die Verdunstung aus den begrüntem, wie den unbegrüntem Varianten schwankt erheblich. Ein geringfügig höherer Verdunstungseffekt beruht auf der Bepflanzung.

Als zweiter Test wurde der Verdunstungswert der verschiedenen Geovliese durchgeführt. Methodik: Wassersättigung, und tägliche Wiegung an trockenen Sommertagen.

Tab. 2.10: Exemplarische Verdunstungswerte –Sommerwerte im Juli - verschiedener Geovliese, die bei WB verwendet werden.

Material	Materialstärke in mm	Materialgewicht Vlies trocken in kg /m <sup>2</sup>	Max. Wasserspeicherung l/m <sup>2</sup>	Verdunstung		
				Tag 1	Tag 2	Tag 3
Optigrün neu	5	9,4	42,3	42,3	0	0
Vertiko	2	3,5	27,3	27,3	0	0
Ecorain weiß	2	2,7	12,1	12,1	0	0
Ecorain grün	2	3,0	17,4	17,4	0	0
Indoor - Landscaping	4	6,6	12,0	12,0	0	0
Schutzvlies 990gr.	7	10,5	34,5	34,5	0	0

Die Wasserspeicherung der Geovliese ist mit bis zu 42 Liter/m<sup>2</sup> enorm. Nicht alles hiervon ist aber pflanzenverfügbar. Allerdings zeigte dieser einfache Test, dass voll wassergesättigte Probestücke bei Exposition in sommerlicher Wärme in weniger als einem Tag komplett ausgetrocknet sind. Für die Baupraxis von WB heißt das, schon nach einem Tag sind die Wasserreserven aus allen getesteten Vliesvarianten komplett verdunstet sind und bereits beim Ausfall der Bewässerung nach einem Tag zu Problemen führen.

## 2.4 Geschwindigkeit der Wasserinfiltration der untersuchten Substrate

Die nachfolgenden Abb. 2.2 und 2.3 verdeutlichen den jeweiligen Fein-Sandanteil der Substrate, bzw. den Kiesanteil als eine charakteristische Größe der Sieblinienuntersuchungen. Mit diesen Substraten wurde der in der FLL, (2008) – Dachbegrünungsrichtlinie beschriebenen Infiltrationstest durchgeführt. Die Geschwindigkeit der Infiltrationsrate ist in der Abb. 2.4 und Tab. 2.11 aufgetragen.

Abb. 2.2: Prozentsatz der Feinpartikel „Sand“ in den Substraten (kleiner 2 mm).

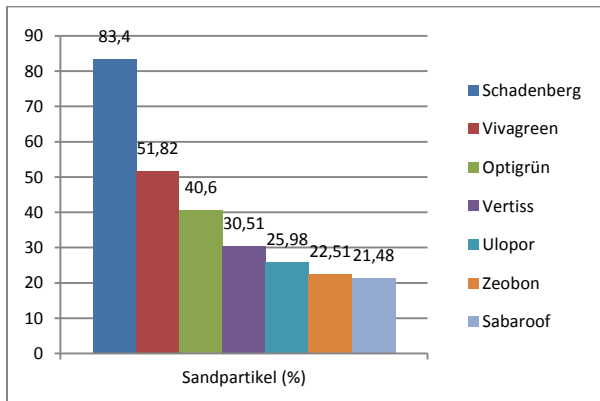


Abb. 2.3: Prozentsatz der Kiespartikel (größer 2 mm).

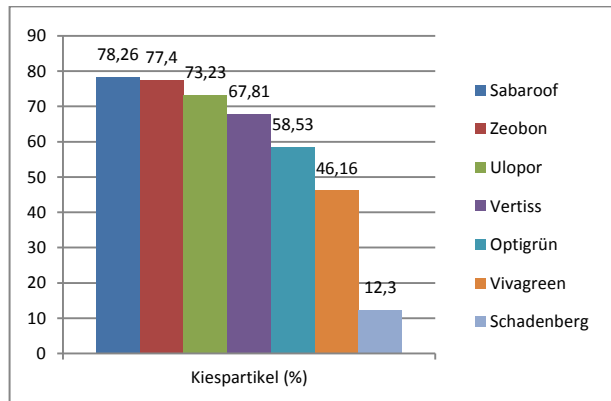
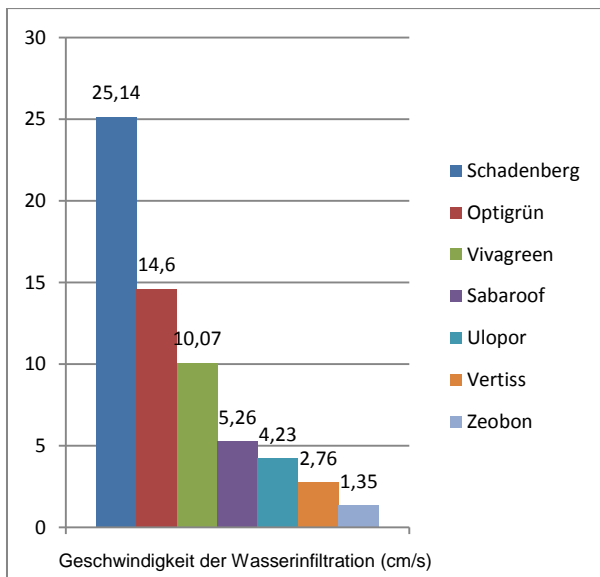


Abb. 2.4: Geschwindigkeit der Wasserinfiltration (cm/s).



Entsprechend des hohen Feinanteils ist die Infiltrationsrate bei Schadenberg mit 25 Sekunden sehr langsam. Bei dem vulkanischen Substrat „Zeobon“ verläuft die Infiltration mit nur 1,4 Sekunden sehr schnell.

Tab. 2.11: Geschwindigkeit der Wasserinfiltration (nach der FLL-Dachbegrünungsrichtlinie von 2008).

Geschwindigkeit der Wasserinfiltration			
	Probe	Geschwindigkeit der Wasserinfiltration (cm/s)	Substrathöhe (cm)
1	Fytofoam	1,6	8
2	Zeobon	1,4	9
3	Sphagnum	2,6	9
4	Optigrün	14,6	10
5	Schadenberg	25,1	8
6	Ulopor	4,2	11
7	Sabarroof	5,3	9
8	Vertiss	2,8	11
9	Recticel 2	2,8	7
10	Vivagreen	10,1	8



## 2.5 Elektrische Leitfähigkeit und pH-Werte

Der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit (siehe Tab. 2.12) sind wichtige Kriterien für die Pflanzenauswahl. Mit sauren Substraten kann kalkhaltiges Gießwasser etwas kompensiert werden. Die pH- und Leitfähigkeitswerte sollten während der Vegetationsphase regelmäßig überprüft werden. Im kalkig-harten Leitungswasser Neubrandenburgs wurde eine hohe elektrische Leitfähigkeit von 698  $\mu\text{S}$  gemessen. Die elektrische Leitfähigkeit reichert sich über die Betriebsdauer im Vorratsbehälter mit abnehmendem Wasservorrat an und ist als Hinweis für den erforderlichen Wasseraustausch ab einem Wert von etwa 2500  $\mu\text{S}$  zu werten.

Der höchste pH-Wert wurde im Rücklaufwasser der begrünten Innenwand mit (pH 8,4) und der niedrigste im Sphagnum Substrat bei etwa pH 4 ermittelt.

Tab. 2.12: Elektrische Leitfähigkeit und pH-Werte unterschiedlicher Substrate.

Produkt	Elektrische Leitfähigkeit in microSiemens [ $\mu\text{S}$ ]*	pH*
Fytofoam	1145	>4,5
Zeobon	25	7,1
Sphagnum	68	4,1
Optigrün	92	7,7
Schadenberg	1750	6,8
Ulopor	119	7,8
Sabarooft	140	8,4
Vertiss	280	6,3
Vivagreen	370	5,5
Leitungswasser in Neubrandenburg	698	7,1
Rücklaufwasser aus der Innen-WB	550-2500	8,4
Destilliertes Wasser	4	7,0
Regenwasser	72	6,7

\*Die Messung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit in [ $\mu\text{S}$ ] erfolgte nach der DIN EN 13037. Je 60 ml Probenvolumen werden mit 300 ml destillierten Wasser vermengt und eine Stunde bei konstanten 22°C mit der Inkubationshaube TH 15 geschüttelt. Der Bemessung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit wurden mit einem Mehrparameter Messgerät (Multi 3420 SET G) und den Sonden (pH - SensoLyt® 900 und  $\mu\text{S}$  - TetraCon® 926) durchgeführt.

## 2.6 Lichtversorgung an den Untersuchungsfassaden

Helligkeit und Wärmesumme sind zwei Steuerungsgrößen des Pflanzenwachstums. Die Himmelsrichtung ist der entscheidende Faktor für die Lichtversorgung. Dieser wird aber negativ beeinflusst durch die Verschattung von nahe stehenden Gebäuden oder besser mit Licht versorgt, sofern Reflexion an hell gestrichenen Wandflächen vorhanden ist. So kann ein Nordstandort durch Reflexion relativ hell sein, ein Südstandort dagegen durch angrenzende Gebäudeteile als halbschattig eingestuft werden. Dieser Effekt wird mit Albedo beschrieben und kann als Ersteinschätzung eines Standort genutzt werden.

Die Auswahl von hellen oder dunklen Materialien, als auch die Eigenschaften der Energiespeicherung von Bauteilen haben einen Einfluss auf die Wärmesumme an einem Standort. Vor jeder Begrünungsplanung ist eine entsprechende Standortanalyse hilfreich um die Pflanzenauswahl an die Lichtsituation anzupassen. In unserem Versuch handelt es sich um Nordstandorte, die allerdings durch Reflexion zum Teil recht hell sind. Die im Jahre 2013 zusätzlich aufgebaute WB an der nach Süden ausgerichteten Fassade ist durch den davor stehenden viergeschossigen Baukörper nicht viel besser in der Lichtversorgung als die Nordfassaden mit dem ganztägigen diffusen Licht. Dieser Innenhof ist in seiner Licht- und Wärmeversorgung aber als eine typische städtische Situation anzusehen.

Zur Charakterisierung der Versuchsstandorte sind nachfolgend an einem strahlungsreichen Hochsommertag zur Mittagszeit die nachfolgenden PAR – Messung durchgeführt worden (Tab. 2.13). Die Messung erfolgte direkt an der Fassade (0 cm) sowie im Abstand von ca. 50 cm vor dem Bewuchs, jeweils in waagerechter, bzw. senkrechter Ausrichtung.

Tab. 2.13: Maximale sommerliche Lichtversorgung der WB (23.07.2013,11:30) in PAR.

WB-Varianten	Lichtintensität Abstand 0 cm		Lichtintensität Abstand 50 cm	
	waagrecht	senkrecht	waagrecht	senkrecht
Sempergreen alt**	3	9	60	48
Vertiko**	49	35	58	41
Soprema**	21	23	60	41
Vertiss**	3	11	53	43
Cultilene**	41	33	54	42
Selbstbau 1*	33	21	61	27
Selbstbau 2*	13	10	57	25
Sempergreen neu –Süd**	1	3	69	23
Schadenberg**	10	41	78	135
Optigrün**	40	175	130	204
90Degreen**	60	122	160	200

\*= Erläuterung zum Selbstbau, s.S. 26  
 \*\*= Erläuterung zum WB-Varianten, s.S. 80 ff.

Der geringe Wert der Sempergreen Süd 0 cm erklärt sich aus dem sehr dichten Bewuchs der Fläche. Zur Einschätzung: PAR-Werte über 100 charakterisieren helle Standorte.

## 2.7 Wasserverbrauch für WB

In diesem Kapitel sind die Messungen zum Wasserverbrauch der WB zusammengefasst. In der Abb. 2.5 ist die Bewässerungssteuerung von Mai 2011 bis März 2012 dargestellt. Witterungsabhängig wurde täglich eine individuelle Wassermenge für jedes Modul gegeben. Die Anpassung im Jahr 2012 führte zu höheren Wassergaben im mehrtägigen Rhythmus. In den Folgejahren 2013, 2014 wurde auf diese Erfahrungen aufgebaut und mittels weiterer Magnetventile die Bewässerung weiter dem jeweiligen Bedarf der Module in Abhängigkeit von Bewuchsstärke und Witterung angepasst.

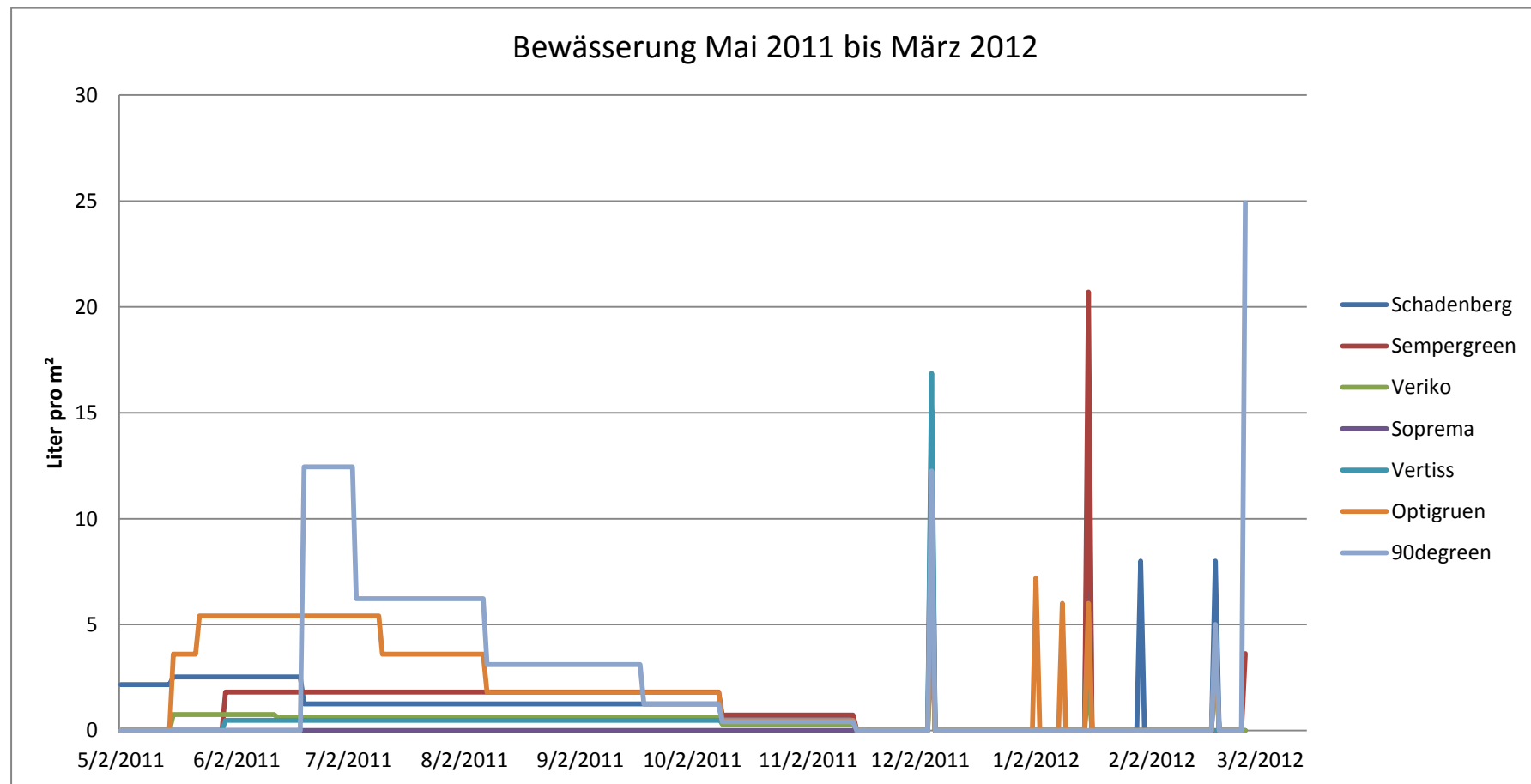
Die nachfolgenden Tab. 2.14- 2.16 nennen exemplarisch die Wassermengen für die unterschiedlichen Module. Die Wassermengen schwankten in den beiden Jahren zwischen 8,3 und 0,5 Liter/m<sup>2</sup> und Tag. Die genaue Bewässerungssteuerung hilft den Verbrauch zu senken. Neben den Witterungsbedingungen spielt Pflanzenauswahl und der Deckungsgrad eine wichtige Rolle. Die Wassermenge kann von minimal, gerade ausreichend bis hin zu üppig, je nach dem Bewässerungsziel ausgelegt werden. Eine hohe Wasserzuführung hat hohe Oberflächenverdunstungen zu Folge, was sommerlich die Umgebung kühlen kann und als „Wasserbewirtschaftung“ anzusehen ist. Ist der Wasservorrat begrenzt, sollte die Bewässerung auf „minimal“ und ausschließlich „pflanzenerhaltend“ ausgelegt sein.

Für jede Variante ist möglichst ein individueller täglicher Bewässerungsrhythmus zu entwickeln, der von einmal pro Woche bis zu mehrmals täglich bei Geovliesvarianten an südexponierten Fassaden reichen kann.

Es ist zu beachten, dass in den WB die Wasserverteilung gleichmäßig über die Fläche erfolgt, damit auch die Pflanzen in den seitlichen Randlagen versorgt werden. Eine besondere Herausforderung ist es bei der Bewässerungssteuerung größerer Wände, die unteren Teile nicht über zu bewässern, was zu einem Absterben von Pflanzenwurzeln führen kann.



Abb. 2.5: Die Bewässerung der unterschiedlichen Module.



Exemplarische Abbildung zur Bewässerungssteuerung. Die Graphik verdeutlicht zwei Bewässerungskonzepte. Im Jahr 2011 wurde zunächst kontinuierlich jeweils eine kleine Wassermenge, z.T. mehrmals täglich, gegeben. Für das Pflanzenwachstum ist in den WB mit größerem Speichervermögen eine geringere Bewässerungsfrequenz, von nur alle paar Tagen, dann aber eine größer Wassermenge zu geben, günstiger. Feuchte und trockene Phasen wechseln sich dann in einer mehr natürlichen Weise ab. Für jede WB gibt es eine ideale tägliche Wassermenge als auch einen passenden saisonalen Rhythmus.

Tab. 2.14: Bewässerung 2012/2013, Tageswerte in Liter/Tag x m<sup>2</sup> (Test am 23.07.2013).

Wand	Laufzeit (min.)	Wasser-Uhr Anfang	Wasseruhr Ende	L	Min./Tag	L pro Tag	L pro Woche (7 Tage)	L pro Monat (30 Tage)
Gabionentyp Schadenberg (2)	1	51601	51608	0,7	1	0,7	4,9	21
Flächenmodul Sempergreen alt (3)	1	51618	51628	1	2	2	14	60
Geovlies Vertiko (4)	1	51635	51641	0,6	3	1,8	12,6	54
Flächenmodul Sempergreen neu (5)	1	51780	51920	14	1	14	98	420
Horizontal Kübel Vertiss (6)	1	51926	51931	0,5	2	1	7	30
Flächenmodul Cultilene (7)	1	51937	51942	0,5	6	3	21	90
Selbstbau reihe (8)	1	51979	52011	3,2	1	3,2	22,4	96
Modul Vivagreen	1	52075	52093	1,8	2	3,6	25,2	108

Tab. 2.15: Bewässerung 2014 als Angaben in Liter/Tag x m<sup>2</sup> (Sommerlaufzeit).

Sommerlaufzeit 2014											
Wand	Laufzeit (min.)	WB Oberfläche m <sup>2</sup>	Frequenz (Tage pro Woche)	Wasseruhr Test		L pro WB pro min.	L pro m <sup>2</sup> pro min.	Laufzeit (min.)	L pro m <sup>2</sup> pro Tag	L pro m <sup>2</sup> pro Woche (7 Tage)	L pro m <sup>2</sup> pro Monat (28 Tage)
				Wasseruhr Anfang	Wasseruhr Ende						
Gabionentyp Schadenberg (2)	20	2,4	2	109571	109572	1	0,42	20	8,3	16,7	66,7
Flächenmodul Sempergreen alt (3)	3	2,4	7	109565	109566	0,5	0,21	3	0,6	4,4	17,5
Geovlies Vertiko (4)	3	3	7	109566	109566	0,5	0,17	3	0,5	3,5	14,0
Flächenmodul Sempergreen neu (5)	3	2,4	7	109570	109571	1	0,42	3	1,3	8,8	35,0
Horizontal Kübel Vertiss (6)	3	0,9	7	109570	109570	0,5	0,56	3	1,7	11,7	47,6
Flächenmodul Cultilene (7)	5	2,4	3	109570	109570	0,5	0,21	5	1,0	3,1	12,5
Modul Vivagreen	3	9	3	109566	109570	4	0,44	3	1,3	4,0	16,0

Tab. 2.16: Bewässerung 2012/2013 als Angaben in Liter/Tag x m<sup>2</sup> (Herbstlaufzeit) (L=Liter).

Herbstlaufzeit 2014											
Wand	Laufzeit (min.)	WB Oberfläche m <sup>2</sup>	Frequenz (Tage pro Woche)	Wasser-Uhr Test		L pro WB pro min.	L pro m <sup>2</sup> pro min.	Laufzeit (min.)	L pro m <sup>2</sup> pro Tag	L pro m <sup>2</sup> pro Woche (7 Tage)	L pro m <sup>2</sup> pro Monat (28 Tage)
				Wasseruhr Anfang	Wasseruhr Ende						
Gabionentyp Schadenberg 2	10	2,4	1	109571	109572	1	0,42	10	4,2	4,2	33,3
Flächenmodul Sempergreen alt 3	1	2,4	7	109565	109566	0,5	0,21	1	0,2	1,5	5,8
Geovlies Vertiko 4	1	3	7	109566	109566	0,5	0,17	1	0,2	1,2	4,7
Flächenmodul Sempergreen neu 5	1	2,4	7	109570	109571	1	0,42	1	0,4	2,9	11,7
Horizontal Kübel Vertiss 6	1	0,9	7	109570	109570	0,5	0,56	1	0,6	3,9	47,6
Flächenmodul Cultilene 7	2	2,4	3	109570	109570	0,5	0,21	2	0,4	1,3	5,0
Modul Vivagreen	1	9	3	109566	109570	4	0,44	1	0,4	1,3	5,3

## 2.8 Wasserverbrauch für die Innenwand

Ergänzend zu den Außenwänden ist nachfolgend eine Zusammenfassung aus Messungen an Innenraumwänden aufgeführt. Diese Experimente bauen auf Kaiser, 2013 auf und wurden in den Jahren 2013 und 2014 fortgeführt. Entscheidenden Einfluss auf den Wasserverbrauch hat die Pflanzenentwicklung. Dem Wasser ist die richtige Düngergabe beizumengen, siehe Tab. 2.17. Weiterhin ist ggf. mit Kunstlicht die richtige Lichtmenge zu gewährleisten.

Tab. 2.17: Düngertabelle Innenraumbegrünung.

Nährstoffe	Kg / 100 kg
Azot (N)	6,5
Nitrat-Stickstoff	3
Ammoniakstickstoff	2
Stickstoffhaltige Harnstoff	105
Phosphorsäurehydrid (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) in Wasser löslichen	6,5
Kaliumoxid (K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) in Wasser löslich	6,5
Weitere, im Wasser gelöste Spurenelemente: 0.01% Bor (B), 0.003% Kupfer (Cu), 0.03% Eisen (Fe), 0.02% Mangan (Mn), 0.001% Molybdän (Mo), 0.012% Zink (Zn).	



Eine vorbereitete PVC-Platte mit Geovlies, April 2012 und kurz nach Bepflanzung



Ansichten, Juni 2012 (linkes Bild), Juli 2012 (rechtes Bild)



November 2013 (linkes Bild), November 2014 (rechtes Bild)

Abb. 2.6: Aufbau und Entwicklung der Innenraumbegrünungswand, zwischen April 2012 bis November 2013

Der Wasserverbrauch dieser Innenwand ist exemplarisch für 31 Tage im zweiten Untersuchungsjahr, Sommer 2013, in der Abb. 2.7 dargestellt. Während dieser Zeit wurde der Tank zweimal mit 150 l Wasser aufgefüllt.

Der durchschnittliche Tagesverbrauch des gesamten Begrünungsmoduls von 4m<sup>2</sup> beträgt etwa 1 Liter/m<sup>2</sup> an einem Sommertag.

Die Nährstoffe wurden jeweils in einer Menge von 150 ml am Tag der Nachfüllung im Vorratsbehälter gleichmäßig verteilt. Für die sommerliche Bewässerung haben sich für diese Geovliesvarianten Intervalle von jeweils ca. 10 Minuten, 8x täglich, bewährt. Im Winter sind diese Intervalle verkürzt. Bei dieser Bewässerungsfrequenz bleibt das Vlies konstant feucht, die Menge des Überschusswassers ist gering, und läuft in den Vorratsbehälter zurück. Das leichte Aquanappe als Trägervlies ist auch nach vier Jahren ohne Beanstandungen.

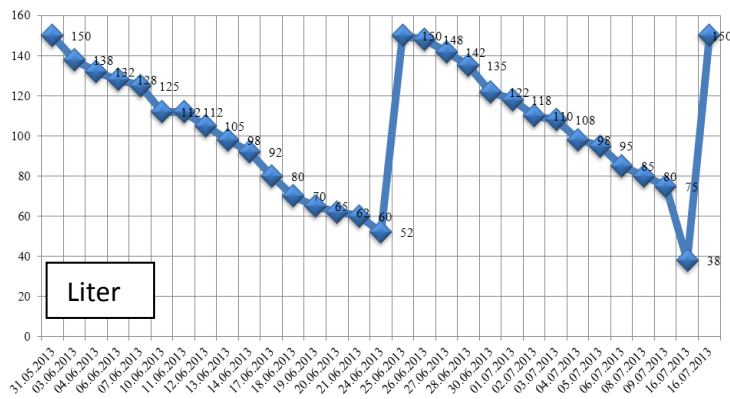


Abb. 2.7: Täglicher Wasserverbrauch der begrünter Innenwand Mai-Juli 2013 (Angabe in Liter Wassermenge im Vorratsbehälter).

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Wasserverbrauch der Innenwand für zwei Sommermonate im Jahr 2013. Mit der Abnahme der Wassermenge im Vorratsbehälter konzentrieren sich die beigefügten Nährstoffe auf, das kann im Extremfall zu einer toxischen Konzentration führen. Indikatoren hierfür sind die kontinuierliche Abnahme des pH-Wertes und die Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit. Ein regelmäßiger Restwasseraustausch ist daher vor jeder Neubefüllung zu empfehlen.

Tab. 2.18: Wasserverbrauch der Innenwand.

Datum		Details zu Wasserverbrauch			Leitfähigkeit, microSiemens [µS]
Tag	Uhrzeit	Die Wassermenge im Tank (Liter)	Wasserverbrauch (Liter)	pH	
31.05.2013*	14:22	150	-	6,9	850
03.06.2013	15:24	138	12	-	-
04.06.2013	14:45	132	6	7,3	910
06.06.2013	9:44	128	4	7	950
07.06.2013	15:26	125	3	-	-
10.06.2013	12:40	112	13	5,7	1070
11.06.2013	10:40	112	0	-	-
12.06.2013	6:45	105	7	5,5	1150
13.06.2013	11:30	98	7	-	-
14.06.2013	11:30	92	6	5,7	1290
17.06.2013	7:50	80	12	-	-
18.06.2013	15:30	70	10	-	-
19.06.2013	14:00	65	5	-	-
20.06.2013	10:43	62	3	5,8	1650
21.06.2013	7:47	60	2	-	-
24.06.2013	10:42	52	8	-	-
25.06.2013*	11:30	150	98	7,1	950
26.06.2013	10:15	148	2	-	-
27.06.2013	10:26	142	6	-	-
28.06.2013	10:16	135	7	-	-
30.06.2013	10:40	122	13	-	-
01.07.2013	9:46	118	4	-	-
02.07.2013	10:25	110	8	5,8	1310
03.07.2013	10:20	108	2	-	-
04.07.2013	9:24	98	10	-	-
05.07.2013	10:23	95	3	5,8	1400
06.07.2013	10:07	85	10	-	-
08.07.2013	8:00	80	5	-	-
09.07.2013	13:22	75	5	6	1660
16.07.2013	11:02	38	37	5,7	2050
16.07.2013*	11:10	150	112	7,1	1030

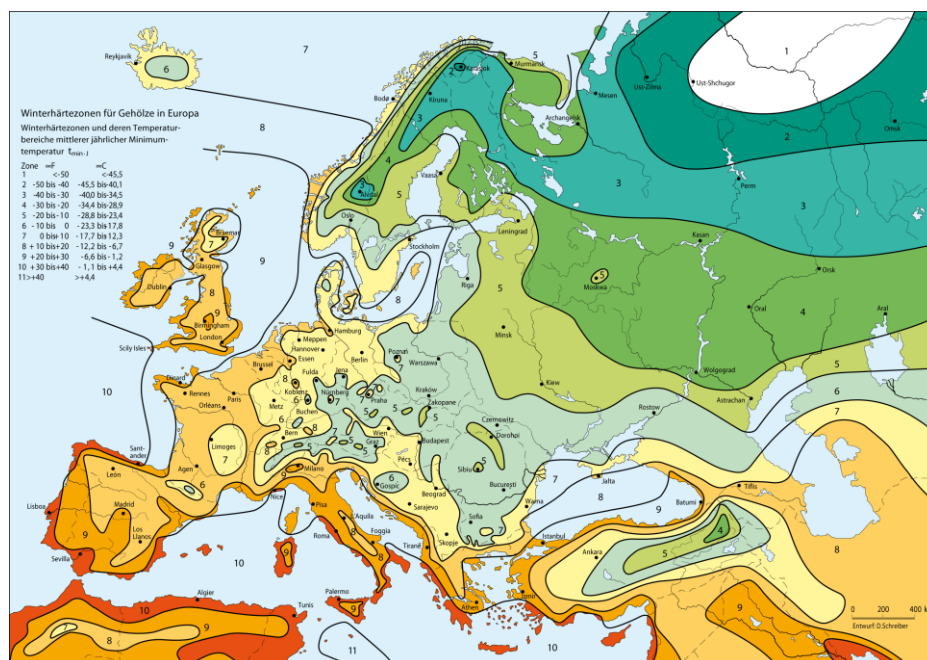
\*= Nachfüllung mit 150 L Wasser und 150 ml Nährstoffe  
Ein Teil der Pegelschwankungen liegen an dem unterschiedlichen Rücklauf nach der Bewässerung in den Vorratsbehälter.

## 2.9 Klimamessungen

Bei der Pflanzenauswahl ist ein entscheidendes Kriterium die lokale maximale Wintertemperatur. Das vom US-Landwirtschaftsministerium entwickelte System der USDA – Klimazonen (genau: Plant Hardiness Zones) ist eine Klassifikation der durchschnittlichen maximalen Wintertemperaturen. Dieses Prinzip ist als „Winterhärtezonenkarte“ (Abb. 2.8) (Kurz WHZ oder in einiger Literatur aus nur als Z abgekürzt von Heinze u. Schreiber (1984) auf Europa übertragen worden. Frosttrocknis, winterliche Kahlfröste sind extreme Belastungen, die ein wesentliches Kriterium für das Überleben von Pflanzen stellen. Im Baumschulwesen hat sich dieses Klassifikation für eine erste Einschätzung etabliert und erlaubt eine prinzipielle Auswahl von Pflanzen. In der Ergebnistabelle Tab. 3.42 sind die WHZ –Daten der getesteten Pflanzen zum Vergleich genannt.

Die Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes DWD, Messstation Flughafen Neubrandenburg-Trollenhagen, stehen über das Programm „Proplant“ als Tagesmittelwerte zur Verfügung. Auf den Lehrgebäuden 2 und 3 der Hochschule erfassen zwei Messstationen seit 1999, bzw. 2001 kontinuierlich Klimadaten, die als 15-Minuten-Daten abgelegt werden. Für die genaue Beschreibung der Temperatur – und Luftfeuchtwerte an den WB wurden für ausgewählte Messkampagnen Kleindatenlogger „Log-32“ eingesetzt.

Abb. 2.8: Winterhärtezonenkarte (Heinze u. Schreiber, 2001).



Quelle: <http://www.pflanzenversand-gaismayer.de/cms/lexikon-winterhaertezonen/de.html> W. Heinze und D. Schreiber übernommen aus Andreas Bärtels, Enzyklopädie der Gartengehölze, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2001.

### 2.9.1 Klima/Witterung

Der Blick auf die Winterhärtezonen Mitteleuropas (WHZ) nach Heinze und Schreiber (1984) liefert eine Ersteinschätzung des Untersuchungsstandortes Neubrandenburgs. Die Skala reicht in Europa von 1 (sibirisch – kalt) bis 11 (mediterran). Deutschland liegt überwiegend in der Zone 7 mit Werten zwischen -17,7 und -12,3 Grad C. Diese Zone wird in einer Verfeinerung häufig noch mal eingeteilt in a und b mit einer mildereren westlichen und einer winterkälteren östlichen Teilzone. Wien liegt ebenfalls in der Zone 7. Aus der nächst mildereren Klimazone 8 (Niederlande, Frankreich, England, Norditalien) stammen viele WB-



Anbieter. Der Übergang zur anschließenden kälteren Zone 6 beginnt etwa östlich der Oder umfasst Polen und Südosteuropa. Die in Neubrandenburg im Winter häufig herrschenden kalten Ostwinde unterstreichen den kontinental kalten Charakter des Untersuchungsstandortes und bilden damit charakteristisch sehr winterkalte Standorte in Deutschland – was für den Test von WB unter Extrembedingungen hilfreich ist.

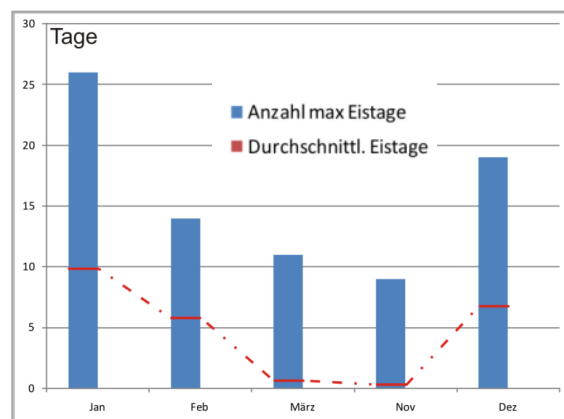
Für alle Klimazonen gilt, in kleinräumigen Sonderlagen, etwa Innenhöfen, können die Temperaturen etwa um eine Stufe milder ausfallen. Von den meisten Pflanzen sind Angaben zur WHZ aus der gärtnerischen Beobachtung bekannt. Diese Angaben sind für die getesteten Pflanzen in der Tab. 3.42 aufgelistet. Eine hohe Kältetoleranz ist in der Regel hilfreich.

Aus dem Proplant – Programm standen die Messwerte der letzten 17 Jahre zur Verfügung (Tab. 2.19). Die Bandbreite am Standort Neubrandenburg liegt zwischen -7,7 im mildesten Winter und Dezember 2007 und - 22,1 Grad C. Die in der Winterhärtezonenkarte genannte Bandbreite wurde in den letzten 17 Jahren dreimal unterschritten (kälter) und achtmal überschritten (milder). Für eine erste Einschätzung ist diese grobe Flächengraphik sehr hilfreich, es scheint aber, als nehmen die Extrema zu. Innerhalb des Versuchszeitraumes lagen drei kalte Winter mit sehr unterschiedlicher Charakteristik: 6. Februar 2012 mit - 21,1 Grad C. einer der kältesten in der abgebildeten Periode, 24. März 2013: kältester Tag im Zeitraum des Frühlings, was zu einer extremen Belastung der Pflanzen führt. Der Winter 2013/2014 wurde als „mild“ in weiten Teilen Deutschlands eingestuft, mit -11,1 Grad Celsius und immerhin 12 Eistagen war immerhin eine typische und ausreichend kalte Testphase. Als gefühlt milden Winter ist 2013/2014 dennoch einzustufen, da es keine weiteren Eistage im bis zum Frühjahr gab.

Ungeachtet der Verfeinerung der Einteilung, bietet der Untersuchungsstandort Neubrandenburg die Möglichkeit die „winterkalte“ nordostdeutsche Region zu charakterisieren. Diese Aussagen sind auf weite Teile Polens, aber auch kalte Bereiche Süddeutschlands, etwa Bayerischen Wald übertragbar.

Die Tab. 2.19 nennt einige Klima-Charakteristika für den Standort Neubrandenburg. Die Auswertung der Anzahl der Eistage (Definition: Tage mit Maximaltemperatur nicht über 0 °C), zeigt für die jeweiligen Winterphasen von November bis März große Bandbreiten von im niedrigsten Fall von nur vier Eistagen, aber auch drei Jahre mit 45 bzw. in zwei Jahren mit 47 Eistagen. Es gibt alle Varianten von frühen bis langen Winterphasen. Die Bandbreite der Januartemperaturen reicht von 0 Eistagen bis hin zu 26. Das Beispiel dieser 17 Jahre belegt, lange Eisphasen sind statistisch hochsignifikant auch mit extremer Kälte verknüpft (siehe Abb. 2.9).

Abb. 2.9: Maximale und durchschnittliche Zahl an Eistagen in den Wintermonaten der letzten 17 Jahren. (Rote Linie: Monatsmittelwert, Angaben aus Tab. 2.19).



Frosttage (Tage mit einer Minimaltemperatur unter 0 Grad Celsius) können früher und länger auftreten, siehe Tab. 2.20, die Abschaltung der Bewässerung ist zum Beginn der Eistage erforderlich. In dem Zeitraum der Untersuchungen an den WB seit Sommer 2010 sind Erfahrungen gesammelt worden mit einem extrem kalten Winter und schneereichen Winter 2011/2012 mit -21,1 Grad am 6. Februar. Der anschließende Winter 2012/2013 war zunächst relativ mild, hat dann aber mit 11 Eistagen noch im März und der Jahrestiefsttemperatur am 24. März ebenfalls eine besondere Belastung für die WB dargestellt.

Die Jahresniederschläge (Tab. 2.19) sind in Neubrandenburg relativ gering, 2003 war mit 375 mm extrem trocken, das Maximum lag mit 729 mm im Jahr 2007.

Tab. 2.19: Anzahl der **Eistage** seit 1997, gemessen in 2m Höhe (Wetterstation Neubrandenburg-Trollenhagen, Proplant (2014). Die niedrigsten gemessenen Temperaturen im jeweiligen Jahr sowie der Jahresniederschlag. (Dunkel unterlegt: Zeitraum des Tests der WB in Neubrandenburg. Tab ergänzt mit Daten Wetteronline, 10. Jan. 2015).

Jahr	Jan (Tage)	Feb (Tage)	März (Tage)	Nov (Tage)	Dez (Tage)	Anzahl Nov-März (Tage)	Minimal Temp. (°C)	Jahresniederschlag (mm)
1997	12	1	0	2	6		-22,1 (1. Jan)	573,5
1998	2	2	0	7	10	12	-11,0 (12. Dez)	715,8
1999	7	7	0	0	7	31	-10,3 (120. Feb)	513,4
2000	6	0	0	0	7	13	-10,2 (23. Jan)	582,4
2001	10	5	1	0	6	23	-10,8 (3. Feb)	579,0
2002	6	0	0	0	19	12	-11,4 (13. Dez)	603,1
2003	12	14	0	0	1	45	-16,9 (7. Jan)	375,4
2004	18	1	1	0	0	21	-9,6 (5. Jan)	586,7
2005	6	7	6	0	5	19	-12,5 (28. Feb)	437,2
2006	18	3	4	0	0	30	-17,1 (23. Jan)	427,0
2007	0	4	0	0	4	4	-7,7 (22. Dez)	729,2
2008	2	0	0	0	1	6	-8,1 (4. Jan)	577,9
2009	10	6	0	0	9	17	-15,1 (20. Dez)	470,1
2010	26	12	4	9	21	47	-19,9 (26. Jan)	575,9
2011	5	10	0	0	10	36	-12,5 (23. Feb)	555,2
2012	6	13	0	0	10	29	-21,1 (6. Feb)	397,2
2013	16	10	11	0	0	47	-14,6 (24. März)	517,9
2014	12	0	0	0	2	14	-11,1 (26. Jan)	655,9
Mittelwert	9,53	5,59	1,59	1,06	6,8			
Summe Eistage	162	95	27	18	118			
Anzahl min.	0	0	0	0	0			
Anzahl max.	26	14	11	9	19			

Die Tab. 2.20 gibt eine Antwort auf die Frage, in wie weit sich die Werte der Standorte an der Hochschule Neubrandenburg von denen der „DWD - Standard-Messstation“ in Neubrandenburg-Trollenhagen unterscheiden. Die Zahl der Eistage reduziert sich in der Gebäudenähe um 1-2. Gleiches gilt für die Anzahl der Frosttage, es sind ebenfalls 1-2 Tage weniger. Der hinter einer WB – installierte Messfühler „90degreeen-hinten“ hat wiederum noch 1-2 Tage weniger Frosttage. Im kalten Dezember 2012 sind in Trollenhagen 23 Frosttage gemessen worden, an den unterschiedlichen Messpunkten am Hochschulgebäude nur 16 Frosttage.

Die Debatte um die Eis- und Frosttage ist hier ausführlich genannt, weil immer wieder die Frage einer Winterbewässerung für WB gestellt wird. In diesem Klima ist es nicht möglich, eine rechtzeitige Abschaltung vor den Eistagen ist erforderlich. Die dünnschichtigen Begrünungen frieren jährlich durch. Der Auftauprozess zieht sich durch den Winter – eine Aufheizung der Module ist aus ökologischen Gründen nicht zu empfehlen. Über eine manuelle Notbewässerung ist nachzudenken.

Die automatische Bewässerung ist nicht vor Mitte März wieder dauerhaft zu betreiben. Für diese Bedingungen gilt es die richtigen Pflanzen auszuwählen.

Die Untersuchungen an WB seit Mitte 2010 schließen bereits sehr unterschiedliche Situationen ein. Während die Sommerwärme und entsprechende Trockenheit durch eine funktionsgerechte Bewässerung beherrscht werden kann, sind die Wintermonate die wenig kalkulierbare Herausforderung.

Der weitere klimatische Verlauf des Jahres 2011 ist einem veröffentlichten Diagramm zu entnehmen. „Im Februar 2011 herrschten noch ungewöhnlich tiefe Temperaturen. Der Monat Juli war ungewöhnlich nass. Im Vergleich des langjährigen Mittelwertes ist das Jahr trotzdem als durchschnittlich zu werten“.

Tab. 2.20: Anzahl Frost und Eistage an den WB im Vergleich mit NB-Trollenhagen und dem Dach der Hochschule, exemplarisch für den Winter 2012/2013.

Winter 2012-2013		2012					2013					2014				
		Feb	März	Apr	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr
Proplant	Eistage	13	0	0	0	10	16	10	11	0	0	0	12	0	0	0
	Frosttage	19	8	5	3	23	18	22	29	8	6	4	16	3	5	0
Log 32 Dach	Eistage	11	0	0	0	8	15	1	2	0						
	Frosttage	18	7	3	2	16	18	19	29	7						
Log 32 H3 Holzwand unbegrünt	Eistage	11	0	0	0	8	13	1	2	0						
	Frosttage	16	5	2	2	17	18	16	25	7						
Log 32 Innenhof unbegrünt H2	Eistage	12	0	0	0	9	13	2	4	0						
	Frosttage	18	4	2	1	16	17	16	27	6						
Log 32 Vertiko Süd H2	Eistage	12	0	0	0	8	12	0	3	0						
	Frosttage	18	4	2	1	16	16	15	27	6						
Log 32 Optigrün 60cm H3	Eistage	11	0	0	0	8	11	1	1	1						
	Frosttage	18	6	3	2	17	18	19	28	10						
Log 32 90- Degreen Hinten H3	Eistage	11	0	0	0	6	10	1	3	0						
	Frosttage	15	3	1	1	16	16	10	19	4						
Log 32 Vivagreen Vorne H2	Eistage								2	0						
	Frosttage								24	8						
Log 32 Vivagreen Hinten H2	Eistage								7	0						
	Frosttage								20	4						
12	Eistage															
18	Anzahl Frosttage															



### 2.9.2 Witterung / Klima 2012

Die generelle Beschreibung für das Jahr 2012: „Nach einem milden Dezember 2011 wurde es kurzfristig extrem kalt in Januar mit ca. 2 Wochen mit mehr als 20 Grad minus. Diese extreme Kälte führte auch dazu, dass in den Gärten Kirschlorbeer (*Prunus laurocerasus*) und der Lorbeerblättrige Schneeball (*Viburnum tinus*) sowie zahlreiche andere immergrüne Sträucher Frostrocknis bekamen und abstarben. Im Grunde boten diese Bedingungen einen besonderen Härtestest für die WB.

### 2.9.3 Klima/Witterung 2013

In Neubrandenburg herrschten ab Mitte Januar extrem kalte Temperaturen vor. Der Winter war in ganz Norddeutschland ausgeprägt und lang. Das führte erneut zu einer besonderen Belastung der WB. Die tiefste Temperatur des Jahres wurde am 24. März gemessen – einem Zeitpunkt an dem eigentlich viele Pflanzen ihre Winterruhe beendet haben. Erst Ende April trieben die Pflanzen in den Wandmodulen aus. Der Sommer war tendenziell etwas kalt, nur in zwei Nächten fiel die Temperatur nicht unter 20 Grad (Klimatologische Definition für „Tropennacht“). Dieser kurze Zeitraum wurde für Infrarot-Temperaturmessungen, siehe Kap. 2.11 genutzt. Schon Anfang Oktober gab es kurzfristig ersten Bodenfrost, trotzdem gab es bis zum Jahresende noch keinen Eistag. Diese waren der Zeit ab Mitte Januar 2014 vorbehalten.

### 2.9.4 Klima/Witterung 2014

Zu Beginn des Jahres relativ mild, Trotzdem noch 12 Eistage mit ganztägig Temperaturen unter null Grad C. Immerhin 3 bzw. 5. Frosttage in Februar bzw. März. Die Sommertemperaturen waren relativ ausgeglichen, es gab keine Tropennächte. Relativ viel sommerlicher Niederschlag. Im Herbst/ beginnenden Winter milde Temperaturen. Der November verfehlte knapp das Ergebnis, als der mildeste seit Beginn der Klimamessung einzugehen. Demzufolge sahen die WB in Neubrandenburg bis sehr lange in den Herbst gut entwickelt aus. Mit den ersten Frosttagen Anfang Dezember wurde die Bewässerung für den kommenden Winter abgeschaltet.

### 2.9.5 Konzept der klimatischen Messungen an den Wandbegrünungen

Eigene Messungen zur Beschreibung der Wandstandorte sind in den Jahren 2012, 2013 und 2014 erfolgt.

Die Log-32-Messungen im Jahr 2012 und teilweise noch im Jahr 2013 standen im Zeichen der prinzipiellen Charakterisierung der Versuchswände im Vergleich zum Umgebungsklima. Über Monate geführte Messreihen 2012, sind in den Tabellen im Anhang A10.1, A 10.2 – A.10.17 dokumentiert. Es sind jeweils die höchsten und niedrigsten Temperaturen dieses Zeitraumes rot gedruckt (Anhang ab S. 202-206). Mit Hilfe der Auswertung der Extremtemperaturen, wie Frost- und Eistage (Tab.2.20) kann gezeigt werden, dass die Wandstandorte generell etwas abgemilderte winterlichen Temperaturen im Vergleich zu den frei stehenden Messpunkten, wie Neubrandenburg-Trollenhagen oder auch zum Dach-Messpunkt haben.

Die WB befinden sich an Nordfassaden. Trotzdem sind die sommerlichen Extremtemperaturen nahezu identisch mit den auf dem Dach gemessenen Maximalwerten. Vor allem am genannten Gartenhaus kann es zu einem extremen Hitzestau kommen, der bei den Julitemperaturen die 39 Grad Marke erreichte.

Aus den Monate dauernden Messungen im Jahr 2012 sind exemplarisch jeweils ein extrem warmer Sommertag (25. Juli 2012) und ein extrem kalter Wintertag, der 6. Februar 2012 zur Veranschaulichung interpretiert (Abb. 2.11 – 2.14) worden.

Bei den Log-32-Messungen im Jahr 2013 stand die Frage im Mittelpunkt, wie sich die beiden Standorte am Haus 2 und am Gartenhaus unterscheiden, sowie die Frage nach dem sommerlichen Effekt einer WB. Dazu war es nicht wichtig, welche von den Begrünungen für die Messung herangezogen wurde. In der Abb. 2.10 ist Anordnung der Log-32 Datenlogger während dieser sommerlichen Messkampagnen skizziert.

Ziel war es, mit ausgewählten Messungen über jeweils mehrere Tage, den Effekt von WB auf Temperatur- und Luftfeuchte beispielhaft zu ermitteln. Die Anordnung am Gartenhaus, Haus 3 erlaubte es, vor der Begrünung, dahinter und wenige Meter entfernt die typische unbegrünte Holzfassade zu messen. Im Innenhof des Hauses 2 befand sich ein weiterer Sensor vor einer unbegrünten Fassade. Zusätzlich wurden im August 2013 noch zwei weitere Messpunkte eingerichtet, die nicht in der Skizze 2.10 lokalisiert sind. Es handelt sich um die WB „Vivagreen“ ; „vorne und hinten“ bedeutet, vor und hinter der Begrünung. Diese 31 Messtage verfolgten das Ziel, auch für den Standort des geschlossenen Hofes im Haus 2 Informationen über den Effekt einer WB zu erhalten. Die statistischen Werte hiervon sind in der Tab. 2.56 zu finden. Auch hier bestätigt sich, der Effekt der WB auf den Temperaturmittelwert ist marginal, aber sowohl die Maximaltemperaturen als auch die Minimaltemperaturen werden jeweils um ca. 2 Grad beeinflusst.

Mit den Messungen im Jahr 2014 sollten verbliebene Lücken geschlossen werden. Das Kapitel 2.9.6 eröffnet mit der Auswertung, auf dem Dach als Referenz betriebenen Log-32-Datenlogger und der dortigen Klima-Dauermessstelle (siehe Abb. 2.15 ff.). Im Winter 2014 und im Frühjahr 2014 sind die vorhandenen acht Log-32-Datenlogger im Hof Haus 2 konzentriert worden, um zwei Gradienten zu Messen, siehe Benennungen Abb. 2.21. Als passende Auswertung dieses Datensatzes wurde die Korrelationsrechnung angesehen. Es ist für den Leser leicht in den abgedruckten Kreuztabellen, alle Messpunkte untereinander, bzw. mit dem Dachstandort zu vergleichen. Alle Datensätze haben zwar einen ähnlichen Verlauf, aber der Effekt der WB ist deutlich herauszulesen.

Abb. 2.10: Installation der Log 32-Datenlogger 2012 und 2013.

#### Positionierung des Log 32 Gerätes



Hochschule Neubrandenburg, - Gartenhaus, Haus 3

Bezeichnung des Sensors:

- 1: Vor der WB (OptigrünVorne),
- 2: Hinten der WB (90degreeen\_Hinten),
- 3: Unbewachsen (Holzwand – unbegrünt).

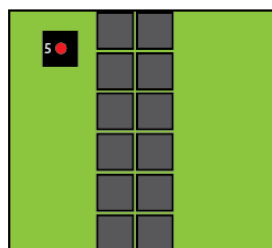
#### Positionierung des Log 32 Gerätes



Hochschule Neubrandenburg Haus 2 (Innenhof) Südfassade:

- 4: Vor der Süd-Klinkerfassade - unbewachsen

#### Positionierung des Log 32 Gerätes



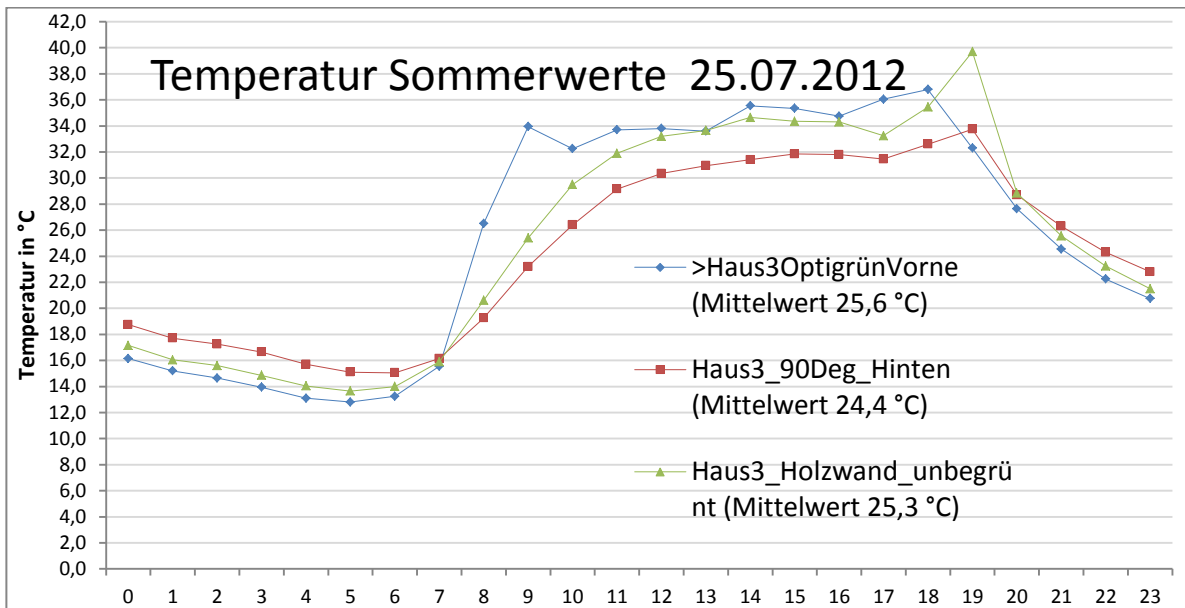
Dachreferenz-Messpunkt auf dem Haus 2 an der Dach-Klimamessstelle.

- 5: Dach-Referenz: TEMP.\_DachH2

Jeder Log-32 Datenlogger liefert:

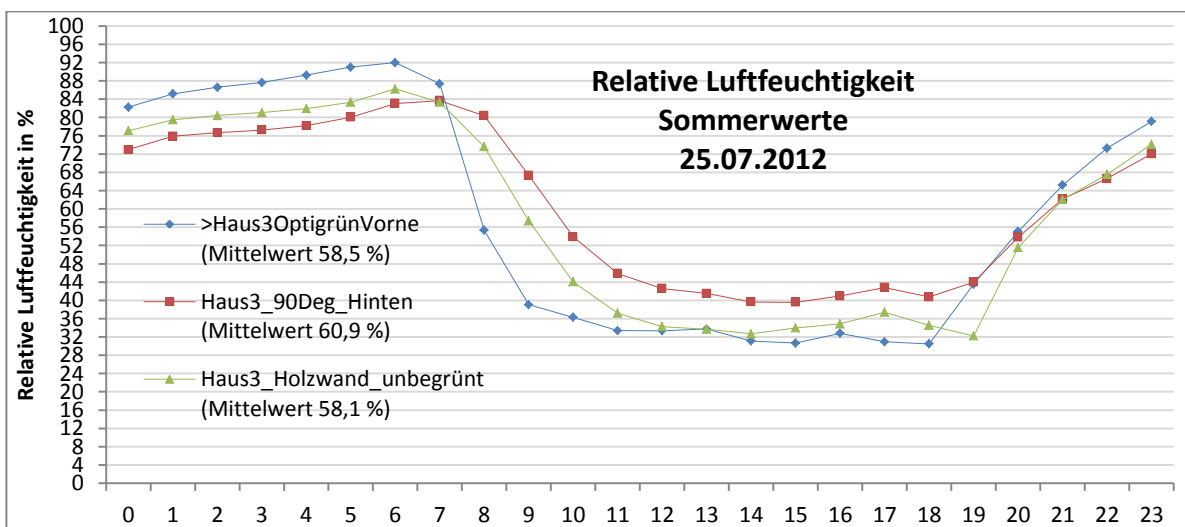
- Temperatur der Umgebungsluft,
- Relative Feuchte in %,
- Dampfdruck als errechnete Größe.

Abb. 2.11: Exemplarische Temperaturwerte eines Sommertags 25.07.2012, vor- und hinter einer begrünter Wand, sowie vor einer unbegrünter Holzwand.



Die Abb. 2.11 erläutert die Tageswerte eines heißen Sommertages der eingesetzten Messfühler am Haus 3 (Abb. 2.10). Der Tagesmittelwert vor der Begrünung (Blau) mit 25,6 Grad C und vor der unbegrünter Holzwand (Grün) mit 25,3 Grad C. nahezu identisch mit nur 0,3 K Differenz. Der Blick auf den Tagesverlauf zeigt eine gedämpfte Amplitude; hinter der Begrünung ist es in den Nachtstunden bei diesem Beispiel etwa 2 Grad wärmer, die Tagesspitze 3-4 K gedämpfter. Die Begrünungsmodule dämpfen an heißen Tagen bis zu 6 Grad C. An weniger heißen Tagen liegt dieser Effekt bei 1-2 K. Der kurzzeitige Peak zwischen 18:00 und 20:00 ist bedingt durch die direkt auf die Wand fallende Abendsonne und damit bedingt eine kurzfristige direkte Aufheizung. Mit den gleichen Sensoren ist ein exemplarischer winterlicher Tagesgang der Temperaturen in der Abb. 2.13 gedruckt.

Abb. 2.12: Exemplarischen Tageswerte der relativen Luftfeuchtigkeit, Beispiel des Tagesgang eines Sommertages vom 25.07.2012, vor- und hinter einer begrünter Wand, sowie vor einer unbegrünter Holzwand.

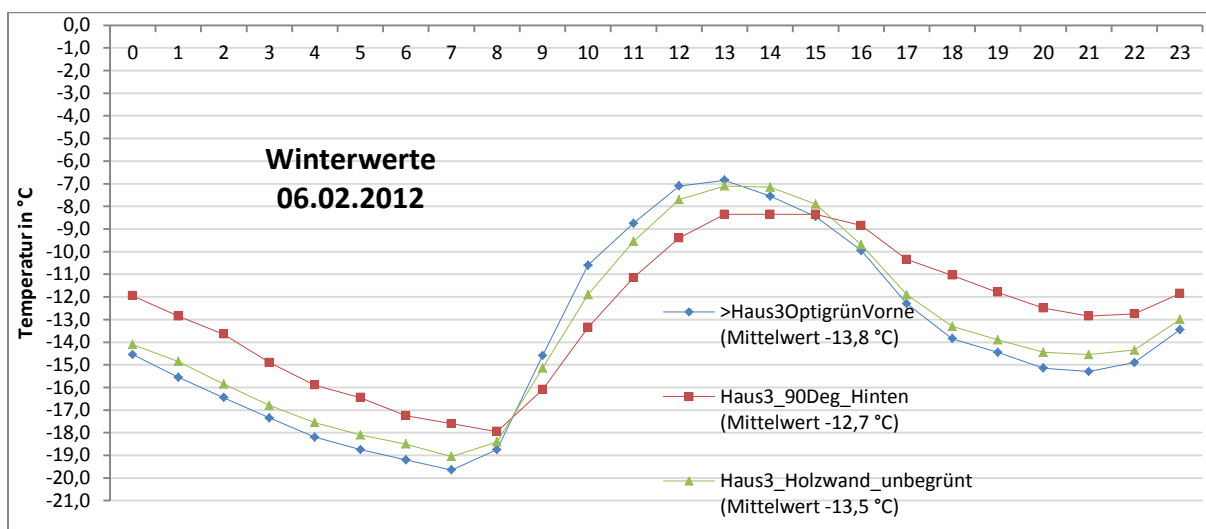


Auch bei der relativen Luftfeuchtigkeit sind die Tagessummenwerte vor der Begrünung (Blaue Linie) und vor der unbegrünten Holzwand (Grüne Linie) mit 58,5 und 58,1% relative Feuchte nahezu identisch.

Ein Blick auf die Tagesgänge verdeutlicht den Effekt der Begrünung; etwa höhere Luftfeuchte durch Taubildung auf den Pflanzenteilen mit Werten um 85% (Blaue Linie). Hinter Begrünung ist es etwa 3% trockener (Rote Linie). In den Mittagsstunden ist die Luftfeuchte hinter der Begrünung höher mit etwa 7%. Nachdem die direkte Sonneneinstrahlung gegen 20:00 vorbei ist, steigen alle Werte der rel. Feuchtigkeit steil an.

Die Abb. 2.13 erläutert in gleicher Weise die Werte eines extrem kalten und strahlungsreichen Wintertages. Im Mittelwert über den Tagesverlauf ist der Effekt der Begrünung (Rote Linie) im Vergleich zur unbegrünten Wand (Grüne Linie) als auch zum Messpunkt vor der Begrünung (Blaue Linie) etwa 1 Grad. Das ist eine nennenswerte Milderung der Extremkälte an diesem Tag. Der Tagesgang hinter der Begrünung (Rote Linie) zeigt den Effekt in den Nachtstunden mit etwa zwei Grad höheren Temperaturen, in den Tagstunden wird die Aufwärmung durch die Sonne um etwa ein Grad gemindert. Die winterlich geringe mittägliche Aufwärmung führt zu einer langsameren erneuten Abkühlung hin zu den Nachtstunden.

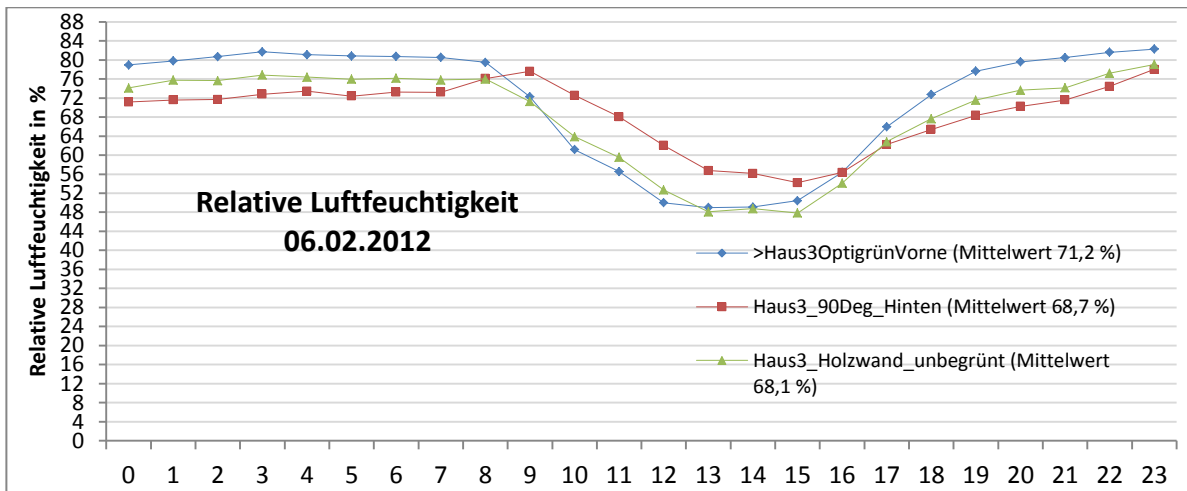
Abb. 2.13: Exemplarischen Tageswerte eines kalten Wintertages, 06.02.2012: Temperaturen, vor- und hinter einer begrünten Wand, sowie vor einer unbegrünten Holzwand.



Die Abb. 2.14 zeigt für den gleichen Tag mit winterlichen Extremtemperaturen den Tagesgang der relativen Feuchte. Vergleicht man zunächst nur die Gesamttageswerte so ist der Wert hinter der WB (Rot) mit 68,7 dem Wert vor der Holzwand (Grün) mit 68,1 nahezu identisch. Vor der Begrünung (Blau) sind die Werte mit 71,2 erwartungsgemäß begrünungsbedingt etwas angehoben. In den Nachtstunden ist die relative Feuchte aufgrund der in der voranstehenden Abbildung dargestellten höheren Temperatur etwas niedriger.

Ein Begrünungsmodul hat somit einen positiven Effekt von einigen Prozentpunkten auf die Regulation der Relativen Feuchte im Winter an der Wand, dieser Effekt kann diesen extrem kalten Tagen etwa 4% ausmachen.

Abb. 2.14: Exemplarische Tageswerte eines kalten Wintertages 06.02.2012: Relative Luftfeuchtigkeit, vor- und hinter einer begrünten Wand, sowie vor einer unbegrünten Holzwand.



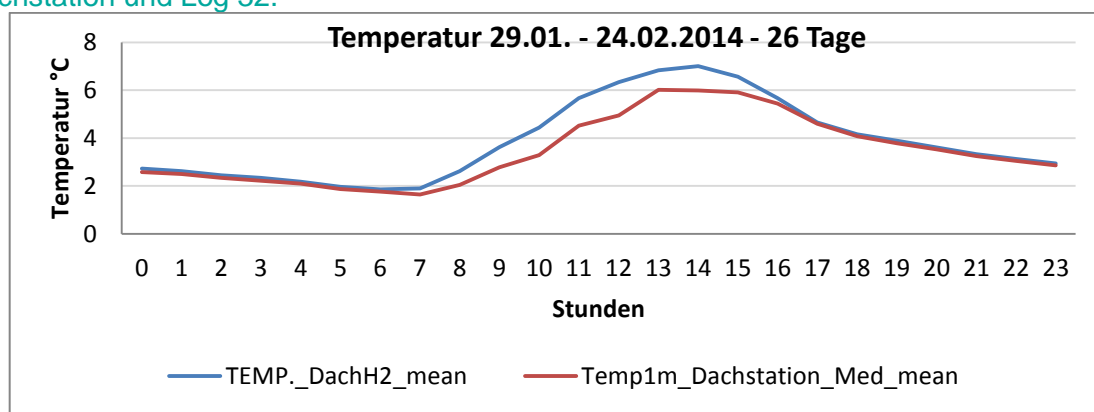
## 2.9.6 Klimatische Messungen im Untersuchungszeitraum 2013/2014

### 2.9.6.1 Vergleich zwischen der Dach-Referenzstation und dem Log 32 Datenlogger auf dem Dach

Die Messungen im Jahr 2013, 2014 sollten typische Witterungen charakterisieren, die Messphasen fielen unterschiedlich lang aus:

- Abgleich der Genauigkeit der Log-32 Datenlogger mit der Dach-Klimastation.
- Ausgewählte Messkampagnen zu unterschiedlichen Jahreszeiten
- Im Jahr 2014: Gradientenmessungen mit allen Log-32 Datenloggern vor jeweils einer begrünten und einer unbegrünten WB im Innenhof, Haus 2, s. Kap. 2.10.7.
- Statistische Auswertung

Abb.2.15: Temperaturdiagramm 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage, Vergleich zwischen Dachstation und Log 32.



Anfang 2014 erfolgte die hier dokumentierte Überprüfung der Zuverlässigkeit der relativ preisgünstigen LOG32 Loggern mit den klassischen WMO-Messwertgebern für Lufttemperatur (Bezeichnung des Sensor: Temp1m\_Dachstation) und dem Hygrometer zur direkten Messung der relativen Luftfeuchte (Anbieter: Thiesclima, Göttingen). Hierzu wurden für eine 26 tägige Winterkampagne und einer Frühjahrmessung mit acht Tagen im März, die

Kleindatenlogger parallel an der Dachmessstation betrieben und die Werte statistisch ausgewertet. Die Log 32 Sensoren waren in einem Schutzgehäuse aufgebaut, das vergleichbar zu den Thermohygrographen von Thiesclima vor der direkten Einstrahlung schützt.

Diese Werte und alle nachfolgenden Statistiken wurden mit dem Programm SPSS, Version 22, durchgeführt. Dank des Programms SPSS war es auch möglich, mehrtägige Datenreihen zu einem Tagesdiagramm zusammenzufügen (ab Abb. 2.15).

**Im nachfolgenden Text sind die aus den Analysen stammenden Original – SPSS – Datenausdrucke verwendet aber übersetzt. Die Ergebnisse wurden auf eine Dezimalstelle gekürzt. Erläuterungen zur Statistik sind angefügt.**

In Abb. 2.15 ist aus 26 Tagen ein mittlerer Tagesgang gebildet worden. Die blaue Linie ist der ausgewählte Log-32 Datenlogger über diesen Zeitraum. Die rote Linie sind die Werte des Thies – Referenz-Sensors.

Die Werte sind nicht komplett vergleichbar, weil bei der Dachstation alle 10 Sekunden Messungen durchgeführt werden, die zu 15 Minuten-Mittelwerten aggregiert werden. Diese sind im Diagramm aufgetragen. Die Log-32 Geräte liefern alle 30 Sekunden einen Messwert der zu 5 Minuten Werten geformt wird. Beide Geräte sind strahlungsgeschützt installiert. Innerhalb dieses Zeitraumes ergeben sich die im Nachfolgenden dargestellten statistischen Auswertungen. Die Abweichung sind bei 26 Tagen nur 0,3 K im Mittelwert – also gut vergleichbar. Der mittägliche Tagesgang unterscheidet sich etwas. Das kann an dem jeweiligen Aufbau liegen. Die dazu gehörigen beschreibenden Statistikgrößen sind der Tab. 2.21 zu entnehmen, der Log 32 (TEMP.DachH2) weicht geringfügig mit 0,3 K ab.

Tab.2.21: Beschreibende Statistik für den Messzeitraum 29.01.2014 – 24.02.2014.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl Messtage	Grad C	Grad C	Grad C				Standardfehler
TEMP._DachH2_mean	24	1,9	7,0	3,8	1,7	2,8	-0,9	0,9
Temp1m_Dachstation_Med_mean	24	1,6	6,0	3,5	1,4	2,1	-1,1	0,9
Gültige Werte N	24							

**Erläuterung: für diese und alle folgenden „beschreibenden Statistiktabelle“:**

- N: Anzahl der verarbeiteten Messpunkte in diesem Datensatz;
- Innerhalb der Werte; jeweils Angaben der Minimal-,Maximal- und Mittelwerte;
- Standardabweichung / Varianz: stat. Maße für Abweichungen der Messwerte vom Mittelwert.
- Kurtosis: Werte unter null sind „flachgipfelig normalverteilt“

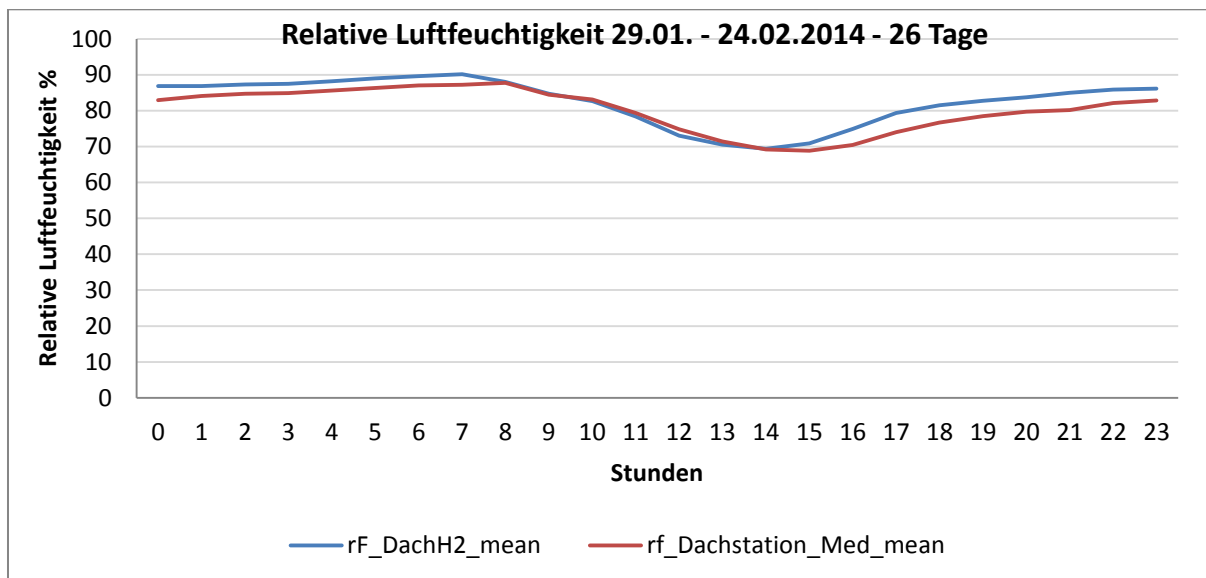
Die Korrelationsrechnung Tab. 2.22 zwischen beiden Messfühlern bestätigt die hoch signifikante Vergleichbarkeit beider Messungen. Die exemplarisch durchgeführten Varianzanalysen Anova bestätigten das Ergebnis ebenfalls, ein Beispiel ist im Anhang abgedruckt, siehe Tab. 2.32a-n, S. 207-208).

Tab.2.22: Stat. Abgleich der Temperatur-Messwerte Klimastation und Log-32 auf dem Dach Zeitraum 29.01.2014 – 24.02.2014.

Korrelation			
		TEMP._DachH2_mean	Temp1m_Dachstation_Med_mean
Lufttemperaturen, gemessen mit Log 32 – Sensor auf dem Dach, Haus 2 - Mittelwerte	Pearson Korrelation	1	,942**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	24	24
Lufttemperatur, mit Thies – Normsensor in 1 m der Dach-Referenzstation, Haus 2 , Mittelwerte	Pearson Korrelation	,942**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	24	24

\*\* Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig),  
 Pearson Korrelation: dimensionsloses Maß für den linearen Zusammenhang zweier intervallskalierter Messgrößen: 1 = Werte sind identisch.

Abb.2.16: Relative Luftfeuchtigkeit 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage, Vergleich zwischen Dachstation und Log 32.



Vergleich zur Genauigkeit der relativen Feuchtemessung mit Log-32 Sensoren: (Abb.2.16). Die beiden Systeme arbeiten ebenfalls signifikant vergleichbar, wie dieser Vergleichstest zeigt. Die nachfolgenden Statistiken, Tab. 2.23 ff. zeigen die Messwerte im Einzelnen. Beim Maximalwert liegt der Log 32 mit 90% rel. Feuchte etwas über dem Thiessensor, der zum gleichen Zeitpunkt 88% anzeigte. Im Mittelwert dieses Zeitraumes ergibt sich eine Abweichung von 2,4% rel. Feuchte. Bei allen nachfolgenden Auswertungen der Untersuchungsstandorte sind ausschließlich die Log-32 Messwerte miteinander verglichen worden.

Tab.2.23: Beschreibenden Statistik, rel. Feuchte vom 29.01.2014 – 24.02.2014.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl Messtage	Grad C	Grad C	Grad C				Standardfehler
rF_DachH2_Mittelwerte	24	69,4	90,2	82,6	6,5	41,83	-,4	,918
rf_Dachstation_Mittelwerte	24	68,8	87,7	80,3	6,0	35,93	-,8	,918
Gültige Werte N	24							

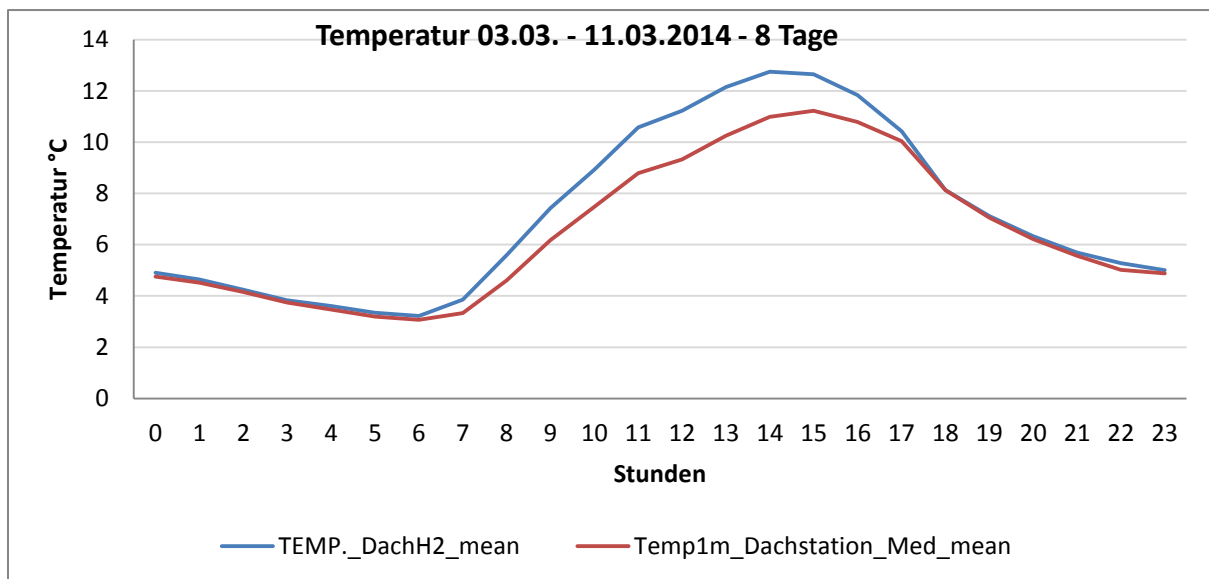
Tab.2.24: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchtigkeit vom 29.01.2014 – 24.02.2014.

Korrelation			
		rF_DachH2_mean	rf_Dachstation_Med_mean
rF_DachH2_mean	Pearson Korrelation	1	,948**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	24	24
rf_Dachstation_Med_mean	Pearson Korrelation	,948	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	24	24

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)



Abb.2.17: Temperaturdiagramm 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage, Vergleich zwischen Dachstation und Log 32.



Die beispielhaft gemessenen acht Tage zur Kalibrierung bestätigen die statistische Vertrauenswürdigkeit und Vergleichbarkeit beider Messsysteme. Die klimatische Verschattung im Aluminiumgehäuse des Thies-Sensors der Dachstation arbeitet bei hohen Temperaturen etwas akkurater (besser belüftet). Der Thies Sensor liegt in diesem Zeitraum bei 6,5°C, der Log 32 mit 7,2 °C etwas, aber noch akzeptabel höher.

Tab.2.25: Beschreibende Statistik für den Messzeitraum 03.03.2014 – 11.03.2014.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl	Grad C	Grad C	Grad C				Standardfehler
TEMP._DachH2_mean	24	3,2	12,7	7,2	3,3	10,8	-1,3	,9
Temp1m_Dachstation_Med_mean	24	3,1	11,2	6,5	2,7	7,7	-1,3	,9
Gültige Werte N	24							

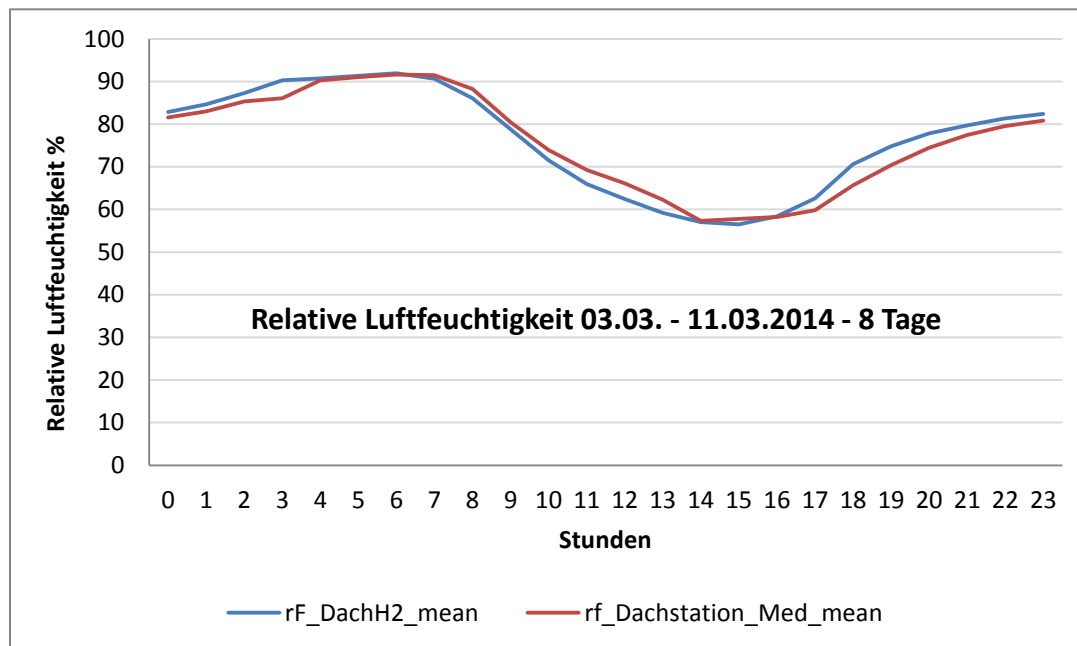
Tab.2.26: Korrelationen der Temperaturen vom 03.03.2014 – 11.03.2014.

Korrelation			
		TEMP._DachH2_mean	Temp1m_Dachstation_Med_mean
TEMP._DachH2_mean	Pearson Korrelation	1	,988**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	24	24
Temp1m_Dachstation_Med_mean	Pearson Korrelation	,988**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	24	24

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)



Abb.2.18: Relative Luftfeuchtigkeit 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage, Vergleich zwischen Dachstation und Log 32.



Für den Vergleichszeitraum arbeiten beide Systeme zuverlässig und vergleichbar siehe die nachfolgenden Zahlen, beim Mittelwert nur 76,5% rel. Feuchte (Thies) gegenüber 75,9 % rel. Feuchte (Log 32).

Tab.2.27: Beschreibenden Statistik, rel. Feuchte vom 03.03.2014 – 11.03.2014.

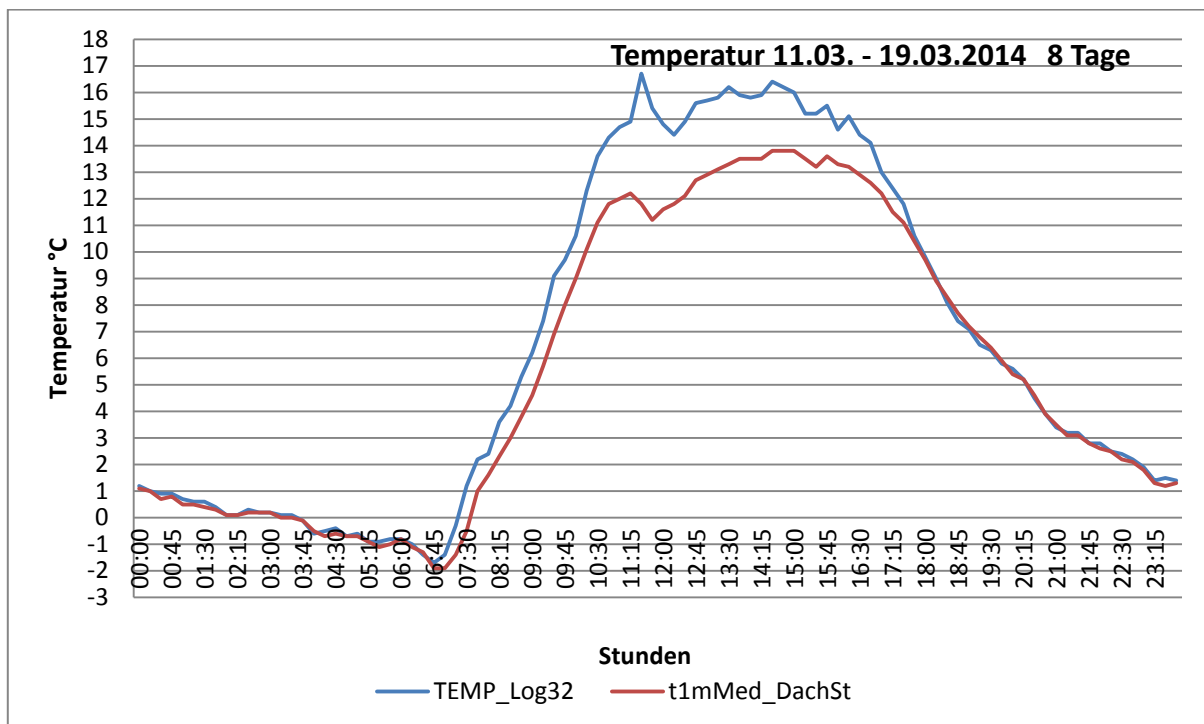
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl	Grad C	Grad C	Grad C				Standardfehler
rF_DachH2_mean	24	56,5	91,9	76,5	12,2	148,4	-1,3	,9
rf_Med_Dachstation_mean	24	57,3	91,6	75,9	11,7	135,9	-1,3	,9
Gültige Werte N	24							

Tab.2.28: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchtigkeit vom 03.03.2014 – 11.03.2014.

Korrelation			
		rf_Med_Dachstation_mean	rF_DachH2_mean
rf_Med_Dachstation_mean	Pearson Korrelation	1	,979**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	24	24
rF_DachH2_mean	Pearson Korrelation	,979**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	24	24

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.19: Temperaturdiagramm 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage, Vergleich zwischen Dachstation und Log 32.



Die Vergleichsmessungen zwischen den Luft-Temperatur-Messungen mit dem Thies Sensor t1mMed und dem Log32-Sensor zeigt in den Mittagsstunden eine gewisse Abweichung, die sich aus dem Strahlungsgehäuse ableiten lässt. Der Verlauf ist hier exemplarisch für einen Tag im Frühjahr aufgetragen und mit der nachfolgenden Statistik versehen. Die Abweichung beträgt ca. 1 K, gleiche Größenordnung hat die Abweichung auch bei sommerlichen Temperaturen.

Tab.2.29: Beschreibende Statistik für den Messzeitraum 11.03.2014 – 19.03.2014.

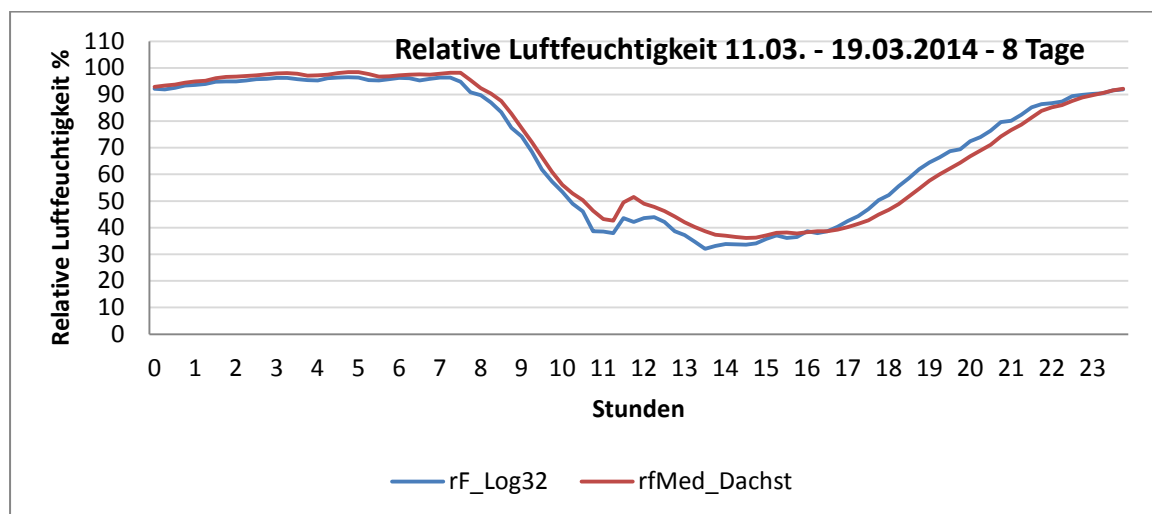
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl	Grad C	Grad C	Grad C				Standardfehler
TEMP_Log32_mean	96	-1,7	16,7	6,4	6,38	40,8	-1,50	,5
t1mMed_DachSt_mean	96	-1,9	13,8	5,5	5,48	30,0	-1,56	,5
Gültige Werte N	96							

Tab.2.30: Korrelationen der Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014.

Korrelation			
		TEMP_Log32_mean	t1mMed_DachSt_mean
TEMP_Log32_mean	Pearson Korrelation	1	,992
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	96	96
t1mMed_DachSt_mean	Pearson Korrelation	,992	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	96	96

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.20: Relative Luftfeuchtigkeit 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage, Vergleich zwischen Dachstation und Log 32.



Die Werte mit dem Haar-Hygrometer von Thies und der kapazitive Feuchtesensor im Log-32 sind vergleichbar, die Abweichung ist nur ca. 1% rel. Feuchte.

Tab.2.31: Beschreibenden Statistik, rel. Feuchte vom 11.03.2014 – 19.03.2014.

Beschreibende Statistik			
	Mittelwert	Standardabweichung	Anzahl N
rF_Log32_mean	70,5	24,3	96
rfMed_Dachst_mean	71,3	24,0	96

Tab.2.32: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchtigkeit vom 11.03.2014 – 19.03.2014.

Korrelation			
		rF_Log32_mean	rfMed_Dachst_mean
rF_Log32_mean	Pearson Korrelation	1	,989
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	96	96
rfMed_Dachst_mean	Pearson Korrelation	,989**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	96	96

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

## 2.9.7 Messungen im Winter 2014

Die Messsensoren waren in diesem Zeitraum an den WB von Sempergreen (Nord 2011, bzw. Süd 2012 aufgebaut) sowie an dem flächigen Modul (90degree) Nordfassade montiert. Die WB (Sempergreen) befinden sich vor einer Klinkerfassade im Innenhof des Lehrgebäudes 2, die 90degree Variante vor der Holzfassade am Gewächshaus des Gebäudes 3.

Zur Messung konnten wieder die bereits beschriebenen Log32- Kleindatenlogger genutzt werden. Aus den Einzeldaten der Messkampagnen wurden summarische Tagesgänge ermittelt, um von Einzelsituationen zu prinzipiellen Aussagen zu gelangen. Die Anzahl der jeweils in den Tagesdiagrammen verarbeiteten Tage sind in den Diagrammen vermerkt. Für die Zusammenfassung der Daten als auch für die Statistik bot das Programmpaket SPSS vielseitige Möglichkeiten. Für die graphische Aufarbeitung sind die Datensätze in Excel überführt worden.

Aus den Messungen der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit wurde der Taupunkt berechnet, die Statistiken hierzu sind nur auszugsweise im Text, die weiteren sind im Anhang beigefügt.

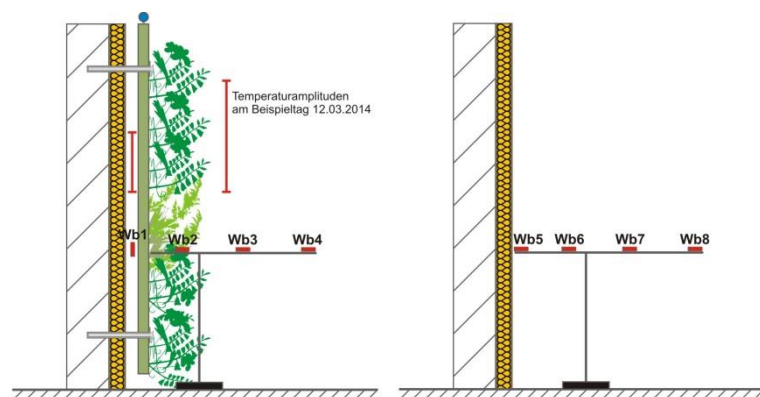
Zur Veranschaulichung ist die Montage der Kleindatenlogger in der Abb. 2.1 angefügt. WB 1 und WB 5 befinden sich hinter den Modulen, direkt auf der Stein-, bzw. Holzfassade. Sie nennen die Werte hinter einer entsprechenden Begrünung. WB 2 und WB 6 befinden sich etwa 30 cm vor der WB bzw. vor den Substraten. WB 3 und WB 7 sind etwa 66 cm vor der jeweiligen Fassade, WB 4 und WB 8 sind in einem Abstand von etwa 100 cm installiert. Zum Vergleich befindet sich neben dem begrünten Gradienten ein gleicher Messaufbau vor einem unbegrünten Teil der Fassade.

Der Abgleich zwischen einem LOG 32 erfolgte, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, mit der Dauermessstation Dach aus dem Hochschul-Gründachprojekt. Die Temperatursensoren auf dem Dach sind regengeschützt und verschattet auf etwa 1 m Höhe über dem Dach montiert, siehe Kap. 2.10.6.

Mit den Datenloggern wurden 5 – Minutenwerte abgespeichert, die im weiteren Verlauf ausgewertet wurden. Messintervalle waren 29.01.2014 – 24.02.2014 (Wintermessung), die Frühjahrmessung erfolgte an der Vivagrün – Wand von 03.03.2014 – 11.03.2014, die dritte Messperiode fand vom 11.03.2014 – 19.03.2014 am Sempergreen – Süd – Modul statt.

Mit dem Statistikpaket SPSS, Vers. 22 wurde zunächst eine beschreibende Analyse durchgeführt, Programm „Descriptive statistic“ und „Means“ um Extrem- und Mittelwerte aufzuzeigen. Danach erfolgte mit den Datensätzen jeweils eine Varianzanalyse, Programm „Anova“ sowie verschiedenen Korrelationstests. Mit den letztgenannten kann jeder einzelne Sensor mit jedem der übrigen verglichen werden.

Abb 2.21: Positionen der Log-32 Sensoren vor der Wandbegrünung und vor der unbegrünten Vergleichswand. WB 1 (hinter dem Modul), WB 5 direkt auf der unbegrünten Steinwand. WB 2 und WB 6, etwa 30 cm vor der Wand, bzw. vor dem Modul. WB 3 und WB 7 sind etwa 66 cm vor der der jeweiligen Fassade, WB 4 und WB 8 in einem Abstand von etwa 100 cm



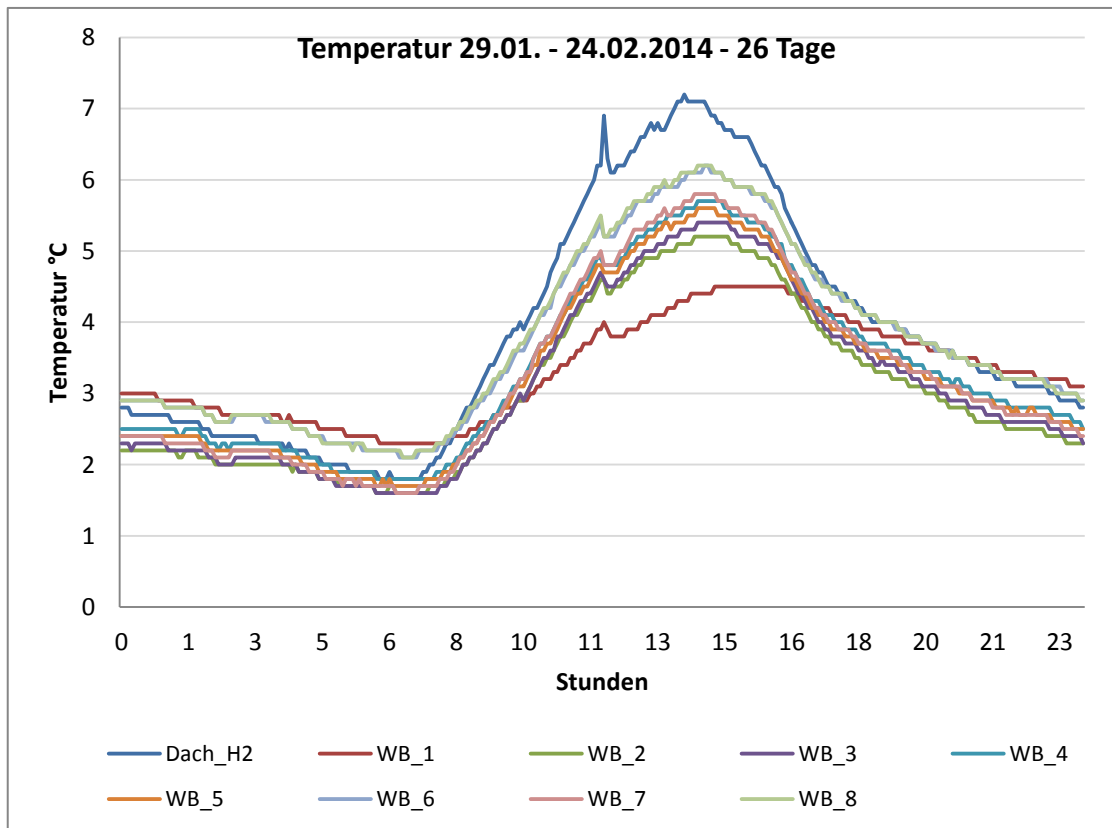
### 2.9.7.1 Messungen am Vivagrün Modul – Nordfassade im Frühjahr 2014

Die Werte sind in verschiedenen Formen graphisch aufbereitet. Der gesamte winterliche Zeitraum ist zunächst zu einem zusammenfassenden Tagesgang in Abb. 2.22 zusammengefasst. Der Messpunkt auf dem Dach hebt sich etwas von der gesamten sonst ähnlich verlaufenden Kurvenschar ab. Zur Veranschaulichung sind ausschließlich die tiefsten gemessenen Temperaturen des kältesten Tages in einem Einzeldiagramm hervorgehoben (Abb. 2.23). Während dieses 26-tägigen Winterintervalls lag die niedrigste Temperatur bei -7,7 Grad C am 31. Januar 2014. Es gab weitere Frosttage, so dass auch dieser Winter am Standort Neubrandenburg als typisch kalt, aber nicht extrem kalt wie die vorangegangenen Jahre waren.

Zur Einschätzung der Einflussgröße einer Wandbegrünung auf die Oberflächentemperaturen, ist ein Vergleich des Messwertes WB 1 (hinter der Begrünung) mit den übrigen Messpunkten hilfreich. Die Werte von WB 1 (hinter der Begrünung) und WB 5 gleiche Position vor der unbegrünten Wand sind in der Tab.2.32 zum Vergleich farbig unterlegt, die Amplitude der Werte ist 3 K gedämpft. Der Unterschied von WB 1 zu WB 4 vor der Begrünung ist etwa ein Grad K (WB 1 -6,2°C WB 4 -7,2°C) am kältesten Tag dieser Messperiode (31.01.2014). Die größte Differenz am wärmsten Tag dieser Messperiode war etwa 3 K. (WB 1 7,5°C und WB 4 10,5°C). Der Spitzenwert dieser Winterphase wurde mit

dem verschatteten Dachsensor Haus2\_Dach in sonnigen Mittagsstunden von 21 °C kurzfristig gemessen, was sich nachträglich als Messfehler einstufen lies, da es einen Wärmestau durch die direkte Sonneneinstrahlung auf das Schutzgehäuse des Sensors gab.

Abb.2.22: Durchschnittstemperaturen 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage, Module flächig (Vivagrün).



Tab.2.32: Beschreibende Statistik für den Messzeitraum 29.01.2014 – 24.02.2014.

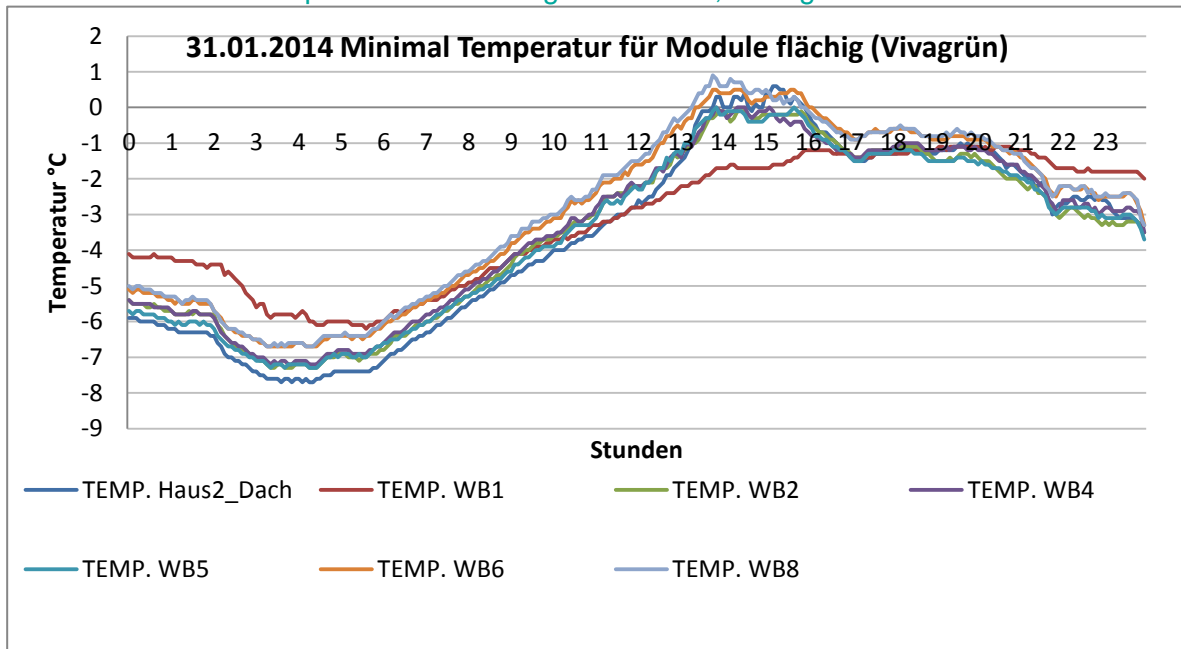
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl	Grad C	Grad C	Grad C				Standardfehler
TEMP._Dach H2	7464	-8	21	3,8	4,1	16,4	,9	,06
TEMP._WB1	7464	-6	8	3,3	3,1	9,7	1,0	,06
TEMP._WB2	7464	-7	10	3,0	3,5	11,9	1,1	,06
TEMP._WB3	7464	-7	10	3,1	3,6	12,8	1,1	,06
TEMP._WB4	7464	-7	11	3,3	3,6	12,7	1,1	,06
TEMP._WB5	7464	-7	10	3,2	3,6	12,9	1,2	,06
TEMP._WB6	7464	-7	11	3,7	3,6	12,7	1,1	,06
TEMP._WB7	7464	-8	11	3,3	3,6	13,3	1,1	,06
TEMP._WB8	7464	-7	11	3,7	3,6	12,7	1,1	,06
Gültige Werte N	7464							

In der Korrelationsrechnung Tab. 2.33 sind die Messwerte miteinander verglichen. Der Korrelationskoeffizienten zwischen den Dachwerten und den übrigen Sensoren liegen alle deutlich über 90 Prozent. Das bestätigt den signifikanten Verlauf aller Module. Ein Beispiel hieraus: Sensor „WB1“ zeigt den Effekt der Begrünung, der direkt vergleichbare Sensor ist „WB5“ gleiche Position vor der unbegrünten Wand. Der Korrelationswert ist mit 0,972 hochsignifikant ähnlich.

In der Abb. 2.23 mit den Minimaltemperaturen ist der Sensor WB1 (hinter der Begrünung-Rote Linie) besonders beachtenswert. Der nächtliche Dämmeffekt sowohl die mittägliche geringere Aufheizung ist besonders gut zu erkennen.

Aus den folgenden Korrelationstabellen ist jeder einzelne Messpunkt mit jedem anderen hinsichtlich des Verlaufes verrechnet worden. Die weiteren, hierzu gehörenden Tabellen zur Varianzanalyse ANOVA sind für diese Berechnung im Anhang als Tab. 2.32.a-o exemplarisch beigefügt. Für die weiteren Auswertungen sind ähnliche Berechnungen erfolgt.

Abb.2.23: Minimaltemperaturen Einzeltag 30.01.2014, flächiges Modul.

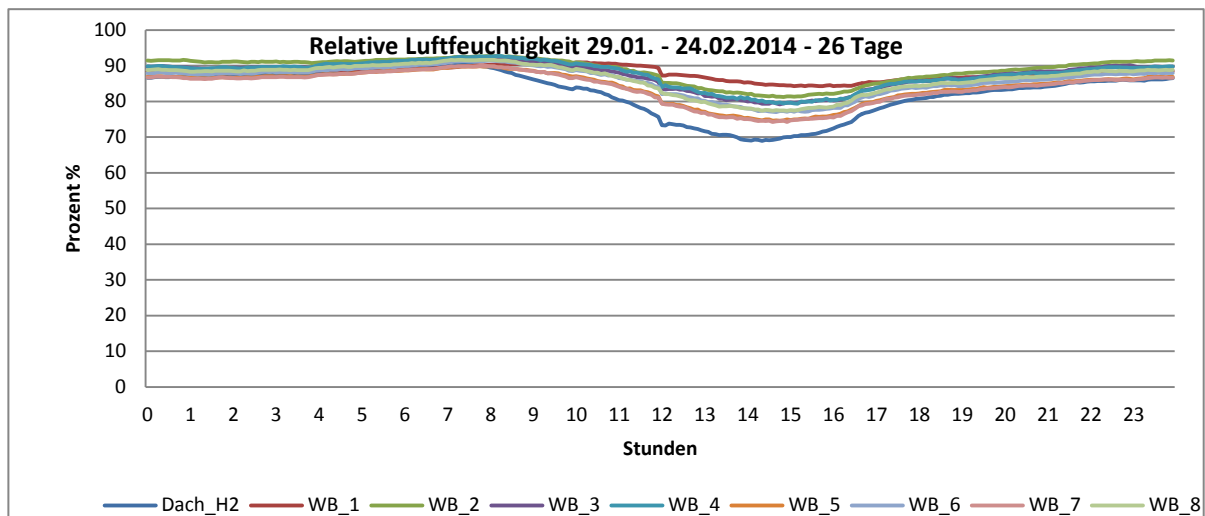


Tab.2.33: Korrelationen der Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014.

		TEMP. _Dach H2	TEMP. _WB1	TEMP. _WB2	TEMP. _WB3	TEMP. _WB4	TEMP. _WB5	TEMP. _WB6	TEMP._W B7	TEMP._W B8
TEMP. _Dach H2	Pearson Korrelation	1	,932**	,959**	,971**	,971**	,970**	,972**	,974**	,974**
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TEMP. _WB1	Pearson Korrelation	,932**	1	,975**	,969**	,966**	,972**	,967**	,963**	,962**
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TEMP. _WB2	Pearson Korrelation	,959**	,975**	1	,996**	,995**	,997**	,995**	,995**	,994**
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TEMP. _WB3	Pearson Korrelation	,971**	,969**	,996**	1	,999**	,999**	,999**	,999**	,998**
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TEMP. _WB4	Pearson Korrelation	,971**	,966**	,995**	,999**	1	,998**	,999**	,999**	,999**
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TEMP. _WB5	Pearson Korrelation	,970**	,972**	,997**	,999**	,998**	1	,999**	,999**	,998**
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TEMP. _WB6	Pearson Korrelation	,972**	,967**	,995**	,999**	,999**	,999**	1	,999**	,999**
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TEMP. _WB7	Pearson Korrelation	,974**	,963**	,995**	,999**	,999**	,999**	,999**	1	1,000**
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TEMP. _WB8	Pearson Korrelation	,974**	,962**	,994**	,998**	,999**	,998**	,999**	1,000**	1
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.24: Relative Luftfeuchtigkeit 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage, Module flächig (Vivagrün).



Während des 26 tägigen Intervalls zwischen 29.01.2014 – 24.02.2014 lagen die geringsten Werte der relativen Feuchtigkeit am Messpunkt Dach bei 37%, Taubildung bei 100% war längere Zeit, insbesondere bei WB 4 erreicht. Die größten Differenzen bestanden zwischen WB 1 mit 84,1% und WB 4 mit 73,2%.

Die geringste Korrelation fand sich zwischen dem Datenlogger Dach und WB 1 (hinter der Begrünung) mit nur 64% Ähnlichkeit. Die übrigen Luftfühler wiesen eine Korrelation von etwa 80% auf. Statistisch sind all diese Verläufe hoch signifikant.

Tab.2.34: Beschreibenden Statistik, rel. Feuchte vom 29.01.2014 – 24.02.2014.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mean	Standard-abweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl	%	%	%				Standard-fehler
rF_Dach H2	7464	26	100	82,6	11,1	122,4	-,2	,057
rF_WB1	7464	33	100	87,9	6,4	40,6	1,4	,057
rF_WB2	7464	36	100	88,8	7,5	56,1	,5	,057
rF_WB3	7464	37	100	87,5	9,1	81,8	-,2	,057
rF_WB4	7464	45	100	87,7	9,1	83,0	-,2	,057
rF_WB5	7464	41	99	84,3	9,3	85,5	-,3	,057
rF_WB6	7464	43	100	85,9	9,5	90,4	-,3	,057
rF_WB7	7464	47	99	84,1	9,8	95,1	-,5	,057
rF_WB8	7464	51	100	86,4	9,4	87,6	-,3	,057
Gültige Werte N	7464							

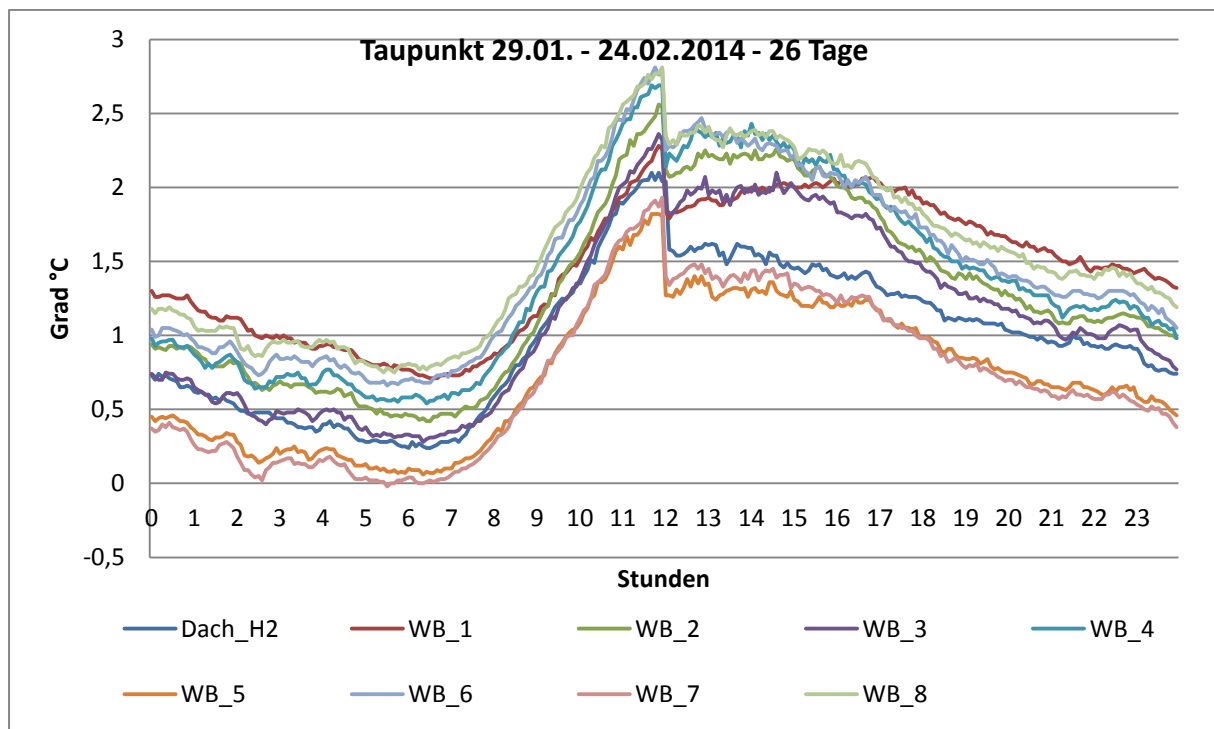


Tab.2.35: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchtigkeit von 29.01.2014 – 24.02.2014.

		Korrelation								
		rF_Dach H2	rF_WB 1	rF_WB2	rF_WB3	rF_WB4	rF_WB5	rF_WB6	rF_WB7	rF_WB 8
rF_Dach H2	Pearson Korrelation	1	,639	,802	,857	,836	,907	,859	,912	,899
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
rF_WB1	Pearson Korrelation	,639	1	,884	,818	,789	,791	,780	,777	,786
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
rF_WB2	Pearson Korrelation	,802	,884	1	,946	,912	,933	,913	,927	,923
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
rF_WB3	Pearson Korrelation	,857	,818	,946	1	,963	,968	,956	,971	,975
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
rF_WB4	Pearson Korrelation	,836	,789	,912	,963	1	,956	,972	,956	,971
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
rF_WB5	Pearson Korrelation	,907	,791	,933	,968	,956	1	,969	,989	,984
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
rF_WB6	Pearson Korrelation	,859	,780	,913	,956	,972	,969	1	,964	,971
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
rF_WB7	Pearson Korrelation	,912	,777	,927	,971	,956	,989	,964	1	,988
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
rF_WB8	Pearson Korrelation	,899	,786	,923	,975	,971	,984	,971	,988	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.25: Taupunkt 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage, Module flächig (Vivagrün).



Die Taupunkttemperatur bedeutet, bei dieser Temperatur kann mit Kondenswasser gerechnet werden. Während dieses winterlichen Messintervalls 29.01.2014 – 24.02.2014,

lag die niedrigste Temperatur WB5 bei -11,7°C. In diesem Diagramm ist der Taupunkt innerhalb dieses Zeitraumes dargestellt, der etwa bei 1,5 Grad liegt und mittags einen Sprung enthält. Auch hier gibt es eine hohe Signifikanz zwischen den Messwerten von über 90%.

Tab.2.36: Beschreibende Statistik zur Taupunkttemperatur, 29.01.2014 – 24.02.2014.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mean	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
		Grad C	Grad C	Grad C				Standard- fehler
TAUPUNKT_Dach H2	7464	-11	8	1,0	3,5	12,0	3,0	,057
TAUPUNKT_WB1	7464	-10	7	1,5	3,5	11,7	2,4	,057
TAUPUNKT_WB2	7464	-11	8	1,3	3,5	12,5	2,7	,057
TAUPUNKT_WB3	7464	-11	8	1,1	3,6	12,9	2,8	,057
TAUPUNKT_WB4	7464	-11	9	1,4	3,6	13,2	2,5	,057
TAUPUNKT_WB5	7464	-12	8	,7	3,6	12,7	2,8	,057
TAUPUNKT_WB6	7464	-11	9	1,5	3,6	13,1	2,5	,057
TAUPUNKT_WB7	7464	-12	8	,7	3,6	12,7	2,7	,057
TAUPUNKT_WB8	7464	-11	9	1,6	3,5	12,5	2,6	,057
Gültige Werte N	7464							

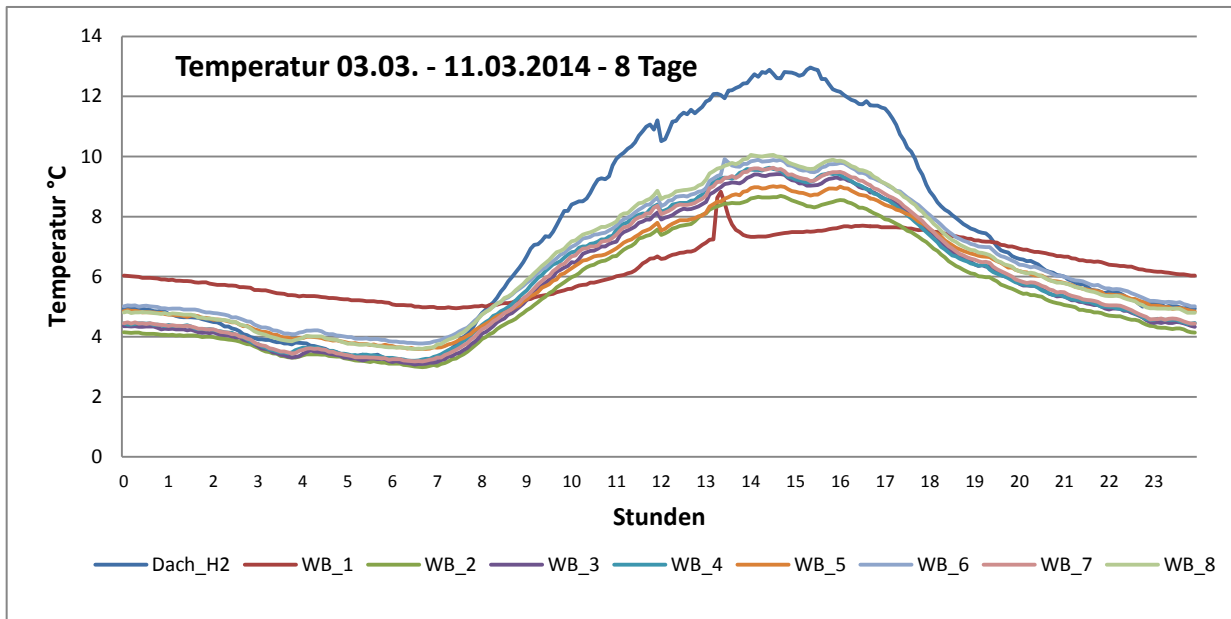
Tab.2.37: Korrelationstabelle für alle Taupunkte vom 29.01.2014 – 24.02.2014.

		TP_Dach H2	TP_WB 1	TP_WB2	TP_WB3	TP_WB 4	TP_WB 5	TP_WB 6	TP_WB 7	TP_WB 8
TP_Dach H2	Pearson Korrelation	1	,980**	,988**	,991**	,989**	,994**	,989**	,993**	,993**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TP_WB1	Pearson Korrelation	,980**	1	,992**	,989**	,987**	,985**	,980**	,984**	,985**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TP_WB2	Pearson Korrelation	,988**	,992**	1	,997**	,995**	,993**	,991**	,993**	,994**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TP_WB3	Pearson Korrelation	,991**	,989**	,997**	1	,996**	,996**	,994**	,996**	,997**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TP_WB4	Pearson Korrelation	,989**	,987**	,995**	,996**	1	,994**	,996**	,994**	,997**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TP_WB5	Pearson Korrelation	,994**	,985**	,993**	,996**	,994**	1	,995**	,999**	,998**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TP_WB6	Pearson Korrelation	,989**	,980**	,991**	,994**	,996**	,995**	1	,995**	,996**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TP_WB7	Pearson Korrelation	,993**	,984**	,993**	,996**	,994**	,999**	,995**	1	,998**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464
TP_WB8	Pearson Korrelation	,993**	,985**	,994**	,997**	,997**	,998**	,996**	,998**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464	7464

\*\* Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

### 2.9.7.2 Messungen am Sempergreen Modul – Nordfassade im Frühjahr 2014

Abb.2.26: Temperaturdiagramm 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage.



Während dieses frühlingshaften Messintervalls von 8 Tagen lag die niedrigste Lufttemperatur bei  $-1,5^{\circ}\text{C}$ , der Maximalwert erreichte an dieser Nordwand mit dem Sensor WB 4  $11,5^{\circ}\text{C}$ . Zum gleichen Zeitpunkt lag der Maximalwert am Messpunkt Dach immerhin schon bei  $22,4^{\circ}\text{C}$ . Ausgewählte Tagesgänge sind in den nachfolgenden zwei Diagrammen zu sehen.

Abb.2.27: 07.03.2014 Minimaltemperatur für die Sempergreen Module flächig.

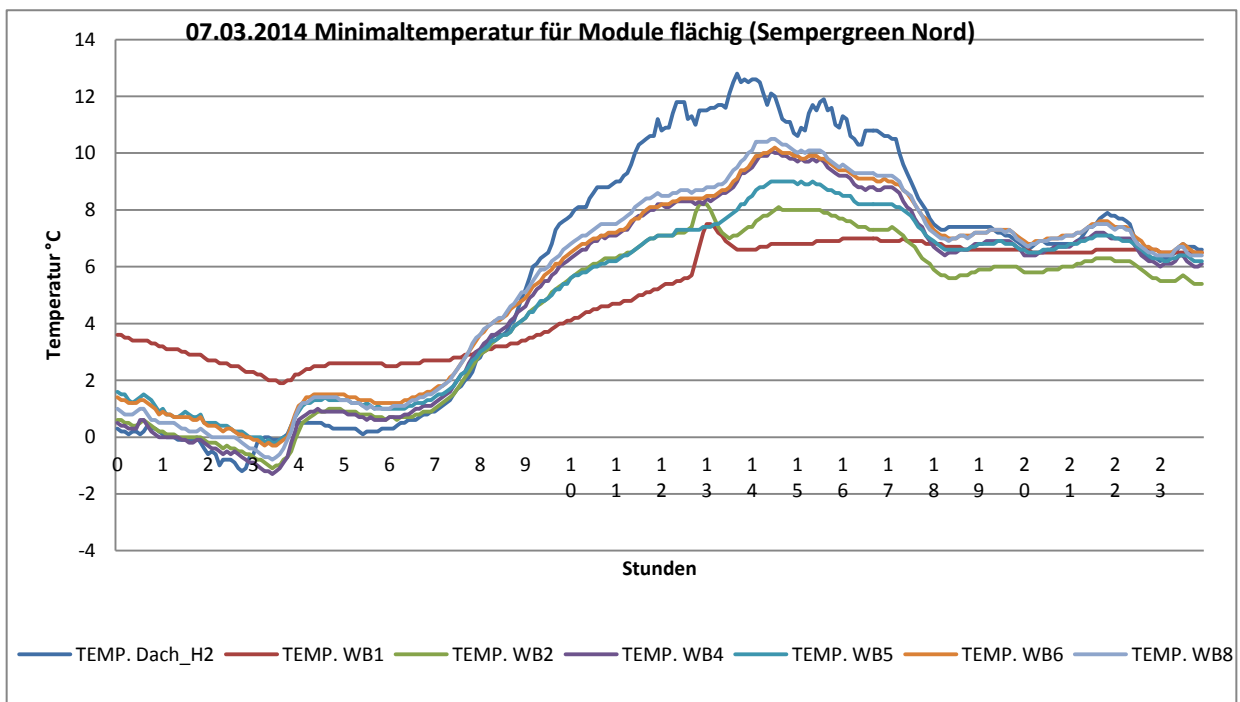
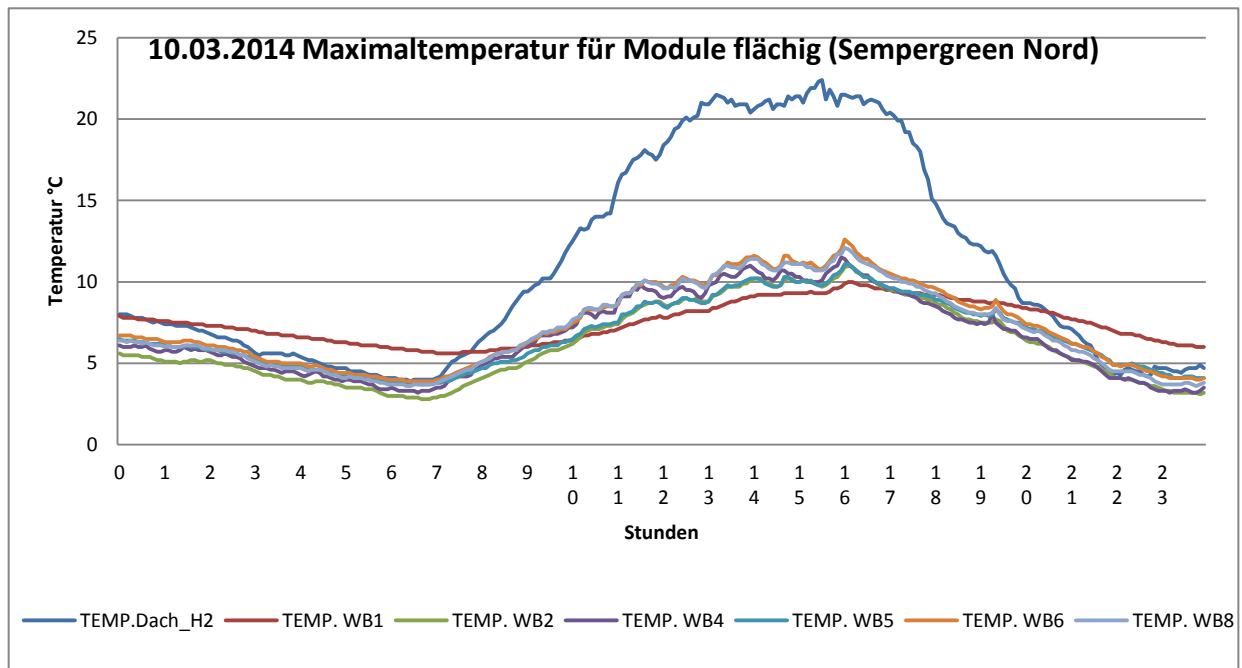


Abb.2.28: 10.03.2014 Maximaltemperatur für Module flächig (Sempergreen).



Tab.2.38: Beschreibende Statistik, von 03.03.2014 – 11.03.2014.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittel-wert	Standard-abweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl	Grad C	Grad C	Grad C	Grad C			Standard-fehler
TEMP._Dach H2	2281	-1	22	7,2	4,4	18,9	1,6	,1
TEMP._WB1	2281	2	19	6,3	1,5	2,2	5,3	,1
TEMP._WB2	2281	-1	11	5,5	2,3	5,4	-,02	,1
TEMP._WB3	2281	-2	13	5,8	2,6	6,6	,09	,1
TEMP._WB4	2281	-1	13	5,9	2,6	6,5	-,03	,1
TEMP._WB5	2281	0	11	5,9	2,2	4,8	-,04	,1
TEMP._WB6	2281	0	13	6,4	2,5	6,5	-,02	,1
TEMP._WB7	2281	-1	13	5,9	2,6	6,7	-,02	,1
TEMP._WB8	2281	-1	13	6,4	2,6	6,6	-,09	,1
Gültige Werte N	2281							

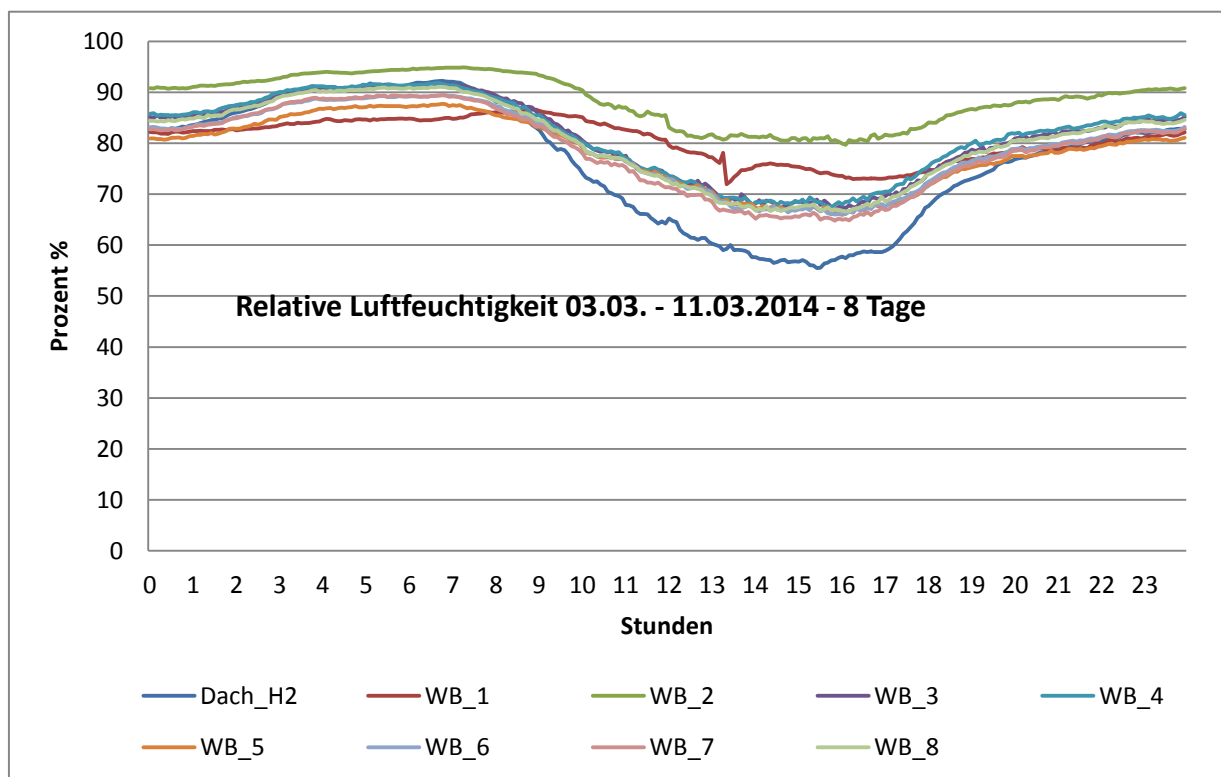
Tab.2.39: Korrelationstabelle der Temperaturen vom 03.03.2014 – 11.03.2014.

Korrelation										
		TEMP._Dach H2	TEMP._WB1	TEMP._WB2	TEMP._WB3	TEMP._WB4	TEMP._WB5	TEMP._WB6	TEMP._WB7	TEMP._WB8
TEMP._Dach H2	Pearson Korrelation	1	,699**	,852**	,883**	,869**	,840**	,874**	,883**	,870**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._WB1	Pearson Korrelation	,699**	1	,804**	,785**	,761**	,828**	,805**	,785**	,769**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._WB2	Pearson Korrelation	,852**	,804**	1	,990**	,989**	,993**	,994**	,992**	,992**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._WB3	Pearson Korrelation	,883**	,785**	,990**	1	,996**	,986**	,997**	,999**	,997**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._WB4	Pearson Korrelation	,869**	,761**	,989**	,996**	1	,983**	,994**	,997**	,998**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281

TEMP_WB5	Pearson Korrelation	,840**	,828**	,993**	,986**	,983**	1	,993**	,989**	,988**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP_WB6	Pearson Korrelation	,874**	,805**	,994**	,997**	,994**	,993**	1	,998**	,997**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP_WB7	Pearson Korrelation	,883**	,785**	,992**	,999**	,997**	,989**	,998**	1	,999**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP_WB8	Pearson Korrelation	,870**	,769**	,992**	,997**	,998**	,988**	,997**	,999**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.29: Relative Luftfeuchtigkeit 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage.



Während dieses Intervalls lag die niedrigste relative Luftfeuchtigkeit kurzfristig bei 24% auf dem Dach, während die höchste etwa bei 100% über längere Zeit hinter den Modulen lag. Das Diagramm bestätigt bei diesen frühlingshaften Bedingungen einen Tagesgang, der aber immerhin hohe Feuchtwerte an allen Messpunkten aufweist.

Die Korrelationswerte zwischen den Messstandorten waren durchweg größer als 80%, das bestätigt im Grunde das gleichmäßige Mikroklima, eine sehr homogene Verteilung der Luftfeuchtigkeit verbunden mit geringer Luftbewegung im Untersuchungshof.

Tab.2.40: Beschreibende Statistik der relativen Feuchte vom 03.03.2014 – 11.03.2014.

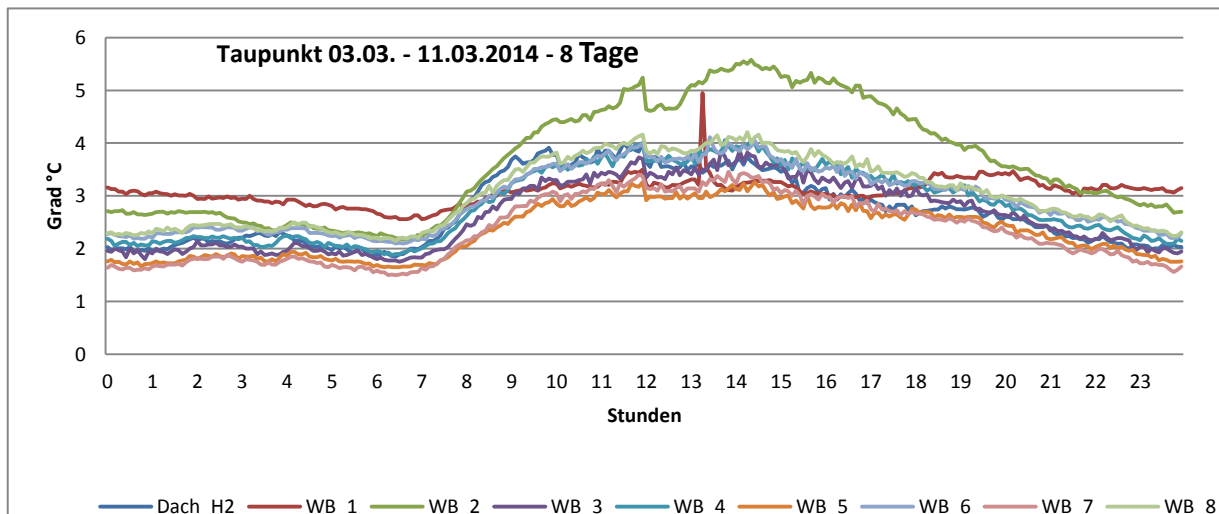
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
	Anzahl	%	%	%				Standardfehler
rF_Dach H2	2281	24	100	76,5	18,5	343,3	-,3	,1
rF_WB1	2281	36	92	80,5	7,4	55,3	1,8	,1
rF_WB2	2281	65	98	88,5	6,9	47,0	-,4	,1
rF_WB3	2281	48	98	81,0	11,0	121,3	-,7	,1
rF_WB4	2281	48	98	81,4	10,7	113,8	-,7	,1
rF_WB5	2281	49	95	78,2	9,7	93,9	-,5	,1
rF_WB6	2281	48	97	79,3	10,5	110,9	-,6	,1
rF_WB7	2281	46	97	78,7	11,2	125,0	-,7	,1
rF_WB8	2281	49	98	80,4	10,9	118,9	-,7	,1
Gültige Werte N	2281							

Tab.2.41: Korrelation der relativen Luftfeuchtigkeit vom 03.03.2014 – 11.03.2014.

		rF_Dach H2	rF_WB1	rF_WB2	rF_WB3	rF_WB4	rF_WB5	rF_WB6	rF_WB7	rF_WB8
rF_Dach H2	Pearson Korrelation	1	,821	,842	,949	,939	,934	,948	,951	,940
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
rF_WB1	Pearson Korrelation	,821	1	,815	,812	,786	,842	,830	,810	,794
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
rF_WB2	Pearson Korrelation	,842	,815	1	,909	,900	,907	,910	,899	,901
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
rF_WB3	Pearson Korrelation	,949	,812	,909	1	,992	,987	,995	,996	,995
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
rF_WB4	Pearson Korrelation	,939	,786	,900	,992	1	,981	,991	,993	,995
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
rF_WB5	Pearson Korrelation	,934	,842	,907	,987	,981	1	,994	,990	,986
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
rF_WB6	Pearson Korrelation	,948	,830	,910	,995	,991	,994	1	,998	,995
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
rF_WB7	Pearson Korrelation	,951	,810	,899	,996	,993	,990	,998	1	,998
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
rF_WB8	Pearson Korrelation	,940	,794	,901	,995	,995	,986	,995	,998	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.30: Taupunkt 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage.



Während dieses Messintervalls von 8 Tagen lag der niedrigste gemessene Taupunkt bei -2,2°C), der höchste bei WB 1 mit 15°C. Auch hier ist wieder der vergleichende Blick auf WB 1 und WB 5, der Effekt des Wandmoduls beeinflusst den Taupunkt von 2,3°C vor der unbegrünter Wand zu 3,1°C (Tab. 2.42) also eine Erhöhung von etwa einem Kelvin. Die geringste Korrelation lag auch bei Taupunkt zwischen dem Messpunkt Dach und dem Punkt WB 1.

Tab.2.42: Beschreibende Statistik zum Taupunkt vom 03.03.2014 – 11.03.2014.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
								Standard- fehler
TAUPUNKT_Dach H2	2281	-2	6	2,7	1,6	2,7	-,5	,1
TAUPUNKT_WB1	2281	-1	15	3,1	1,4	1,9	2,3	,1
TAUPUNKT_WB2	2281	-2	7	3,6	1,7	3,0	-,5	,1
TAUPUNKT_WB3	2281	-2	6	2,6	1,6	2,6	-,5	,1
TAUPUNKT_WB4	2281	-2	6	2,8	1,6	2,7	-,5	,1
TAUPUNKT_WB5	2281	-2	5	2,3	1,6	2,5	-,6	,1
TAUPUNKT_WB6	2281	-2	6	2,9	1,6	2,6	-,8	,1
TAUPUNKT_WB7	2281	-2	5	2,3	1,6	2,7	-,6	,1
TAUPUNKT_WB8	2281	-2	6	3,0	1,6	2,7	-,6	,1
Gültige Werte N	2281							

Tab.2.43: Korrelationstabelle für den Taupunkt vom 03.03.2014 – 11.03.2014

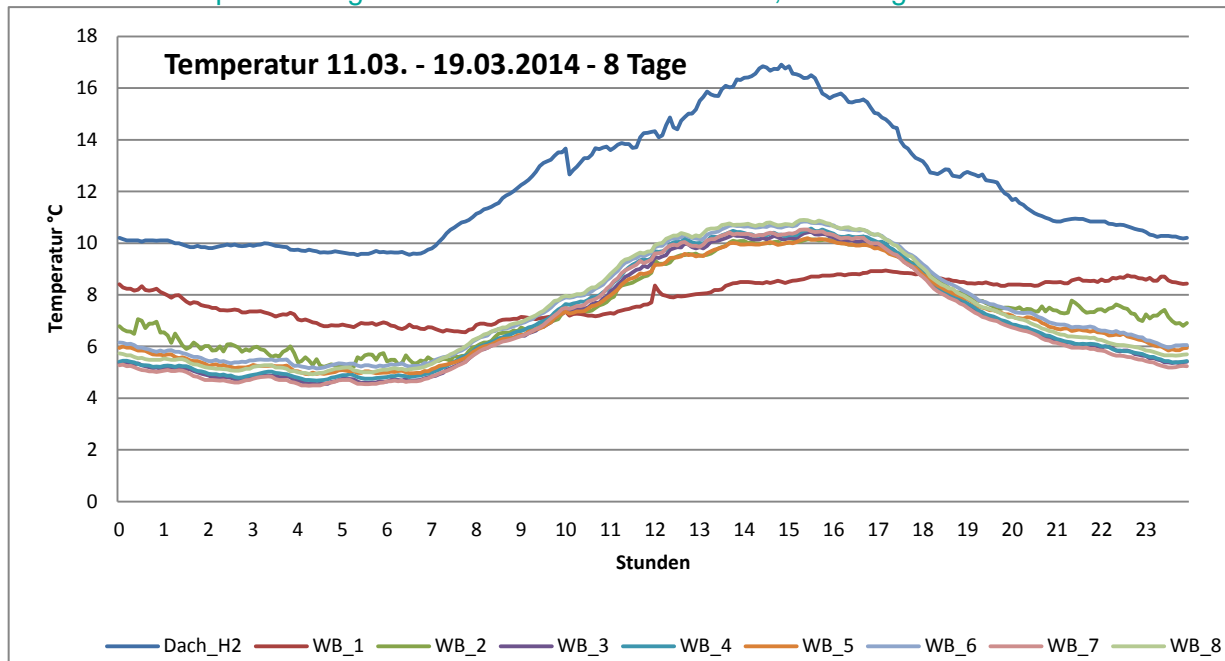
		Korrelation									
		TP_Dach H2	TP_ WB1	TP_ WB2	TP_ WB3	TP_ WB4	TP_ WB5	TP_ WB6	TP_ WB7	TP_ WB8	
TP_Dach H2	Pearson Korrelation	1	,803	,824	,957	,959	,961	,964	,967	,965	
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
TP_WB1	Pearson Korrelation	,803	1	,707	,828	,821	,860	,844	,833	,828	
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
TP_WB2	Pearson Korrelation	,824	,707	1	,901	,904	,852	,883	,879	,894	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
TP_WB3	Pearson Korrelation	,957	,828	,901	1	,990	,982	,989	,990	,991	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
TP_WB4	Pearson Korrelation	,959	,821	,904	,990	1	,979	,988	,989	,991	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
TP_WB5	Pearson Korrelation	,961	,860	,852	,982	,979	1	,993	,991	,987	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
TP_WB6	Pearson Korrelation	,964	,844	,883	,989	,988	,993	1	,996	,994	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
TP_WB7	Pearson Korrelation	,967	,833	,879	,990	,989	,991	,996	1	,996	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
TP_WB8	Pearson Korrelation	,965	,828	,894	,991	,991	,987	,994	,996	1	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)



### 2.9.7.3 Messungen am Sempergreen Modul – Südfassade im Frühjahr 2014

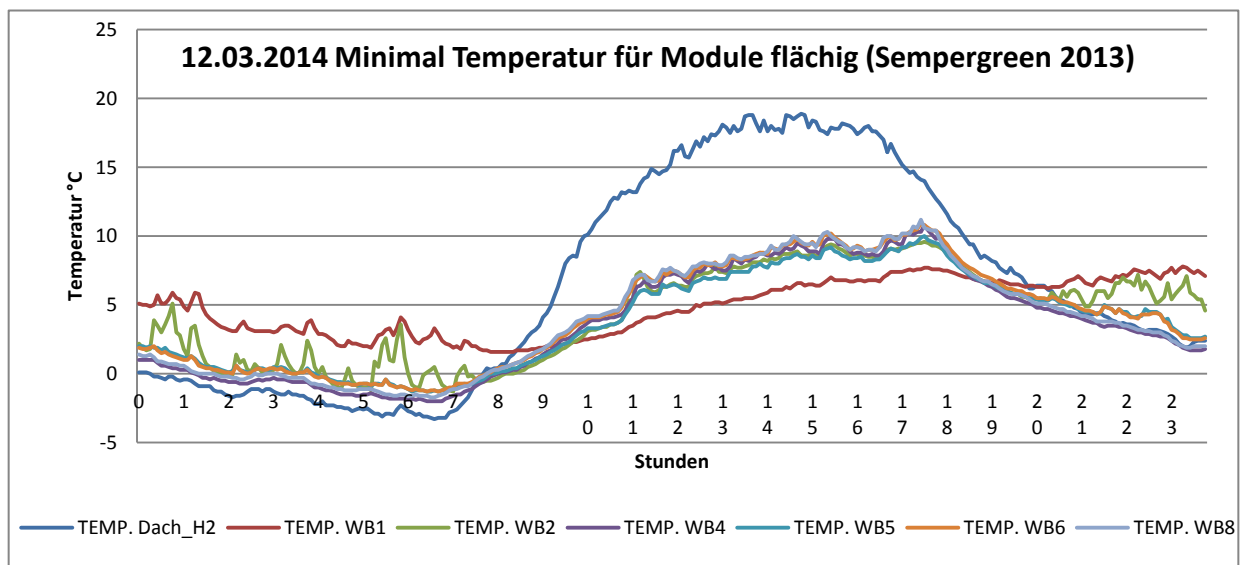
Abb.2.31: Temperaturdiagramm 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage.



Während dieses Intervalls von 8 Tagen lag die niedrigste Temperatur bei  $-3,3^{\circ}\text{C}$ , die höchste auf dem Dach mit  $26,1^{\circ}\text{C}$ ). Das Diagramm vermittelt einen Eindruck von dem frühlingshaften Aufwärmprozess, der nur langsam den schattigen Hof erreicht.

Auch hier wieder die geringste Korrelation bei der relativen Feuchte zwischen dem Referenzpunkt auf dem Dach und WB 1. Der Korrelationskoeffizient lag bei 70, zwischen all den anderen Werten etwa bei 72. Auch hier ist wieder eine klare Korrelation zwischen den Temperaturen und der relativen Feuchte.

Abb.2.32: Tagesgang der 12.03.2014 Minimaltemperatur für Module flächig (Sempergreen 2013).



Tab.2.44: Beschreibende Statistik 11.03.2014 – 19.03.2014.

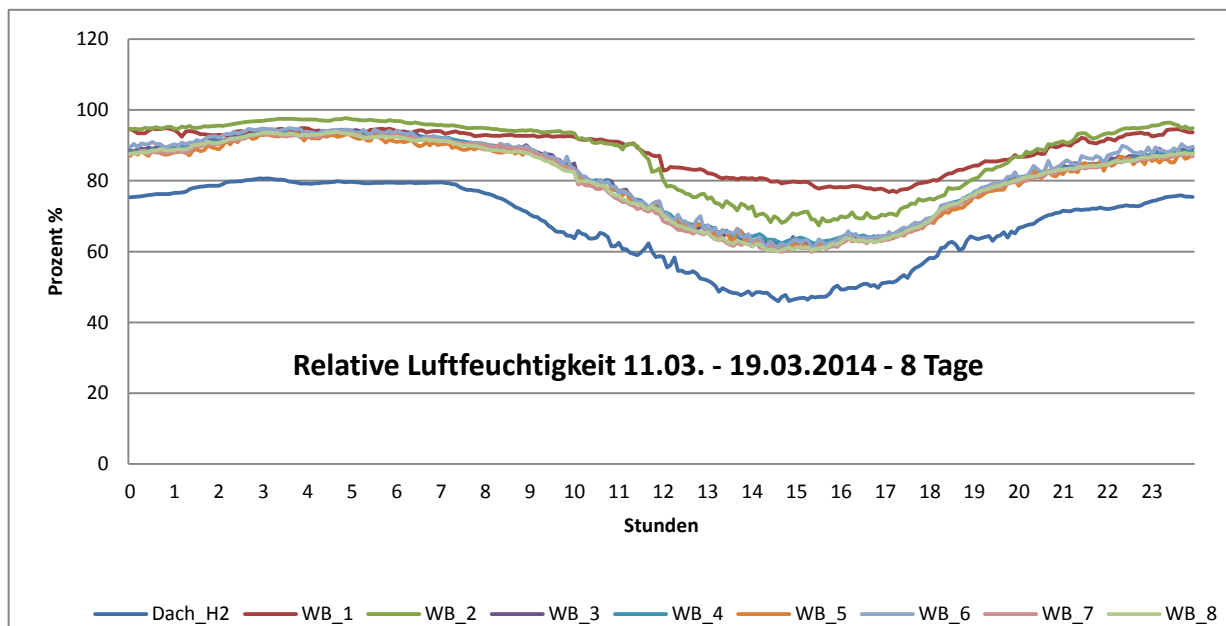
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
		Grad C	Grad C	Grad C				Standard- fehler
TEMP._Dach H2	2281	-3	26	12,2	7,6	57,5	-1,3	,1
TEMP._WB1	2281	2	13	7,9	1,9	3,6	1,1	,1
TEMP._WB2	2281	-1	12	7,5	2,6	6,7	1,1	,1
TEMP._WB3	2281	-2	13	6,9	3,2	9,9	,2	,1
TEMP._WB4	2281	-2	13	7,1	3,2	10,2	,2	,1
TEMP._WB5	2281	-1	12	7,1	2,8	8,1	,3	,1
TEMP._WB6	2281	-1	13	7,5	3,0	9,0	,3	,1
TEMP._WB7	2281	-2	13	6,9	3,2	10,4	,2	,1
TEMP._WB8	2281	-1,7	13,3	7,4	3,2	10,3	,2	,1
Gültige Werte N	2281							

Tab.2.45: Korrelationstabelle für Temperaturen vom 11.03.2014 – 19.03.2014.

Korrelation										
		TEMP._ Dach H2	TEMP._WB1	TEMP._WB2	TEMP._WB3	TEMP._WB4	TEMP._WB5	TEMP._WB6	TEMP._WB7	TEMP._WB8
TEMP._ Dach H2	Pearson Korrelation	1	,704**	,724**	,747**	,750**	,753**	,750**	,748**	,748**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._ WB1	Pearson Korrelation	,704**	1	,851**	,732**	,723**	,781**	,746**	,714**	,711**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._ WB2	Pearson Korrelation	,724**	,851**	1	,949**	,942**	,966**	,956**	,940**	,937**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._ WB3	Pearson Korrelation	,747**	,732**	,949**	1	,999**	,995**	,998**	,998**	,998**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._ WB4	Pearson Korrelation	,750**	,723**	,942**	,999**	1	,993**	,997**	,999**	,999**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._ WB5	Pearson Korrelation	,753**	,781**	,966**	,995**	,993**	1	,997**	,992**	,991**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._ WB6	Pearson Korrelation	,750**	,746**	,956**	,998**	,997**	,997**	1	,998**	,996**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._ WB7	Pearson Korrelation	,748**	,714**	,940**	,998**	,999**	,992**	,998**	1	,999**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TEMP._ WB8	Pearson Korrelation	,748**	,711**	,937**	,998**	,999**	,991**	,996**	,999**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.33: Relative Luftfeuchtigkeit 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage.



Während dieses achtägigen Intervalls war der niedrigste Wert der relativen Feuchte bei 22%. Hinter und vor dem Begrünungsmodul sind etwa 5% höhere Feuchtwerte gemessen worden als bei der dem Messpunkt der unbegrünten Fläche.

Der Effekt der Begrünung lässt sich in der Frühjahrsphase etwa mit 5% benennen (siehe Tab. 2.46 ff). Aus der Tabelle 2.47 sind die Korrelationen aller Messpunkte miteinander vergleichbar.

Tab.2.46: Beschreibende Statistik relative Feuchtigkeit zwischen 11.03.2014 – 19.03.2014.

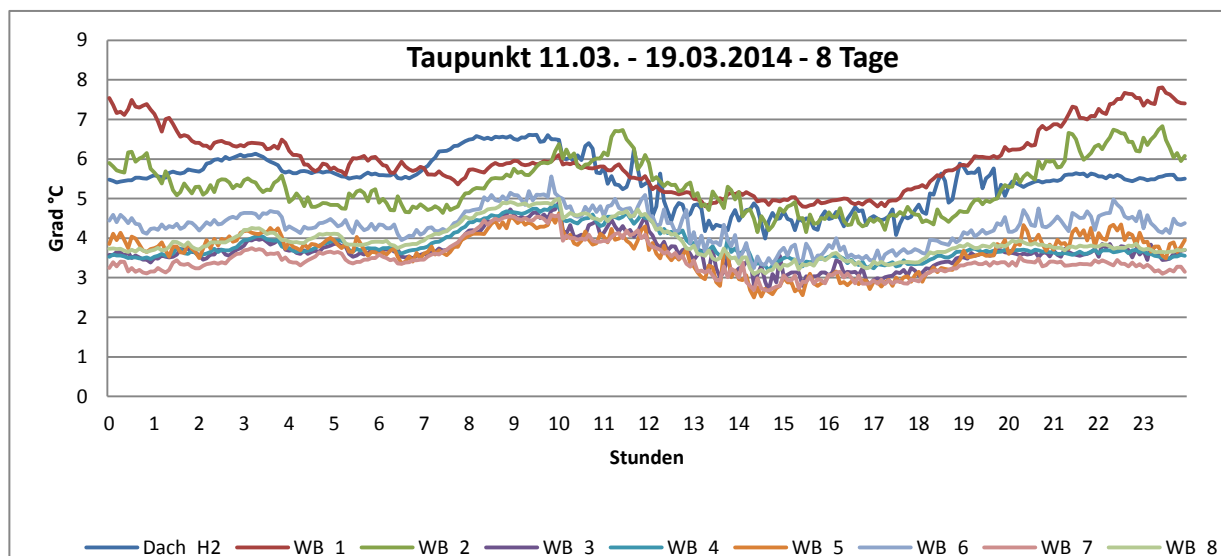
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
		%	%	%			Standardfehler	
rF_Dach H2	2281	22	100	67,2	19,6	383,2	-,80	,102
rF_WB1	2281	53	100	88,6	10,6	112,5	,64	,102
rF_WB2	2281	49	100	87,5	13,5	182,5	-,04	,102
rF_WB3	2281	39	100	81,2	14,6	213,2	-,10	,102
rF_WB4	2281	40	99	81,2	14,3	204,1	-,09	,102
rF_WB5	2281	41	99	80,2	14,3	205,1	-,09	,102
rF_WB6	2281	41	100	81,7	14,7	215,2	-,14	,102
rF_WB7	2281	38	99	80,1	14,8	219,5	-,05	,102
rF_WB8	2281	39	99	80,4	14,7	215,6	-,2	,102
Gültige Werte N	2281							

Tab.2.47: Korrelationstabelle für relative Luftfeuchtigkeit vom 11.03.2014 – 19.03.2014.

		Korrelation									
		rF_Dach H2	rF_WB1	rF_WB2	rF_WB3	rF_WB4	rF_WB5	rF_WB6	rF_WB7	rF_WB8	
rF_Dach H2	Pearson Korrelation	1	,460	,594	,621	,630	,594	,621	,612	,642	
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
rF_WB1	Pearson Korrelation	,460	1	,880	,830	,838	,855	,845	,813	,817	
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
rF_WB2	Pearson Korrelation	,594	,880	1	,902	,890	,903	,911	,865	,886	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
rF_WB3	Pearson Korrelation	,621	,830	,902	1	,988	,983	,983	,986	,990	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
rF_WB4	Pearson Korrelation	,630	,838	,890	,988	1	,980	,979	,988	,992	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
rF_WB5	Pearson Korrelation	,594	,855	,903	,983	,980	1	,989	,978	,980	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
rF_WB6	Pearson Korrelation	,621	,845	,911	,983	,979	,989	1	,978	,981	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
rF_WB7	Pearson Korrelation	,612	,813	,865	,986	,988	,978	,978	1	,991	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	
rF_WB8	Pearson Korrelation	,642	,817	,886	,990	,992	,980	,981	,991	1	
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.34: Taupunkt 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage.



Tab.2.48: Beschreibende Statistik für den Taupunkt vom 11.03.2014 – 19.03.2014.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
		Grad C	Grad C	Grad C			Standardfehler	
TAUPUNKT_Dach H2	2281	-4	18	5,4	5,3	27,6	-1,2	,102
TAUPUNKT_WB1	2281	-1	11	5,9	2,8	7,9	-,9	,102
TAUPUNKT_WB2	2281	-1	10	5,3	2,5	6,4	-,9	,102
TAUPUNKT_WB3	2281	-3	8	3,7	2,9	8,9	-1,4	,102
TAUPUNKT_WB4	2281	-3	9	3,8	3,1	9,4	-1,4	,102
TAUPUNKT_WB5	2281	-3	8	3,7	3,0	9,1	-1,3	,102
TAUPUNKT_WB6	2281	-3	9	4,3	2,9	8,6	-1,3	,102
TAUPUNKT_WB7	2281	-4	8	3,5	3,2	9,9	-1,4	,102
TAUPUNKT_WB8	2281	-3	9	3,9	3,1	9,3	-1,4	,102
Gültige Werte N	2281							

Der Taupunkt für diese Frühlingsphase liegt in dem begrünten Modul etwa 2 Grad höher als in dem Hof allgemein (WB 3-WB 8). Details hierzu sind den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen. Auf dem Dach lag der Taupunkt immer extremer (-4 bis plus 18°C), das Wandmodul sorgt für ausgeglichene Werte (-1 bis 11°C), im Mittelwert, siehe Abb. 2.33 sehen die Werte ähnlich aus.

Tab.2.49: Korrelationstabelle für den Taupunkt vom 11.03.2014 – 19.03.2014.

		Korrelation								
		TP_Dach H2	TP_WB1	TP_WB2	TP_WB3	TP_WB4	TP_WB5	TP_WB6	TP_WB7	TP_WB8
TP_Dach H2	Pearson Korrelation	1	,775	,772	,907	,906	,897	,894	,911	,909
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TP_WB1	Pearson Korrelation	,775	1	,930	,816	,795	,866	,854	,798	,794
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TP_WB2	Pearson Korrelation	,772	,930	1	,857	,831	,888	,889	,827	,828
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TP_WB3	Pearson Korrelation	,907	,816	,857	1	,991	,979	,980	,989	,990
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TP_WB4	Pearson Korrelation	,906	,795	,831	,991	1	,973	,974	,994	,995
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TP_WB5	Pearson Korrelation	,897	,866	,888	,979	,973	1	,991	,975	,976
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TP_WB6	Pearson Korrelation	,894	,854	,889	,980	,974	,991	1	,977	,977
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TP_WB7	Pearson Korrelation	,911	,798	,827	,989	,994	,975	,977	1	,995
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281
TP_WB8	Pearson Korrelation	,909	,794	,828	,990	,995	,976	,977	,995	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281	2281

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

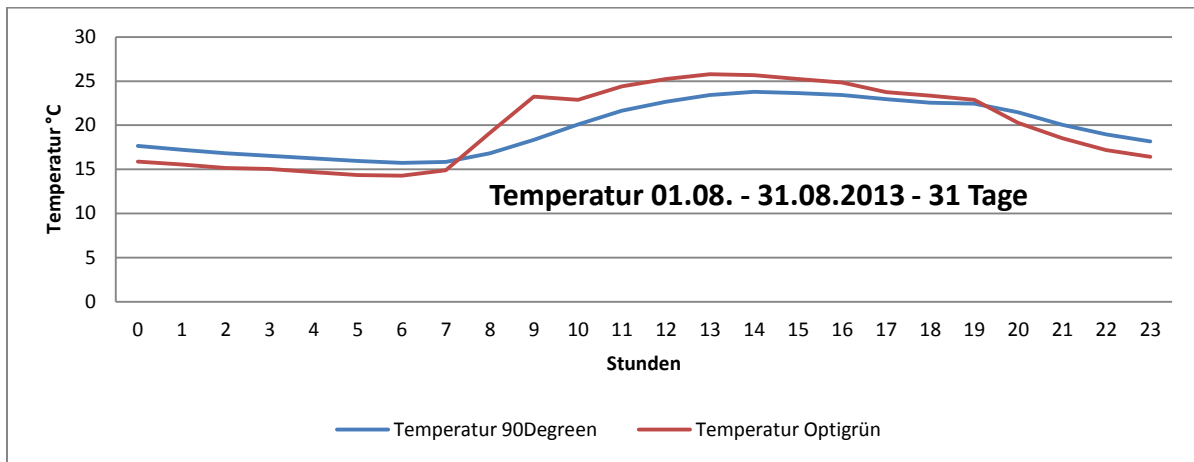
### 2.9.7.4 Sommermessung am Gartenhaus der Hochschule Neubrandenburg 2013

Nachfolgend exemplarisch die Monatswerte vor einer Begrünung (Optigrün) und hinter einer Begrünung. (90degrees) am gleichen Standort vor der Holzfassade im Sommer 2013. Im Vergleich zur Lufttemperatur vor der Begrünung verläuft die Amplitude hinter der Begrünung um wenige Grad K flacher. Die Abweichung beträgt etwa 2 Grad nachts wärmer, bzw. tags kälter. Aus der Tabelle 2.50 sind die Werte zu entnehmen. Der Temperatur-Mittelwert ist hingegen identisch.

Tab.2.50: Beschreibende Statistik vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
	Std	Grad C	Grad C	Grad C				Standardfehler
Temperatur90degreen_mean	744	15,8	23,6	19,9	3,0	8,7	-1,7	,9
TemperaturOptigrün_A_mean	744	14,3	25,7	19,9	4,4	19,3	-1,8	,9
Gültige Werte N	744							

Abb.2.35: Sommerliche Temperatur, zwischen dem 01.08.2013. – 31.08.2013, n= 31 Tage, als Tagesgang dargestellt.

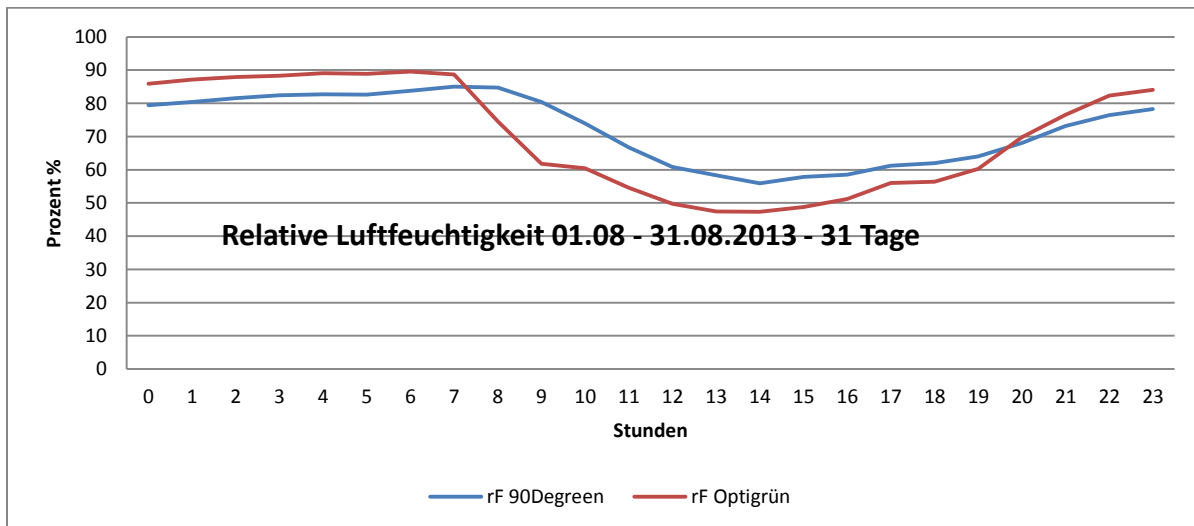


Tab.2.51: Korrelationstabelle für Temperaturen vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Korrelation			
		Temperatur90degreeen_mean	TemperaturOptigrün_A_mean
Temperatur90degreeen_mean	Pearson Korrelation	1	,922
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	24	24
TemperaturOptigrün_A_mean	Pearson Korrelation	,922**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	24	24

\*\*. Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig).

Abb.2.36: Relative Luftfeuchtigkeit– Tagesgang Diagramm 01.08.2013. – 31.08.2013, gemessene Werte für 31 Tage als ein Tagesgang dargestellt.



Tab.2.52: Beschreibende Statistik der relative Feuchte vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

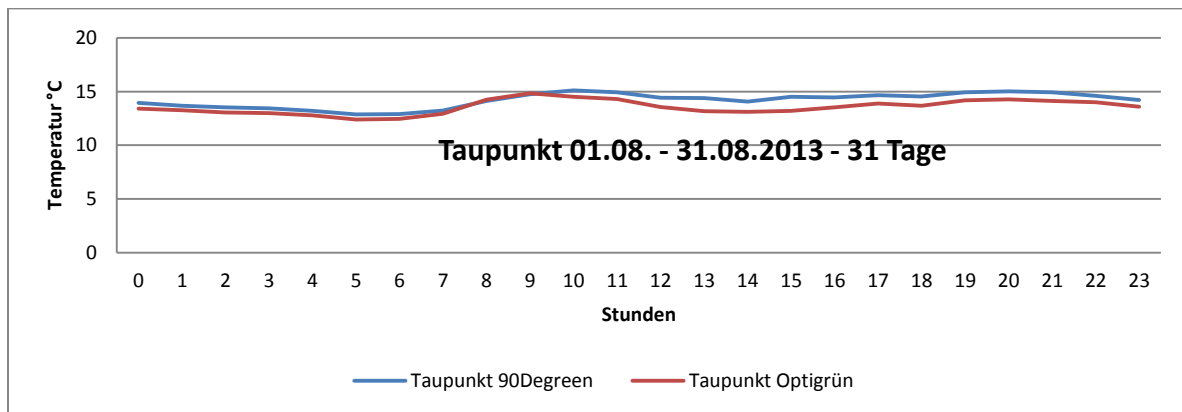
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Standard- abweichung	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
	Std.	%	%	%				Standardfehler
rF 90degreeen_mean	744	56,0	85,0	72,4	10,3	105,5	-1,6	,9
rFOptigrün_A_mean	744	47,3	89,6	70,3	16,4	268,6	-1,7	,9
Gültige Werte N	744							

Tab.2.53: Korrelationstabelle für die relative Feuchte vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Korrelation			
		rF90degreeen_mean	rFOptigrün_A_mean
rF90degreeen_mean	Pearson Korrelation	1	,909**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	24	24
rFOptigrün_A_mean	Pearson Korrelation	,909**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	24	24

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.37: Taupunkt – 01.08.2013. – 31.08.2013, für 31 Tage, zu einem Tagesgang zusammengefasst.



Tab.2.54: Beschreibende Statistik des Taupunktes vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
	Std	Grad C	Grad C	Grad C				Standar dfehler
Taupunkt90degreeen_mean	744	12,9	15,1	14,2	,69	,47	-,8	,9
TaupunktOptigrün_A_mean	744	12,4	14,9	13,6	,65	,43	-,7	,9
Gültige Werte N	744							

Tab.2.55: Korrelationstabelle für den Taupunkt vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Korrelation			
		Taupunkt90degreeen_mean	TaupunktOptigrün_A_mean
Taupunkt90degreeen_mean	Pearson Korrelation	1	,876**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	24	24
TaupunktOptigrün_A_mean	Pearson Korrelation	,876**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	24	24

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

### 2.9.7.5 Messungen am Vivagrün Modul (Vorne und Hinten) – Nordfassade Hof 2 im Sommer 2013

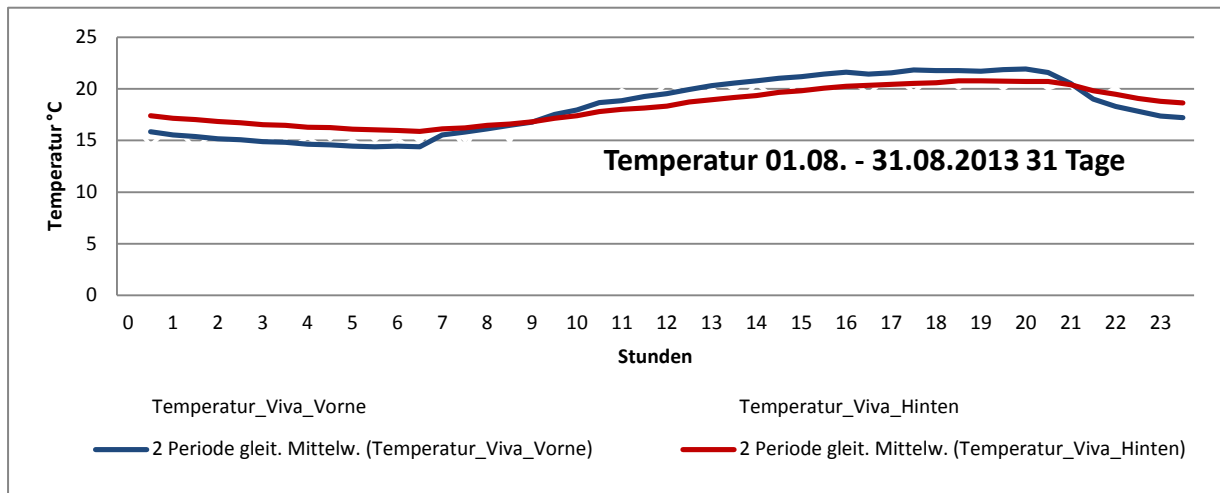
Vergleichend zu der Messung am Gartenhaus ist auch eine Messung an einem WB im Innenhof des Hauses 2 durchgeführt worden. Der Log-32 Sensor war direkt in der Begrünung des Vivagrün Moduls befestigt. Der zweite Log-32 Sensor befand sich



hinter dem Modul, vergleichbar zu dem 90degree – Sensor. Auch diese Messung umfasste 31 Tage im August 2013.

Während sich im Mittelwert nur eine Verschiebung im Dezimalstellenbereich nachweisen lässt, ist die Amplitude bei den Maximal-, bzw. Minimalwerten jeweils 2°C höher, bzw. niedriger. Die Werte sind zum Messpunkt am Haus 3, das auch die nachfolgenden Graphiken bestätigen.

Abb.2.38: Temperatur – **Trendlinie**- Diagramm 01.08.2013. – 31.08.2013, zusammen gefasster Tagesgang für 31 Tage.



Tab.2.56: Beschreibende Statistik der Temperatur vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

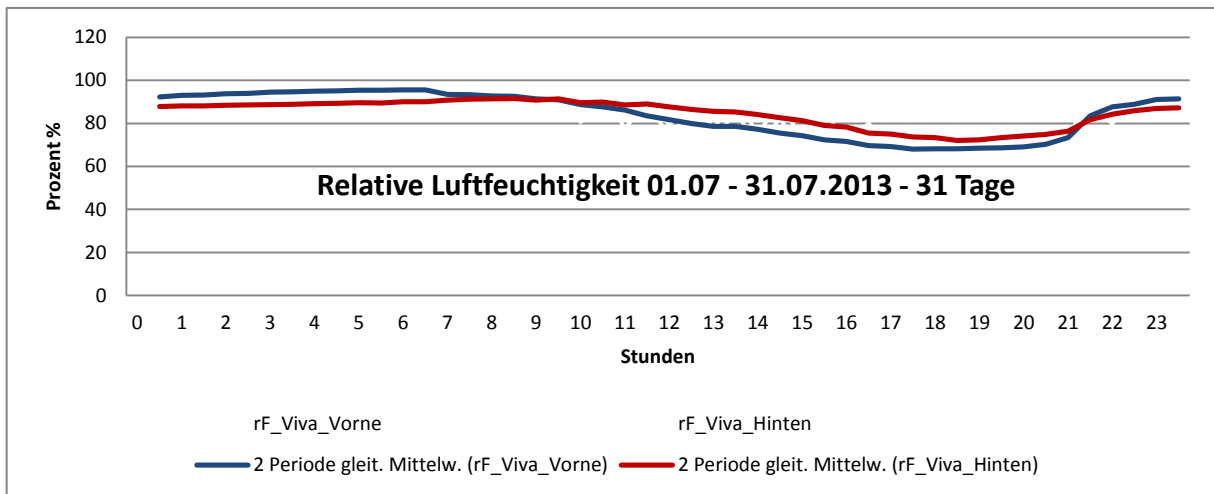
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
	Std.	Grad C	Grad C	Grad C			Standardfehler	
Vivagreen Vorne	744	10,0	30,4	19,0	3,6	12,7	,06	,2
Vivagreen Hinten	744	12,9	28,1	19,3	2,7	7,4	,47	,2
Gültige Werte N	744							

Tab.2.57: Korrelationstabelle für Temperaturen vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Korrelation			
		Vivagreen Vorne	Vivagreen Hinten
Vivagreen Vorne	Pearson Korrelation	1	,930**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	744	744
Vivagreen Hinten	Pearson Korrelation	,930**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	744	744

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.39: Relative Luftfeuchtigkeit – Trendlinie – Tagesgang Diagramm 01.08.2013. – 31.08.2013, 31 Tage zu einem Tagesgang zusammengefasst.



Tab.2.58: Beschreibende Statistik der relative Luftfeuchte vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

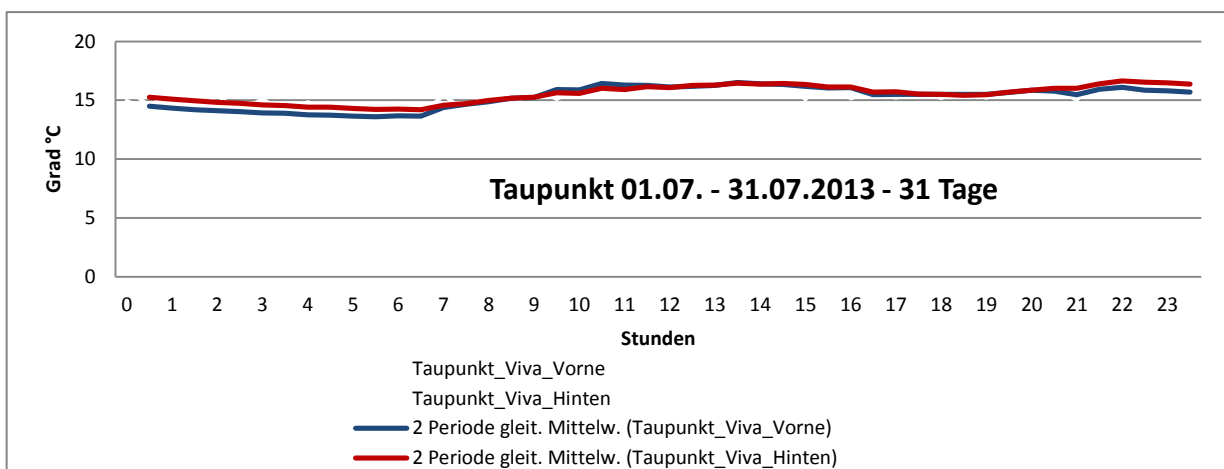
Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung	Varianz	Kurtosis	
	Std						Standardfehler	
Vivagreen Vorne	744	40,0	99,6	79,7	13,4	180,2	-,8	,2
Vivagreen Hinten	744	47,4	96,8	80,3	9,6	92,3	,05	,2
Gültige Werte N	744							

Tab.2.59: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchte vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Korrelation			
		Vivagreen Vorne	Vivagreen Hinten
Vivagreen Vorne	Pearson Korrelation	1	,925
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	744	744
Vivagreen Hinten	Pearson Korrelation	,925	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	744	744

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Abb.2.40: Taupunkt – Trendlinie 01.08.2013. – 31.08.2013, 31 Tage zu einem Tagesgang zusammengefasst.



Tab.2.60: Beschreibende Statistik des Taupunktes vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Beschreibende Statistik								
	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung	Varianz	Kurtosis	
		Grad C	Grad C	Grad C				Standardfehler
Vivagreen Vorne	744	8,3	21,6	15,1	2,5	6,3	-,5	,2
Vivagreen Hinten	744	9,4	21,6	15,6	2,4	5,6	-,4	,2
Gültige Werte N	744							

Tab.2.61: Korrelationstabelle des Taupunktes vom 01.08.2013. – 31.08.2013.

Korrelation			
		Vivagreen Vorne	Vivagreen Hinten
Vivagreen Vorne	Pearson Korrelation	1	,980**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	744	744
Vivagreen Hinten	Pearson Korrelation	,980**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	744	744

\*\* . Korrelation ist signifikant auf dem 0.01 Niveau (2-seitig)

Die Sommermessungen am Gartenhaus und im Innenhof erlauben einen direkten Vergleich aller Werte. Auffällig ist, dass sich im Mittelwert über den Zeitraum höhere Mittagswerte und niedrigere Nachtwerte gegenseitig oft ausgleichen. Spannend sind die Größen der jeweiligen Amplituden. Die Reduktion der Temperaturamplitude eines sommerlichen Monats durch ein entsprechendes Wandmodul beträgt hier 2-4 Kelvin. Einzeltageswerte können, wie es die Tagesdiagramme zeigt, bis zu 6 K gehen.

Bei der relativen Feuchtigkeit ist die Amplitude vor der Begrünung etwa 10% größer.

Die Umrechnung dieser Erkenntnisse im Hinblick auf das thermische Verhalten einer Wand ist abhängig vom jeweiligen technischen Aufbau. Die Werte sprechen für einen geringen ausgleichenden Polstereffekt. Bei der Benennung von einer Größenordnung verweisen wir auf die weiteren Formeln von Ottele, (2011). Der Effekt kann sich in der Größenordnung von wenigen Prozenten bei einer normal gedämmten Fassade bewegen.

## 2.10 Infrarot-Temperaturmessungen ausgewählter Tage

Zur IR-Technik:

Ergänzend zu den genannten Punkt-Dauermessungen, bietet Infrarot – Messtechnik die Möglichkeit, ähnlich eines Fotos, einen größeren Bereich hinsichtlich der Temperaturen abzubilden. Je nach Entfernung und Auflösung des Objektivs sind es bei diesem Kamertyp etwa 40.000 Messpunkte. Die Brennweite der Kamera entspricht der eines kleinen Teleobjektivs von etwa 80 mm.

Für diese Untersuchung steht eine Vario-Scan-High-Res der Firma Infratec, Dresden zur Verfügung. Die Thermographie liefert schnell beeindruckende Momentaufnahmen, die hinsichtlich der Farbdarstellung nachträglich bearbeitet werden können. Es gibt eine Reihe von Voraussetzungen, die für das korrekte Messergebnis von Bedeutung sind. Hierzu gehört die Kenntnis des Reflexionsverhaltens unterschiedlicher Oberflächen. Gut messbar sind etwa Boden, Substrate, Pflanzen und Holz, sogenannte schwarze Strahler. Metalle und Glasflächen wirken wie Spiegel, auf denen sich die Himmelsstrahlung reflektiert und nur zu Werten führt, die Korrekturfaktoren benötigen. Fehleinschätzungen liefern auch reflektierende Dachpfannen, die auf IR-Bildern immer als zu kühl angezeigt werden.

Direkt auswertbare thermographische Standard-Messbilder erfordern neben einem stabilen Stand, vor allem die nachfolgenden klimatischen Rahmenbedingungen:

- Windstille,
- Kein Niederschlag,
- Direkte Sonnenstrahlung sollte ausgeschlossen sein.

Das bedeutet, die besten Termine für IR-Fotos sind morgens vor Sonnenaufgang – im Sommer also gegen 4:00 Uhr. Hierzu sind Beispiele aus einer der wenigen Tropennächte am Standort Neubrandenburg angefügt. Ergänzend zu dieser Standardtechnik der IR-Fotos kann hiermit schnell aufgezeigt werden, wie sich die Temperaturwerte bei maximaler Temperatur verteilen. Die hierbei interessierenden Temperaturen des Substrates, der Pflanzen und der beiden Gebäudeoberflächen aus Stein und Holz sind direkt ablesbar und als Diagramm hervorgehoben. Die nachfolgenden Diagramme sind vergleichende sommerliche Tag – und Nachtwerte vom 23. Juli 2013. Die Rahmenbedingungen für die Messungen waren Ideal – strahlungsreich – hochsommerlich – Tropennacht (über 20 Grad C Lufttemperatur) – Windstill. Die Bilder erlauben es, Temperaturen unterschiedlicher Bereiche als Momentaufnahme und Temperaturgradient zwischen bewachsenen, unbewachsenen Bereichen der Module als auch der Oberflächen herauszugreifen.

Die beiden Untersuchungsstandorte vor dem Gewächshaus Haus 3, siehe Abb. und Foto 2.14-2.15 hat zwar eine Ausrichtung nach Norden, durch Reflexion handelt es sich um einen sommerlich sehr warmen Standort. Die Unterschiede zwischen den Modultemperaturen sowohl der bewachsenen als auch der unbewachsenen Abschnitte ist im Vergleich zur Holzwand mit etwa 5-6 Grad Kelvin signifikant groß.

Nachts kühlen beide Module aus, die Pflanzen zeichnen sich durch tiefe Temperaturen ab, während die unbewachsenen Abschnitte mit der Holzwand vergleichbare Werte haben.

## Beispielmessungen

Tab. 2.62: Infrarot-Temperaturdifferenzen im Sommer, (tropischer Tag; Datum 23.07.2013, Werte mittags, Werte morgens, ca. 4:00).

Fläche	Exposition	Material der Wand	Substrat	Temperatur (°C)		
				Vegetation	Substrat ohne Pflanzen	Fassade
<b>Tag</b>						
Flächiges Modul „Optigrün“	N	Holz	Vulkan-substrat	29,3	25,3	36,5
Flächiges Module „90degreen“	N	Holz	Mineralwolle	27,5	22,7	34,5
Gabionentyp „Schadenberg“	N	Klinker	Vulkan-substrat	23,3	17,9	23,4
Flächiges Modul „Sempergreen 2011 Nord“	N	Klinker	Mineralwolle /Vlies	21,4	18,2	19,3
Flächiges Modul „Sempergreen 2013 Süd“	S	Klinker	Mineralwolle /Vlies	22,1	15,7	21,3
Geovlies „Vertiko“	N	Klinker	Vlies/Moos	20,0	17,3	22,8
Flächiges Modul „Vivagreen“	N	Klinker	Organisches Substrat	20,0	17,6	22,9
Kleine Kübel horizontal „Vertiss“	N	Klinker	Vulkan-substrat	22,8	22,0	19,4
Flächiges Modul „Cultilene“	N	Klinker	Mineralwolle	21,5	16,0	19,4
<b>Nacht</b>						
Flächiges Modul „Optigrün“	N	Holz	Vulkan-substrat	13,0	15,6	15,4
Flächiges Module „90degreen“	N	Holz	Mineralwolle	13,0	13,6	15,4
Gabionentyp „Schadenberg“	N	Klinker	Vulkan-substrat	13,2	18,6	17,9
Flächiges Modul „Sempergreen 2011 Nord“	N	Klinker	Mineralwolle /Vlies	13,4	11,2	16,0
Flächiges Modul „Sempergreen 2013 Süd“	S	Klinker	Mineralwolle /Vlies	13,4	13,4	16,1
Geovlies „Vertiko“	N	Klinker	Vlies/Moos	11,5	13,0	15,4
Flächiges Modul „Vivagreen“	N	Klinker	Organisches Substrat	12,9	13,2	15,3
Kleine Kübel horizontal „Vertiss“	N	Klinker	Vulkangestein	11,3	13,5	14,5
Flächiges Modul „Cultilene“	N	Klinker	Mineralwolle	11,7	10,4	14,5





Abb. 2.42: Infrarot-Nachtfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, die WB (Optigrün und 90degree).

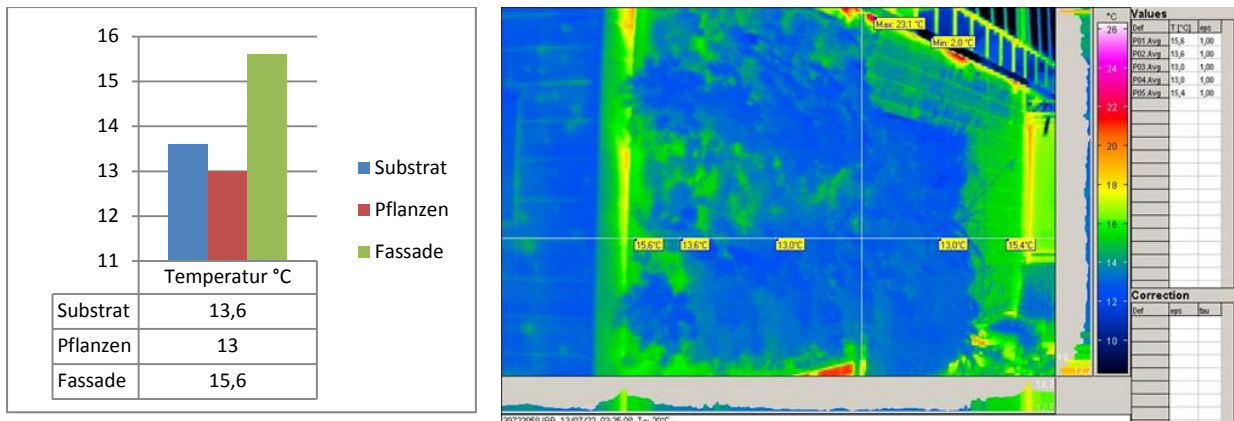


Abb. 2.43: Infrarot-Tagesfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, Gabionentyp (Schadenberg).

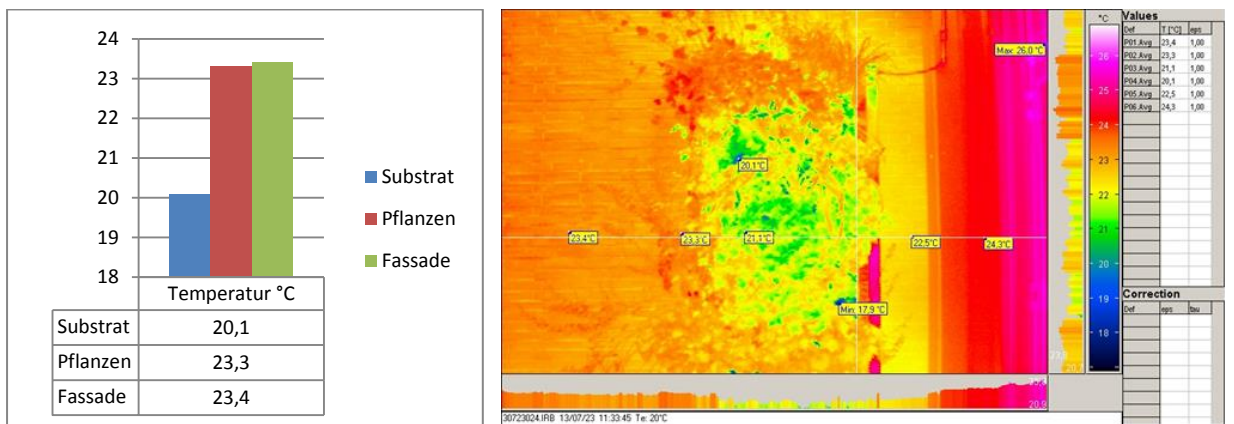


Abb. 2.44: Infrarot-Nachtfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, Gabionentyp (Schadenberg).

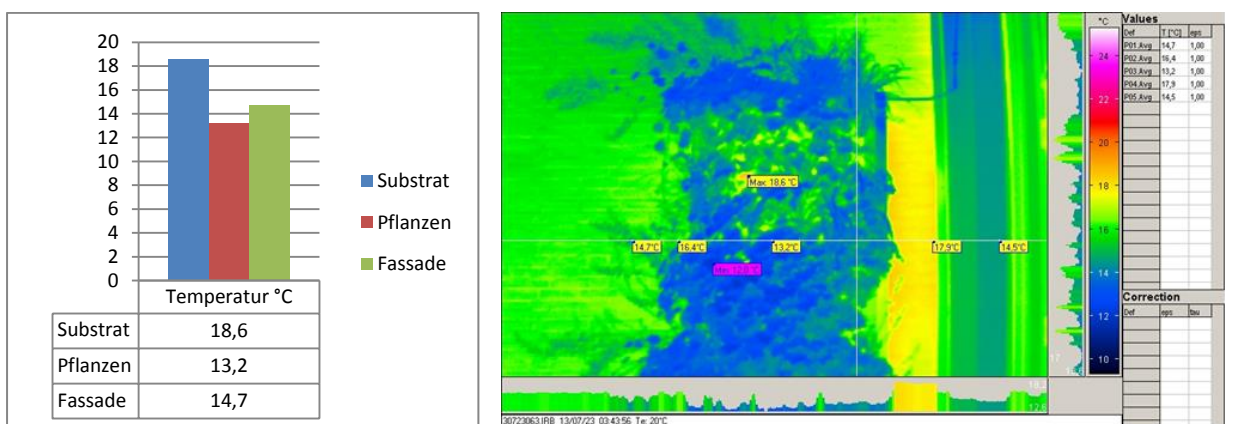




Abb. 2.45: Infrarot-Tagesfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, WB Sempergreen Nordfassade.

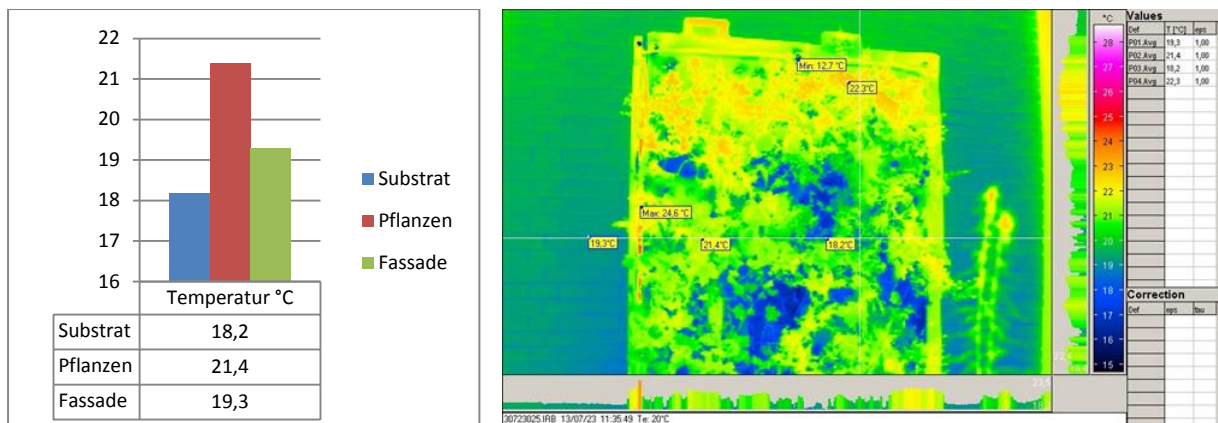


Abb. 2.46: Infrarot-Nachtfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, WB Sempergreen Nordfassade.

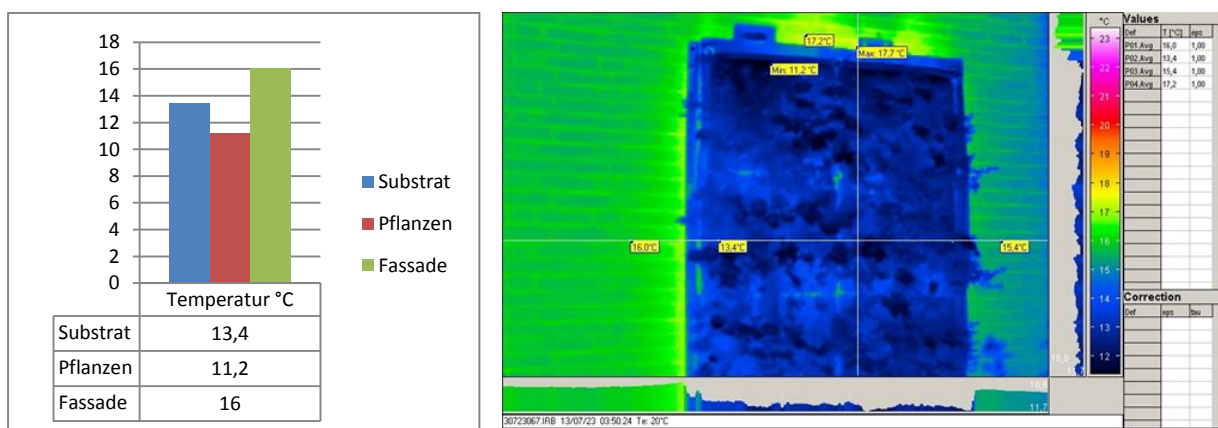


Abb. 2.47: Infrarot-Tagesfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, WB Sempergreen Südfassade.

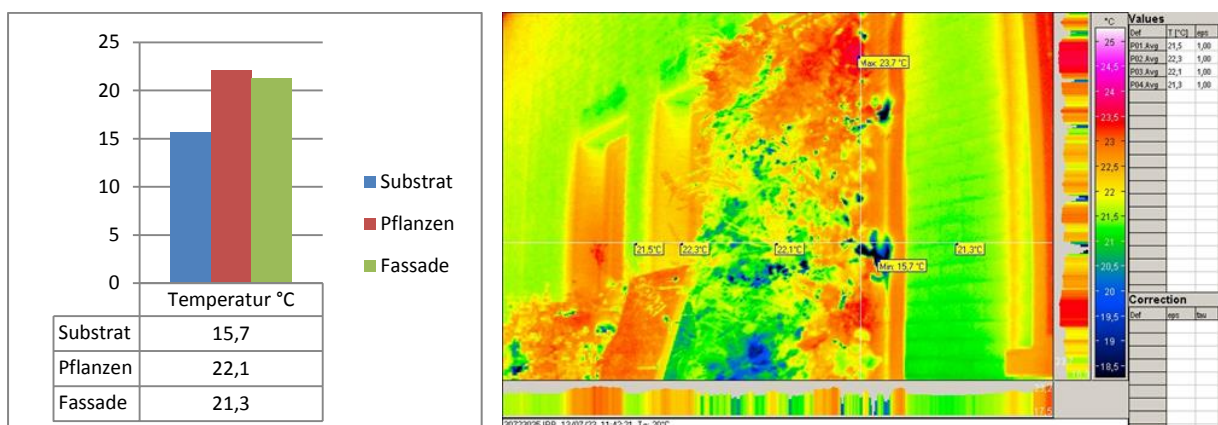


Abb. 2.48: Infrarot-Nachtfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, WB Sempergreen Südfassade.

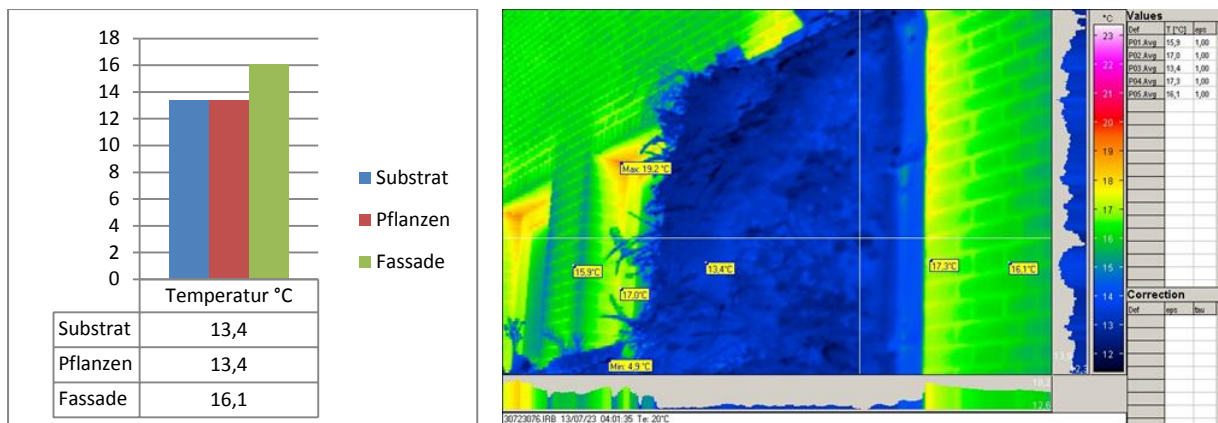


Abb. 2.49: Infrarot-Tagesfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, Geovlies WB (Vertiko).

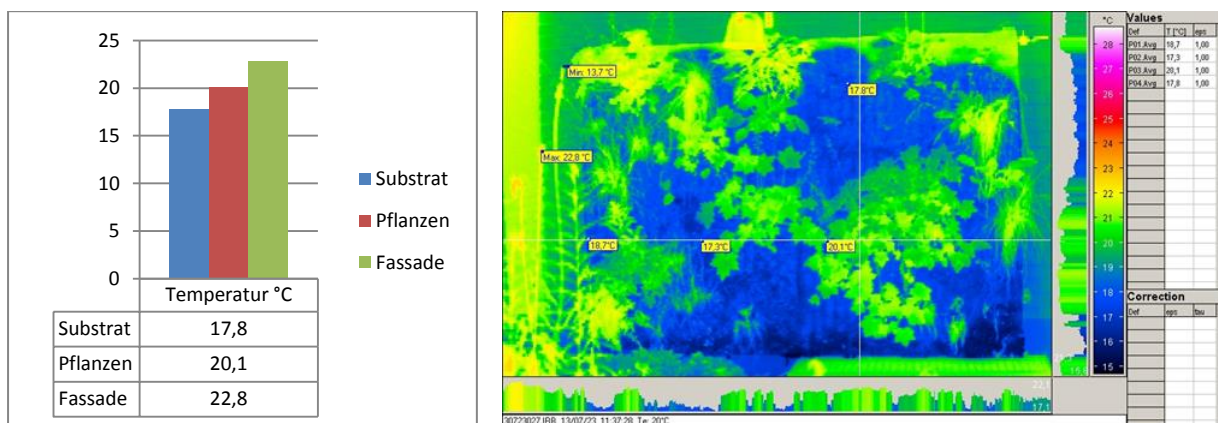


Abb. 2.50: Infrarot-Nachtfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, Geovlies WB (Vertiko).

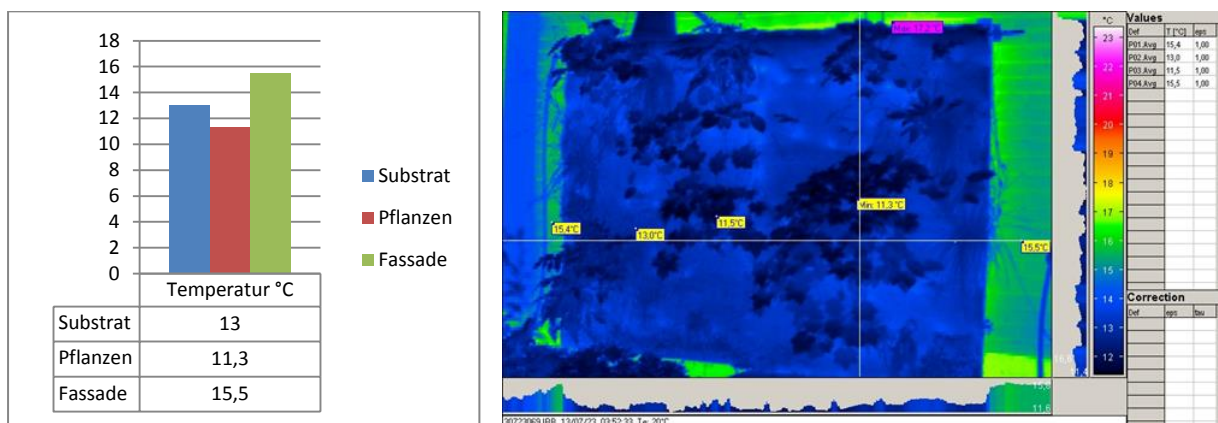




Abb. 2.51: Infrarot-Tagesfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, WB Vivagreen.

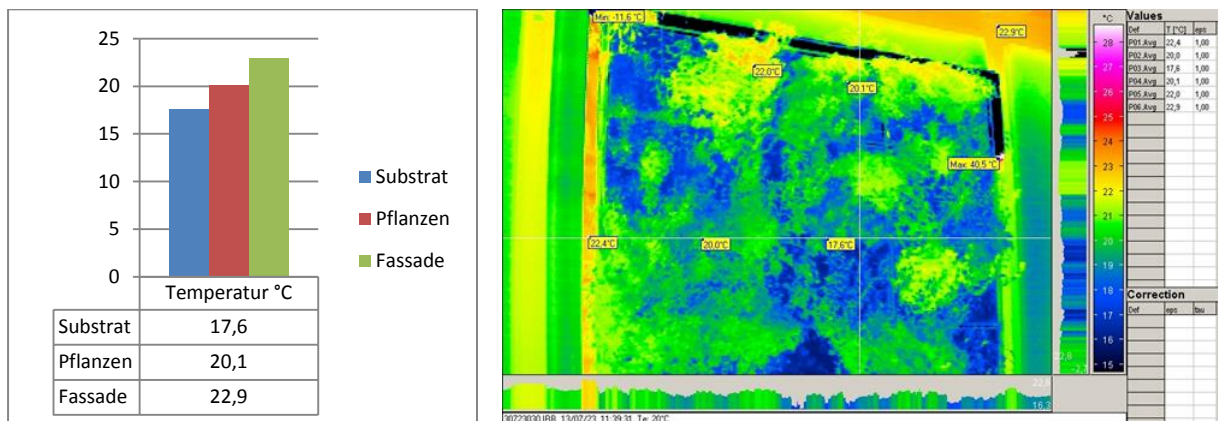


Abb. 2.52: Infrarot-Nachtfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, WB Vivagreen.

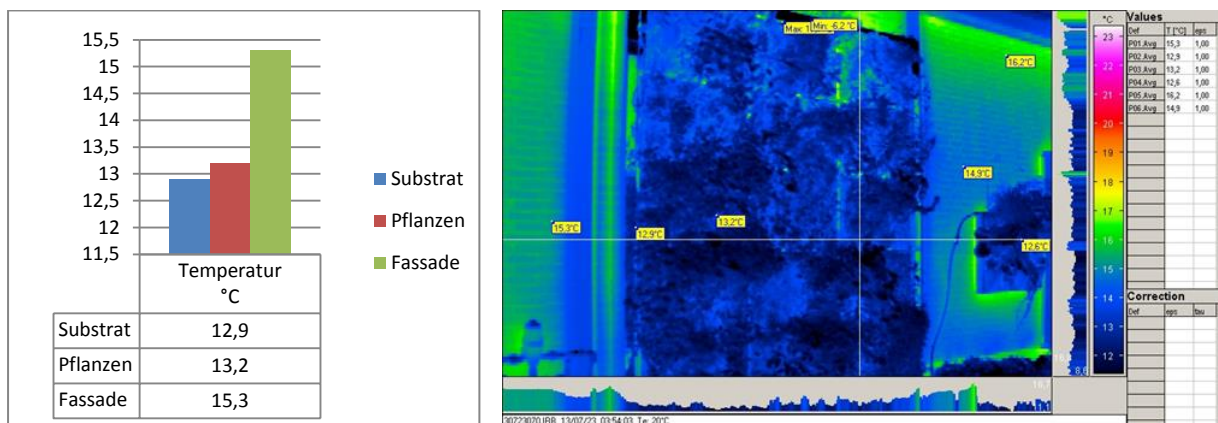


Abb. 2.53: Infrarot-Tagesfoto mit "Infratec-Varioscan" Kamera, links: WB kleine Boxen (Vertiss), rechts WB Cultilene.

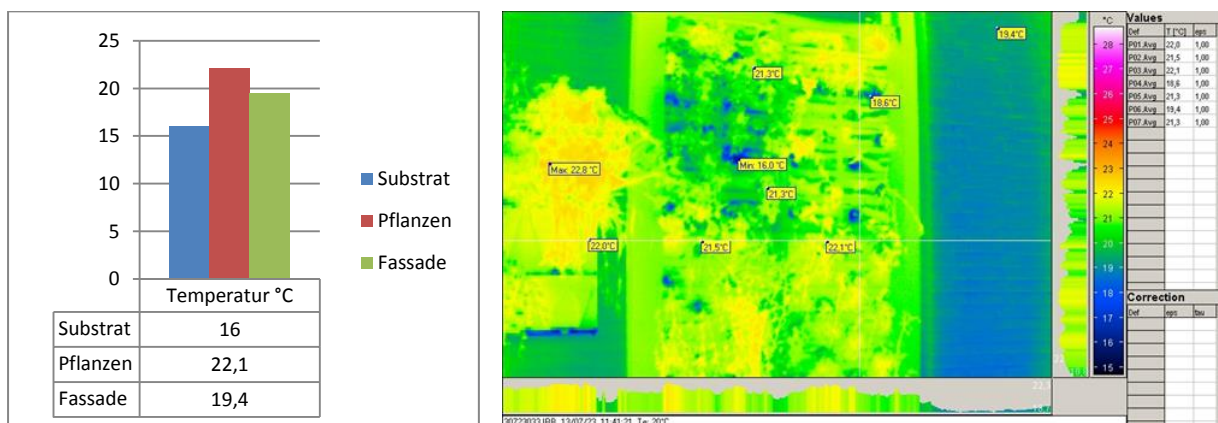
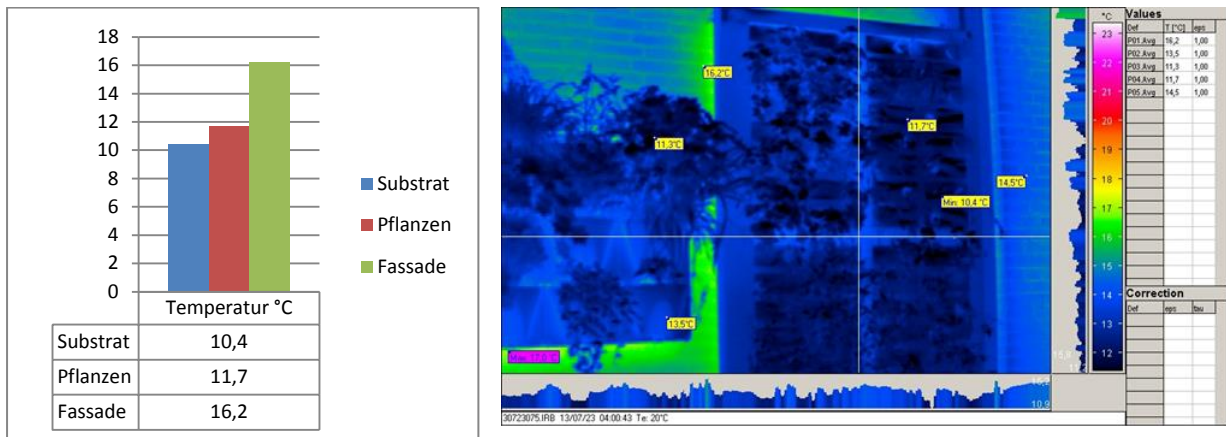


Abb. 2.54: Infrarot-Nachtfoto mit "Infratec Varioscan" Kamera, links: Kleine Boxen (Vertiss), rechts WB Cultilene.



Dicke des Pflanzenpolsters und Umfang der Bewässerung können den Temperaturgradienten von WB beeinflussen. Einzelmessungen am Sonnenhöchststand zeigen deutliche Unterschiede zwischen begrünten und unbegrünten Wänden.

Was das in die Umrechnung von Dämmwerten bedeutet, ist nur in Relation zum spezifischen Wandaufbau abzuschätzen. Die Kombination entsprechender Sandwichtaufbauweise mit dämmenden trockenen und separaten wasserführenden und pflanzentragenden Schichten kann zu einem nennenswerten Dämmwert durch WB genutzt werden.

## **3 Die Testinstallationen in Neubrandenburg**

### 3 Die Testinstallationen in Neubrandenburg

In diesem Kapitel werden vegetationstechnische Details zu den Bauweisen der WB vorgestellt. Die Anregungen aus den Projekt-Beiratssitzungen wurden berücksichtigt. Die Reihenfolge richtet sich nach den vier WB-Grundtypen der Abb. 1.1: Gabionentyp, Kleine Kübel, horizontale Bauweisen, flächige Module, Bauweisen in Geovlies.

Es sollen Aussagen zu folgenden Punkten gegeben werden:

- Pflanzenwuchs,
- Pflegeaufwand pro System,
- Bewässerung pro System,
- Wasserverbrauch.

Generell: Ableitung von Mindest-Qualitätsstandards:

- Bei der Planung (Was ist wo möglich – zu empfehlen?),
- Was ist beim Bau zu beachten? (Handling, Austauschbarkeit, Energieverbrauch bei der Herstellung),
- Welche Herausforderungen zeigen sich beim Betrieb?
- Erläuterungen zur Bewässerung,
- Erläuterungen zur Düngung,
- Welche Pflanzen eignen sich für welches Substrat am besten? Biodiversität in WB?
- Generell: Wartungsfreundlichkeit der Systeme.

Zusätzlich zu den Wandinstallationen wurde eine Reihe mit horizontalen Pflanzboxen im Jahr 2011 aufgebaut, diese dienen zum Test von weiteren Substraten. Es wurde mit Fytofoam, Recticel, Sphagnum begonnen. Im Jahr 2012 noch um Braunkohlefasertorf (Xylitt<sup>®</sup>) ergänzt. Jede Installation hat jeweils eine Größe von ca. 35 x 42 cm, es sind jeweils drei Vergleichseinheiten: ohne Bewuchs, sowie zwei Einheiten mit unterschiedlichen Pflanzenarten. Die Anlage wird seit 2011 bedarfsgerecht bewässert und regelmäßig bonitiert.

Im Untersuchungszeitraum 2013/2014 sind die Magnetventile der Versuchsinstitutionen ausgetauscht worden, das bedeutet eine genauere Dosierung der jeweiligen Bewässerungsintervalle. Ferner wurde eine Untersuchung von wasserspeichernden Zuschlagstoffen mit ins Programm genommen, da so erheblich Bodenvolumen eingespart werden kann und längere Intervalle ohne Bewässerung möglich werden, das sind in diesem Falle Produkte aus Kieselgur als auch aus Hydrogel.

Das nachfolgende Kapitel beginnt mit einer Kurzcharakteristik der in Neubrandenburg untersuchten WBs.

Jedem der WB wird im folgenden Text ein Wertung nach folgendem Schema zugeordnet. Drei Kategorien stehen zur Wertung zur Verfügung. Die Gesamtnote mit max. 15 Punkten, setzt sich aus dem ökologischen Wert, der Möglichkeit einer einfachen Instandhaltung sowie den Anschaffungskosten zusammen.

Tab. 3.0: Wertungskategorien für die WB

Ökologischer Wert	■ ■ ■ ■ ■ (gering / hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ ■ (gering / hoch)
Instandhaltung	■ ■ ■ ■ ■ (gering / hoch)
Anschaffungskosten	■ ■ ■ ■ ■ (gering / hoch)

### **Beschreibung:**

Es sind hier die Erfahrungen am Untersuchungsstandort Neubrandenburg seit Beginn der Arbeiten an WB berücksichtigt. Der vorliegende Zeitraum von wenigen Jahren erlaubt es noch nicht, eine endgültige Abschätzung zu geben. Zur Klärung der Frage nach der langfristigen Haltbarkeit wird auf das Instrument der LCA im Kap. 4 verwiesen.

Fünf grüne Felder sind die höchste/beste Wertung; das heißt der beste ökologische Wert, die geringsten Wartungs-, Instandhaltungskosten, bzw. die geringsten Anschaffungskosten.

Beim **Ökologischen Wert** eine WB geht es um biotische Kriterien, wie Pflanzenverwendung, der Menge an pflanzlicher Biomasse und um Biodiversität. Der ökologische Wert beinhaltet auch biotische Kriterien, wie Verdunstungs- und Kühlleistung mittels hohen Wasserverbrauchs. Geringer Bewässerungsbedarf kann ebenfalls als hoher ökologischer Wert angesehen werden, sofern die zur Verfügung stehende Wassermenge knapp ist. Die Summer der ökologischen Ziele können konträr zueinander stehen. Je nach regionalem Einsatzgebiet müssen die genannten Kriterien projektspezifisch operationalisiert werden. Die einzelnen ökologischen Unterkriterien verhalten sich z.T. gegenläufig.

Beispiele hierfür sind, ein hoher Biomassenanteil korreliert mit guter Eignung zur Staubbindung, Lärminderung oder Verdunstungsleistung. Die gleiche hohe Biomasse kann aber etwa bei der Frage der Biodiversität negativ sein, da im Einzelfall Nischen für spontane Besiedlung mit Wildpflanzen fehlen können.

Eine weiterführende Arbeit kann hierfür erforderliche Differenzierungen herbeizuführen. Hier die wesentlichen Kriterien für den ökologischen Wert einer WB aus der hier vorliegenden Untersuchung:

Alle WB bieten zusätzlichen Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Grundsätzlich ist eine nischenreiche Struktur mit Substraten unterschiedlicher Struktur eine gute Voraussetzung für einen vielfältigen Bewuchs.

- **Biomasse:** (ökologische Funktionen, etwa Staubbindung wird größer, je mehr Biomasse vorhanden ist, eine dichte Biomasse ist für einige besondere Pflanzenarten nachteilig). Analogien zu Staubuntersuchungen an Fassadenbegrünungen (Thönnessen, 2002) und an WB (Ottele, 2011).
- **Pflanzenarten:** Nahezu alle botanischen Pflanzenformen sind möglich, wie: Kleingehölze, Stauden, Gräser, einjährige Krautpflanzen, Moose, Flechten. Für jede Gruppe sollte eine eigene Wertung vergeben werden (Vorschlagsliste, siehe Tab. 3.42).
- Beitrag zur Erhöhung der **Biodiversität:** Bei der Betrachtung der Biodiversität wird ausschließlich Wert auf Wildpflanzen gelegt. Regional sind hier Kriterien wie, lokale Verbreitung, Einwanderungszeit und Gefährdungsgrad zu beachten. Als Beispiel einer regionalen Quelle sei hier auf den Berliner Florenatlas verwiesen (Seitz et al., 2012). Allerdings sind bisher nur wenige Pflanzenarten erfolgreich in WB gewachsen, wie etwa Cymbelkraut (*Cymbalaria muralis*), die Erkenntnisse reichen hier noch nicht für eine abschließende Betrachtung.
- **Verdunstungsleistung:** Korreliert mit dem Wasserverbrauch, Daten hierzu sind in dieser Arbeit gemessen. Sie variieren zwischen 0,5 und ca. 8 Liter/m<sup>2</sup> pro Sommertag. Auch hier kann einerseits ein geringer Wasserverbrauch als positiv eingeschätzt werden, sofern Wasser regional eine knappe Ressource ist. Im Falle der Regenwasserbewirtschaftung mit WB kann eine hohe Verdunstungsleistung ein angestrebtes ökologisches Ziel sein.
- zusätzliche **Wärmedämmung/sommerliche Kühlleistung:** Ein Effekt ist, wie die Messungen in dieser Arbeit zeigen, vorhanden. Die Wirkung kann mit dem Substrat, dem Pflanzenpolster oder den zusätzlichen Materialschichten



zusammenhängen. Es ist der Effekt getrennt für den reinen WB – Aufbau und die dahinter liegenden Dämmschichten separat zu beurteilen (Ottele, 2011).

WB bieten Pflanzenwuchs an Wänden die vorher unbegrünt waren. Somit sind alle hier untersuchten Varianten als ökologische Bereicherung anzusehen. Jedes System kann aber eine weitere Optimierung erfahren, vor allem, wenn objektspezifische Anforderungen in der Detailplanung berücksichtigt werden. Aus diesem Grunde sind hier einheitlich für dieses Kriterium 4 Quadrate vergeben worden.

Ökologischer Wert  ■ ■ ■ ■ ■ (gering / hoch)

Energiebedarf bei Herstellung, Betrieb und Recycling sind eine Kategorie zur ökologischen Bewertung, die über die **LCA – Analyse** im Rahmen dieses Berichtes detailliert bearbeitet und abgeprüft wurde und zu nachfolgenden Wertungen für jede WB (siehe Kap. 4.2, Seite 144 ff.). Ein geringes Kohlenstoff-Äquivalent als positiv gewertet (je geringer desto besser), mit den nachfolgenden Abstufungen.

			Einheit
■	(hoch)	100 – 80	CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )
■ ■	(hoch)	80 – 60	CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■	(mittel)	60 – 40	CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■ ■	(gering)	40 – 20	CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■ ■ ■	(gering)	20 - 0	CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )

Beim Wert „**Pflegekosten**“ geht es um den Aufwand, der regelmäßig – jährlich und in größeren Abständen betrieben werden muss. Es beginnt mit der Pflanzenpflege, schließt erforderliche Reparaturen bis hin zum Austausch wesentlicher Bestandteile des Bewässerungssystems ein. Alle Systeme benötigen regelmäßige Kontrolle und rechtzeitigen Austausch von technischen Teilen, etwa den Magnetventilen. Fünf grüne Felder bedeuten auch, im Rahmen dieser Untersuchung am „störungsunempfindlichsten“ und am einfachsten in der Wartung, Details hierzu, siehe Kap. 4.2 Tabellen und Kap. 5.6). In dieser Wertung wird eine geringe Pflegeerfordernis positiv gewertet (gering = gut) mit den folgenden Abstufungen.

			Einheit
■	(hoch)	100 – 80	(€/m <sup>2</sup> )
■ ■	(hoch)	80 – 60	(€/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■	(mittel)	60 – 40	(€/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■ ■	(gering)	40 – 20	(€/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■ ■ ■	(gering)	20 - 0	(€/m <sup>2</sup> )

Der Faktor „**Anschaffungskosten**“ unterliegt einer großen Bandbreite, die sich auch nach der Größe des Projektes richtet. Funktionstüchtige robuste und langlebige Bewässerungsanlagen sind kostenintensiv. Bei allen Systemen ist eine Preiskorrektur nach unten möglich zukünftig möglich, da es aktuell bei den technischen Komponenten technische Fortentwicklungen gibt, die sich entsprechend positiv auf den Preis auswirken. Den WB steht der Sprung von individuellen Einzellösungen hin zu häufigen Begrünungsvarianten noch bevor. Allein durch den Verkauf größerer Stückzahlen der Begrünungssysteme wird zukünftig der Preis pro Quadratmeter fallen. In dieser Abschätzung sind aktuelle Werte während des Untersuchungszeitraumes bei mittleren Begrünungsgrößen als Basis genommen. Bei allen größeren Begrünungen, die über mehrere Stockwerke gehen, sind die Kosten für die Gerüstlösungen um eine Erreichbarkeit zur Wartung zu gewährleisten, mit in diese Kosten einzurechnen. Diese Kosten sind vergleichbar zu den entsprechenden Fahrkörben zur Reinigung von großflächigen Fassadenverglasungen, allerdings wirkt sich das Breitenwachstum der Fassadenpflanzen erschwerend auf die Konstruktion entsprechen-

der Fahrkörbe aus. In der nachfolgenden Abschätzung sind ausschließlich die Materialkosten der WB berücksichtigt. Auch hier sind geringe Kosten als positiv gewertet.

			Einheit
■	(hoch)	500 – 400	(€/m <sup>2</sup> )
■ ■	(hoch)	400 – 300	(€/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■	(mittel)	300 – 200	(€/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■ ■	(gering)	200 – 100	(€/m <sup>2</sup> )
■ ■ ■ ■ ■	(gering)	100 - 0	(€/m <sup>2</sup> )

### 3.1 Technische Daten der WB

Tab. 3.1: Technische Daten eines WB-Gabionensystems (Beispiel Schadenberg).

Gewicht	über 280 kg / m <sup>2</sup>
Die Größe des Einzelmoduls	L 100 cm / H 50 cm
Höhe der Versuchsbegrünung	250 cm
Breite der Versuchsbegrünung	100 cm
Substratstärke	30 cm
Material	Stahlgitter verzinkt.
Substrat	Feinkörniges, nährstoffhaltiges Spezialsubstrat
Farbe	Variabel
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne, Kleinsträucher – Immergrüne – Sommergrüne. – Relativ großformatige Arten sind möglich.
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 25 (mittel)
Pflegeaufwand Euro pro m <sup>2</sup>	■ ■ ■ 45 (mittel)
Kostenfaktor (Euro pro m <sup>2</sup> )	■ ■ 383 (hoch)

Tab. 3.2: Technische Daten für die getesteten Kleinen Kübel (Beispiel: Vertiss).

Gewicht	Ca. 17 kg/ m <sup>2</sup>
Die Größe des Einzelmoduls	L 30 cm / H 80 cm
Höhe der Versuchsbegrünung	80 cm
Breite der Versuchsbegrünung	120 cm
Substratstärke	8 cm
Substrat	Humoses Spezialsubstrat mit Hydrogelbeimischungen
Material	High-Density-expandiertem Polypropylen
Farbe	schwarz
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne,
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ 46 (gering)
Pflegeaufwand Euro pro m <sup>2</sup>	■ ■ ■ ■ ■ 18 (gering)
Kostenfaktor (Euro pro m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 132 (gering)

Tab. 3.3: Technische Daten für Kleine Kübel (Beispiel: Selbstbau 2011).

Gewicht	über 50 kg/m <sup>2</sup>
Die Größe des Gesamtmoduls	H 150 cm / B 100 cm (nur ein Modul)
Höhe der Versuchsbegrünung	150 cm
Breite der Versuchsbegrünung	100 cm
Substratstärke	10 cm
Material	Kunststoff-Dachpfanne; Geovlies schwer als Außenhülle,
Substrat	Fytofoam
Farbe	weiß
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne,
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 24,5 (gering)
Pflegeaufwand Euro pro m <sup>2</sup>	■ ■ ■ ■ ■ 18 (gering)
Kostenfaktor (Euro pro m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 169 (gering)

Tab. 3.4: Technische Daten flächige Module (Beispiel: Optigrün).

Gewicht	50 Kg/m <sup>2</sup> , 0,83 KN/m <sup>2</sup>
Die Größe des Einzelmoduls	L 100 cm / B 50 cm
Höhe der Versuchsbegrünung	200 cm
Breite der Versuchsbegrünung	300 cm
Substratstärke	Ca. 5 cm
Material	Trage-Unterkonstruktion, mit variablen Einhängebehältern.
Substrat	Geovlies, Intensiv-Dachsubstrat, vulkanisches Material.
Farbe	Aluminium
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne, Kleinsträucher – Immergrüne – Sommergrüne
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 27,65 (gering)
Pflegeaufwand Euro pro m <sup>2</sup>	■ ■ ■ ■ ■ 18 (gering)
Kostenfaktor (Euro pro m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 182 (gering)

Tab. 3.5: Technische Daten: flächige Module (Beispiel: Sempergreen).

Gewicht	über 45 Kg/m <sup>2</sup>
Die Größe des Einzelmoduls	L 60 cm / H 50 cm
Höhe der Versuchsbegrünung	200 cm
Breite der Versuchsbegrünung	120 cm
Substratstärke	Ca. 5 cm
Material	Metallunterkonstruktion, Mineralwolle, Vlies, Aluminiumrahmen als Abschluss
Substrat	Mineralwolle als Pflanzsubstrat
Farbe	Grau
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne, Kleinsträucher – Immergrüne – Sommergrüne
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ 89,72 (hoch)
Pflegeaufwand Euro pro m <sup>2</sup>	■ ■ ■ ■ ■ 18 (gering)
Kostenfaktor (Euro pro m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ ■ 89,21 (gering)

Tab. 3.6: Technische Daten flächige Module (Beispiel: Vivagreen).

Gewicht	88 Kg/m <sup>2</sup>
Die Größe des Einzelmoduls	L 100 cm / H 60 cm
Höhe der Versuchsbegrünung	300 cm
Breite der Versuchsbegrünung	300 cm
Substratstärke	5,5 cm
Material	Metallrahmen, Aluminiumrahmen, Edelstahlmodule, Humoses Substrat, mit Styroporbeimischungen.
Substrat	Humoses Substrat, mit Styroporbeimischungen.
Farbe	Metall – in allen Farben bei Bedarf lieferbar.
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne, Kleinsträucher – Immergrüne – Sommergrüne
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 23,95 (gering)
Pflegeaufwand Euro pro m <sup>2</sup>	■ 18 (gering)
Kostenfaktor (Euro pro m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ ■ 71,52 (gering)

Tab. 3.7: Technische Daten flächige Module (Beispiel: Cultilene).

Gewicht	über 50 Kg/m <sup>2</sup>
Die Größe des Einzelmoduls	L 60 cm / H 98 cm,
Höhe der Beispielinstallation	196 cm
Breite der Versuchsbegrünung	120 cm
Substratstärke	7 cm
Material	Metallboxen
Pflanzsubstrat	Steinwolle
Farbe	schwarz / weiß – freie Farbgestaltung
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne, Kleinsträucher – Immergrüne – Sommergrüne
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 30,84 (gering / hoch)
Pflegeaufwand Euro pro m <sup>2</sup>	■ 18 (gering / hoch)
Kostenfaktor (Euro pro m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ 205,75 (gering / hoch)

Tab. 3.8: Technische Daten für flächige Module (Beispiel: 90DeGreen).

Gewicht	30 Kg/m <sup>2</sup>
Die Größe des Moduls	Die Größe ist dem entsprechenden Bau flexibel anpaßbar.
Höhe der Versuchsbegrünung	190 cm
Breite der Versuchsbegrünung	187 cm
Substratstärke	7 cm
Material	Rahmenkonstruktion auf Rohbaukonstruktion, Dämmschicht, Metallprofilplatte, Steinwolle.
Farbe	Grau
Pflanzsubstrat	Steinwolle
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne, Kleinsträucher – Immergrüne – Sommergrüne
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 30,42 (gering / hoch)
Instandhaltungskosten	■ 18 (gering / hoch)
Kostenfaktor	■ ■ ■ ■ ■ 84 (gering / hoch)

Tab. 3.9: Technische Daten für flächige Module (Beispiel: Selbstbau 2010).

Gewicht	über 50 kg/m <sup>2</sup>
Die Größe des Einzelmoduls	L 35 cm / H 42 cm
Substratstärke	10 cm
Material	Metallkorb-gestrichen, Vlies,
Substrat	3 Substrate getestet, Fytofoam, vulkanisches Extensivsubstrat, leichtes poröses Innenraumbegrünungssubstrat.
Farbe	weiß
Bepflanzung	Verschiedene Arten: Gräser, Sedum, Stauden, Farne, Kleinsträucher – Immergrüne – Sommergrüne
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	(gering / hoch) <b>nicht bewertet</b>
Instandhaltungskosten	(gering / hoch)
Kostenfaktor	(gering / hoch)

Tab. 3.10: Technische Daten für Geovlies (Beispiel: Vertiko).

Gewicht	über 30 kg / m <sup>2</sup>
Die Größe des Einzelmoduls	L 100 cm / H 150 cm
Höhe der Versuchsbeegrünung	150 cm
Breite der Versuchsbeegrünung	200 cm
Substratstärke	1.5 cm
Pflanzsubstrat	Geovlies
Material	Rahmenkonstruktion, beschitete Rückplatte, Enka-Schlingmatte, flexibel angeordnete und variable Pflanztaschen
Farbe	grün
Bepflanzung	Moosmatte, Pflanztaschen mit div. Gräsern, Stauden, Farnen und Kleingehölzen möglich.
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 38,7 (hoch)
Instandhaltungskosten	■ 19(gering / hoch)
Kostenfaktor	■ ■ ■ ■ 105 (gering / hoch)

Tab. 3.11: Technische Daten für Geovlies (Beispiel: Selbstbau Innenwand).

Gewicht	Unter 20 kg/m <sup>2</sup>
Die Größe der Gesamtbegrünung	L 400 cm / H 100 cm
Substratstärke	2 cm
Material	Rahmenkonstruktion, Aluminium-Rückplatte
Farbe	Grau
Pflanzsubstrat	Zwei-, bzw. Dreilagiges Geovlies mit Pflanztaschen, individuelle Substratbeimengungen
Bepflanzung	Etwa 10 verschiedene typische tropische Pflanzenarten mit guter Eignung bei der Innenraumbegrünung
Ökologischen Wert	■ ■ ■ ■ (hoch)
LCA-Wert CO <sub>2</sub> e (g/m <sup>2</sup> )	■ ■ ■ ■ 38,7 (hoch)
Instandhaltungskosten	■ 19(gering / hoch)
Kostenfaktor	■ ■ ■ ■ 105 (gering / hoch)

## 3.2 Pflanzenverwendung

Das erwünschte Merkmal einer guten WB ist eine dauerhafte und flächenfüllende Pflanzenbedeckung. Was sich hinter dieser Pflanzenschicht verbirgt, ist für die meisten Gebäudenutzer weniger interessant. Diese verborgenen Details in einem guten Zusammenspiel von Speichermedien, automatisierter Bewässerung und Pflege zu halten, sind die für Planer entscheidenden Details, die es richtig auszuwählen und individuell anzupassen gilt.

Die Kriterien der nachfolgenden Tabelle 3.12 sind Argumente, die in einem Beratungsgespräch mit einem Bauherrn zu klären sind. Es ist hilfreich, diese Ansprüche mit frühzeitig abzuklären. Zu den Rahmenbedingungen zählen auch Fragen der statischen Belastbarkeit der zu begrünenden Wände, die Erreichbarkeit und der Erschließung mit Strom und Wasser. WBs bieten vielfältige Bepflanzungsmöglichkeiten, gleichwohl gilt es frühzeitig auf Bepflanzungsgrenzen hinzuweisen. Wände bleiben für die meisten Pflanzenarten ein extremer Lebensraum, der sich von dem natürlichen Wuchsort stark unterscheidet.

Tab. 3.12: Auswahlkriterien zum Bepflanzungsprinzip von WB.

	<b>Kriterium – Anforderung an die Bepflanzung</b>	<b>Problematik - Lösungsansatz</b>	<b>Bedeutung/ Gewichtung</b>
1	Ganzjährige Bedeckung mit Vegetation – Aussehen üppig mit einigen Blühaspekten, keine besonderen weitergehenden Anforderungen.	Winterruhe, saisonale Phänologie –  Auswahl entsprechender immergrüner Arten – freie Entscheidung gemäß der Eignungsliste für den regionalen Standort.	
2	Bepflanzung mit interessantem vielfältigem Wechsel in Struktur, Farben und Blüten	Detailliertes Bepflanzungskonzept – angepasst an die klimatische Situation.  -Gute Pflanzenkenntnis – aufwändiges gärtnerisches Pflegekonzept.	
3	Verhältnis Zierpflanzen – Wildpflanzen – Schwerpunkt: Förderung der lokalen Biodiversität	WB sind gärtnerische Intensivsysteme. Sollen hier lokale Wildpflanzen verwendet werden, ist das eine besondere Herausforderung und bedeutet einen anderen, meist höheren Planungs- und Pflegeaufwand. Geeignete Wildpflanzen entstammen meist der pflanzensoziologischen Gruppe der „Mauervegetation“. Es ist möglich, schränkt die Auswahl an Arten aber ein.	
4	Ist ein bestimmtes optisches Bild, etwa ein Firmenlogo, Landkarte o.ä. mit der WB angestrebt.	Detaillierte Pflanzenauswahl – hoher regelmäßiger Pflegeaufwand. In mildem, frostfreiem Klima einfacher zu realisieren als in extremeren Klimazonen. Wäre auch eine Variante bei der Innenraumbegrünung.	

Pflanzen in WB sollen mit diesem sehr exponierten Wuchsort, der sich von dem typischen Standort erheblich unterscheidet jahrelang klar kommen. Der jährliche Zuwachs soll sich in bescheidenem Umfang bewegen, da sonst zu viel Schnittmasse anfällt.

Für alle WB sind entsprechend Fotos aus den Jahreszeiten angefügt. Mehrmals jährlich sind alle Pflanzen an den Fassaden gemessen und nach festgelegten Kriterien geschätzt worden.

Jedes WB hat etwas andere Zielstellungen, trotzdem kristallisiert sich ein Grundsoriment heraus, das für alle Varianten als zuverlässig gelten kann.

Folgende prinzipielle Forderungen sind an Pflanzen in WB gestellt:

- Moderater Zuwuchs pro Jahr (nicht zu üppig),
- Regenerationsfähig,
- Ganzjährig akzeptables Aussehen (Blüte, Blattstruktur, Immergrün): da nicht immer alle Pflanzen allen Kriterien genügen können, ist einer geschickte Kombination erforderlich, die das Auge des Betrachters beim Anblick der Begrünung auf die jeweiligen phänologischen Besonderheiten lenkt.

### 3.2.1 Methodik der Pflanzenerfassung

Jede Pflanzfläche wurde mehrmals im Jahr pflanzengenau hinsichtlich der Längenausdehnung erfasst. Die Auszähltechnik unterscheidet sich im Detail etwas von Pflanzwand zu Pflanzwand. Schließlich sind Wertzahlen gebildet worden, die als Summenwert der verwendeten Arten direkt vergleichbar sind. Zusätzlich ist jeweils der Deckungsgrad pro Teilfläche notiert worden. Innerhalb eines Pflanzmoduls ist die Flächenbedeckung nicht immer gleichmäßig, dieses kann einerseits am pflanzentypischen Wuchs liegen oder bedingt durch vielleicht ungleichmäßige Wasserversorgung bedingt sein.

Im Anhang Tab. A 11 – A 16, sind zusammenfassende Auszüge aus den Originalerfassungstabellen gedruckt (Seiten 209-220). Von jedem Jahr ist jeweils nur ein Erfassungstermin aufgelistet. Die Erfassung der Artenentwicklung erfolgte für jedes Pflanzenindividuum mit Angaben zu Wuchsgröße (Länge x Breite). Hieraus sind die jährlichen Veränderungen im Zuwuchs abgeleitet und im Folgenden bei jeder Variant graphisch aufbereitet.

Die Art der Bepflanzung wurde so gewählt, dass sich die gleiche Pflanzenart in WB unterschiedlicher Anbieter wiederholt und die Ergebnisse miteinander vergleichbar sind. Für jedes einzelne Pflanzenindividuen wurden eine Reihe von Messgrößen notiert, wie Längenwuchs, Höhe, Ausdehnung auf den WB. Die Angaben wurden zu Wertzahlen aggregiert. Der Gesamtversuch umfaßte einige Arten, deren erfolgreiches Wachstum in WB bereits bekannt ist, sowie einigen „Besonderheiten“ für die in diesem Zusammenhang noch keine Erfahrungen vorlagen.

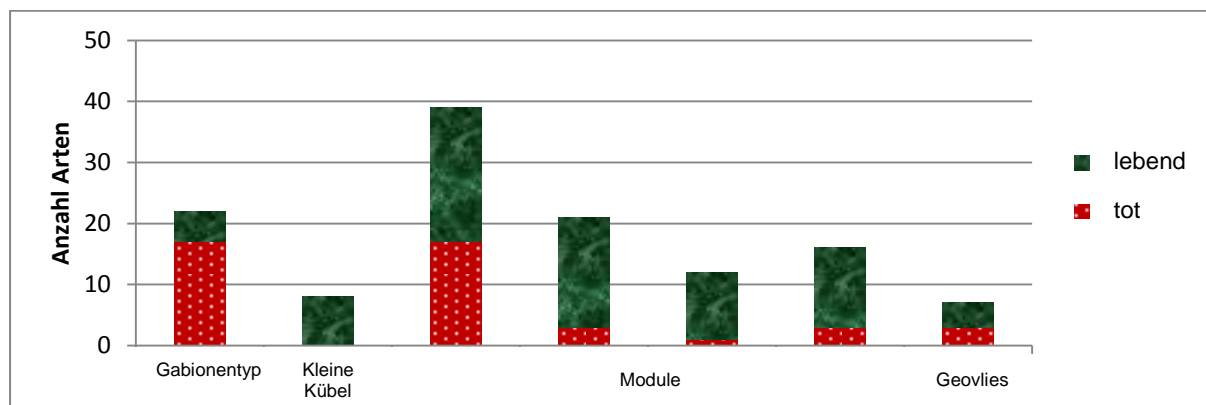
Viele Anbieter haben auch in dünn-schichtigen Systemen Gehölze im Sortiment. Wie weit diese sich schließlich auch in dünn-schichtigen Systemen bewähren galt es ebenfalls zu überprüfen. Die meisten WB sind weitgehend mit typischen Gartenpflanzen bepflanzt. Es gibt jedoch auch eine zunehmende Nachfrage nach Wildpflanzen in diesen Systemen, auch hierzu werden erste Ergebnisse geliefert.



### 3.2.2 Ergebnisse zur Pflanzenentwicklung auf den getesteten WB

Die nachfolgende Abbildung entstammt einer Präsentation des Erstautors für den IGRA-Weltkongress, Hamburg (Mai 2013). Diese erste zusammenfassende Auswertung der hier verwendeten WBs charakterisiert die Pflanzenentwicklung des Untersuchungsjahres 2012 zusammen. Ein gewisser jährlicher Nachpflanzungsbedarf besteht bei allen Varianten. Das muss bei den jährlichen Pflegekosten entsprechend eingeplant werden.

Abb. 3.1: Exemplarische Auswertung des Untersuchungsjahres 2012. (Anzahl der Pflanzenarten pro Fassadensystem, eingeteilt in „Gesamtzahl gepflanzt: im Laufe des ersten Versuchsjahres abgestorben „tot“, sowie die Kategorie „lebend“.  
Balken von links nach rechts: Gabiontyp (Schadenberg); Kleine Kübel (Vertiss); Module „Vivagrün“, „Optigrün“, „Sempergreen-Nordseite“, „90degree“; Geovlies „Vertiko“.



Die Anzahl der „Überlebenden“ in dem Gabiontyp“ ist zwar gering im ersten Jahr, trotzdem haben die übrigen Pflanzen den Deckungsgrad ausgeglichen und etwa 99% Blattbedeckung erreicht. Es kam zu einer Selektion der fitten Arten für diesen Aufbauartyp.

Im Begrünungstyp „Kleinen Kübel“ haben alle zu Beginn gepflanzten Arten überlebt, die meisten kamen auch im Laufe der Vegetationsperiode 2012 zur Blüte/Fruchtreife und entwickelten sich so prächtig, dass diese Arten die Übergänge zu den angrenzenden Kästen bedeckte.

Beim Begrünungstyp „flächige Module“ mit insgesamt vier WB, gab es einige Ausfälle in allen Varianten. Auch hier gilt, die überlebenden Pflanzen hatten einen zufriedenstellenden Zuwachs und damit einen befriedigenden Deckungsgrad von mindestens 80% der Gesamtfläche zur Folge. Offener Boden ist im Sommer nur vereinzelt zu sehen. Geringfügige Nachpflanzungen wurden in allen WB durchgeführt und dienten dem Lückenschluss.

Im Jahr 2014 sind nur wenige weitere Pflanzenindividuen abgestorben. Die genannten Angaben einiger Hersteller, von einem Austauschbedarf der etwa bei einem Drittel liegt, bestätigte sich in der Untersuchung in Neubrandenburg nicht. Es scheint so, als wenn sich eine WB in Anlagejahr zunächst an einen entsprechenden Standort anpassen muss. Die dann jährliche Nachpflanzung ist häufig als gärtnerische Gestaltung mit geringer Nachpflanzungsrate zu begreifen. Das kann eines Gartens verstanden werden, in dem die Bepflanzung jährlich aus gestalterischen Gründen angepaßt wird. Der Austausch aus Überalterungsgründen ist mit diesem Zeitraum noch nicht mit erfaßt, auch die gepflanzten Gehölze haben sich in den bisherigen Untersuchungsjahren gut in die dünn-schichtigen Substrate eingepaßt. Die genauen Nachpflanzungen im Rahmen dieses Versuches, verteilt auf die Jahre bis 2014 sind mit Pflanzdatum und Größenentwicklung der Tabelle A 11 im Anhang S.209 zu entnehmen.

### 3.3 Erfahrungen zur Pflanzenauswahl an WB in Neubrandenburg

Die nachfolgende Tabelle 3.13 liefert einen zusammenfassenden Überblick zu der besonders kritischen Etablierungsphase der WB in den ersten beiden Jahren nach der Installation und eine Gesamtbewertung. Für jede Variante ist die Anzahl der Pflanzen genannt, sowie ihr Wuchsverhalten. Danach folgt die Beurteilung der Systeme im Einzelnen für die vier Begrünungsvarianten. Die abschliessende Bewertung über den Gesamtzeitraum unabhängig vom Begrünungsaufbau ist in der Ergebnistabelle 3.42 zu finden. Diese enthält neben den Botanischen auch gebräuchliche deutsche Namen. Die abschliessende Wertung ist graphisch mittels Blattsymbolen verdeutlicht. Die angegebenen Winterhärtezonen der Arten erlauben einen Vergleich zwischen den WHZ- Angaben und den tatsächlich besonders erfolgreichen Arten.

Tab. 3.13: Entwicklung von Pflanzenarten in den unterschiedlichen WB.

Botanischer Name	Anzahl	Überlebens- rate	relativer	Bewertung
	Pflanzen		Zuwachs	Juli
1: Vivagreen – gute Entwicklung	Anfang		2012, 2013	2014
<i>Polypodium vulgare</i>	14	1,0	10,4	-
<i>Lysimachia nummularia</i> 'Aurea'	14	0,9	31,7	+
<i>Astilbe chinensis</i> 'pumila'	10	1,0	2,9	++
<i>Campanula rotundifolia</i>	10	1,0	98,3	++
<i>Cymbalaria muralis</i>	10	1,0	24,9	+++
<i>Fragaria vesca</i>	10	1,0	7,3	+
<i>Lamium maculatum</i>	14	0,7	9,0	+++
<i>Saxifraga cuneifolia</i>	10	1,0	6,0	+++
<i>Saxifraga umbrosa</i>	10	1,0	7,1	+++
<i>Sedum spurium</i>	10	1,0	6,3	+++
<i>Tiarella cordifolia</i>	10	1,0	3,2	++
<i>Heuchera miniatures</i>	10	0,9	41,0	+++
<i>Heucherella alba</i> 'Brigdet Bloom'	10	0,9	2,6	++
<i>Sedum floriferum</i>	7	1,0	72,2	+++
<i>Pachysandra terminalis</i>	14	0,4	0,6	+
<i>Allium schoenoprasum</i>	10	0,5	12,2	-
<i>Asplenium trichomanes</i>	10	0,5	0,3	+
<i>Euphorbia cyparissias</i>	15	0,3	38,4	++
<i>Hosta</i> 'Cat and Mouse'	5	1,0	83,8	++
<i>Sedum kamchaticum</i>	7	0,7	637,0	++
<i>Waldsteinia ternata</i>	5	1,0	4,2	++
<i>Persicaria affinis</i> 'Superba'	15	0,1	1,4	++

Botanischer Name	Anzahl	Überlebens-	relativer	Bewertung
	Pflanzen	rate	Zuwachs	Juli
2: Optigrün – gute Entwicklung	Anfang		2012,2013	2014
Heuchera micrantha 'Purple palace'	10	1	7,9	+++
Geranium macrorrhizum	10	1	11,9	+++
Sedum spectabile	10	0,9	1,8	+
Bergenia cordifolia	10	0,9	9,7	+++
Potentilla neumanniana	10	0,9	1,4	+
Aubretia x cultorum 'Hamburg Stadtpark'	9	0,9	2,5	+++
Carex morrowii	10	0,8	0,5	+++
Nepeta fassenii	10	0,8	1,3	+++
Arabis procumbens	10	0,6	2,9	+++
Geranium sanguineum	10	0,5	0,8	++
Hosta f. minima	10	0,4	0,4	+
Teucrium chamaedrys	10	0,3	0,1	++
Fragaria vesca 'Rügen'	10	0,2	3,8	+
Aster dumosus	10	0,1	0,7	+
Sempervivum tectorum	1	1	5,6	+++
Symphoricarpos chenaultii	0			+++
Pachysandra terminalis				+
Alchemilla mollis				+
3: Vertiss - gute Entwicklung				
Buxus sempervirens	3	1	1	++
Luzula sylvatica	2	1	1	+++
Gaultheria decumbens	2	1	0,7	+
Actostaphyllum uva ursi	1	1	0,4	++
Bergenia codifolia	1	1	1	+++
Euonymus fortunei	2	0,5	0,5	-
Heuchera microphylla	1	1	2,6	+++
Cotoneaster horizontalis	1	1	0,5	+++
4: Vertiko - gute Entwicklung				
Hosta fortunei 'albomarginata'	11	0,7	0,6	++
Hosta sieboldiana	5	0,6	0,6	++
Blechnum spicant	4	0,5	3,3	+
Carex hachjoensis	2	1	0,7	++

Botanischer Name	Anzahl	Überlebens- rate	relativer	Bewertung
	Pflanzen		Zuwachs	Juli
5: Sempergreen - gute Entwicklung	Anfang		2012, 2013	2014
Heuchera microphylla 'Purple palace'	33	0,8	1,8	+++
Juniperus squarosus	30	0,7	0,8	+++
Spiraea bumalda	17	1	1,2	+++
Festuca ovina	17	0,6	0,7	+
Potentilla fruticosa	7	1,1	2,1	+++
Sagina procumbens	11	0,5	0,5	-
Ilex crenata	16	0,3	0,7	+
Thymus spec.	13	0,3	0,9	++
Pinus mugo var. mughus	11	0,3	1,6	+++
Waldsteinia geoides	18	0,1	0,5	+++
Gaultheria decumbens	16	0,1	0,5	++
Schadenberg - gute Entwicklung				
Heuchera micranta 'Purple palace'	34	1,0	1,9	+++
Mentha spicata	4	0,8	3	-
Gaura lindheimerii	12	0,2	0,4	+
Lavandula angustifolia	9	0,1	0,6	+
Bergenia cordifolia	3	1,0	1,6	+++
90degreen – gute Entwicklung				
Cerastium tomentosum	9	0,9	2,6	+
Bergenia cordifolia	8	1,0	2	+++
Carex morrowii	7	1,0	1,2	+++
Pachysandra terminalis	6	1,0	0,6	+
Buxus sempervirens	4	1,0	1,7	++
Heuchera mircophylla 'Purple palace'	10	0,3	8,7	++
Sedum spurium 'album'	4	0,8	5,2	++
Sedum spectabile	4	0,8	0,6	-
Actostaphyllum uva-ursi	1	1,0	0,8	-
Teucrium chamaedrys	1	1,0	0,4	+
Sedum spurium 'album'	2	0,5	0,8	+
Teucrium chamaedrys	1	1,0	0,4	+

Botanischer Name	Anzahl	Überlebens-	relativer	Bewertung
	Pflanzen	rate	Zuwachs	Juli
Ausfälle	Anfang		2012, 2013	2014
<b>Ausfälle Vivagreen</b>				
Asarum europaeum	10	0,0	0,0	
Blechnum spicant	10	0,0	0,0	
Carex oshimensis	10	0,0	0,0	
Cyclamen hederifolium	15	0,0	0,0	
Cyclamen purpurascens	14	0,0	0,0	
Cyrtomium fortunei	13	0,0	0,0	
Duchesna indica	10	0,0	0,0	
Epimedium x 'Perralchicum'	10	0,0	0,0	
Galium odoratum	14	0,0	0,0	
Gaultheria procumbens	10	0,0	0,0	
Glechoma hederacea	11	0,0	0,0	
Liriope muscari 'Monroe White'	10	0,0	0,0	
Muscari comosa	10	0,0	0,0	
Omphalodes verna	10	0,0	0,0	
Prunellagrandiflora	10	0,0	0,0	
Reineckea carnea	10	0,0	0,0	
Rubus calcynoides	10	0,0	0,0	
<b>Ausfälle Optigruen</b>				
Euonymus fortunei 'Emerald Gaiety'	10			
Euonymus fortunei 'Emerald Gaiety'	10			
Luzula sylvatica	10			
Coto. microphyllus 'Steibs Findling'	10			

Botanischer Name	Anzahl	Überlebens-	relativer	Bewertung
	Pflanzen	rate	Zuwachs	Juli
Ausfälle Vertiss: keine	Anfang		2012, 2013	2014
<b>Ausfälle Vertiko</b>				
Carex conicocrea 'Snowline'	3	0		
Phyllitiss scopolendrium	3	0		
Polystichum setiferum	4	0		
<b>Ausfälle Sempergreen</b>				
Vinca minor	14			
<b>Ausfälle Schadenberg</b>				
Liriope muscari	10	0,0	0	
Carex morowii	8	0,0	0	
Carex elata	6	0,0	0	

Carex morrowii 'Variegata'	9	0,0	0	
Carex buchananii	5	0,0	0	
Ilex crenata 'Convexa'	1	0,0	0	
Fatsia japonica	4	0,0	0	
Convolvulus mauritanicus	10	0,0	0	
Cotinus coggyria 'Royal Purple'	2	0,0	0	
Sambucus nigra 'laciniata'	6	0,0	0	
Prunus laurocerasus 'Otto Luyken'	1	0,0	0	
Vinca minor	7	0,0	0	
Perowskia atriplicifolia	6	0,0	0	
Hosta sieboldiana	5	0,0	0	
Brunnera macrophylla	2	0,0	0	
Syringa vulgaris	3	0,0	0	
Fragaria virginiana	4	0,0	0	
<b>Ausfälle 90degree</b>				
Cotoneaster microphyllus	8			
Euonymus fortunei 'Emerald Gaiety'	1			
Gaultheria decumbens	3			

### 3.3.1 Gabionentyp

Die Variante „Gabionentyp“ wurde im Mai 2011 aufgebaut. Sie besteht aus fünf Einzel-elementen, die fertig bepflanzt geliefert und von der Firma auf einem bauseits vorgefertigten Fundament an der Nordfassade des Hauses 2 der Hochschule Neubrandenburg installiert wurden. Jedes der Module hat eine eigene Wasserversorgung mittels Tropfschlauch. Im ersten Jahr wurde die Vegetation im zweiwöchentlichen Rhythmus im Rahmen eines studentischen Projektes erfasst und ist dann später in Rahmen dieser Arbeit weitergeführt. Von den ersten Wochen an beeindruckt diese Variante durch eine üppige Vegetation.

Das hohe Eigengewicht erfordert ein entsprechendes Fundament, die erreichbare Höhe ist in dieser Technik konstruktionsbedingt auf wenige Meter beschränkt und benötigt etwa für jede Geschoßhöhe einen erneuten stabilen Untergrund.

Das massive Substrat auf der Basis von Porlit benötigt auch im Sommer nur alle paar Tage eine Bewässerung, das Substrat enthält Mineralien, die langsam zersetzt, wie ein Langzeitdünger wirken. Beide Fakten zusammen machen diese WB robust gegenüber kurzfristigem Bewässerungsausfall.

Die Fassade kann freistehend als räumliche Abgrenzung im Freiraum installiert und beidseitig bepflanzt werden.

Die Testmodule dieses Typs sind in Neubrandenburg kalten winterlichen Ostwinden mit einer starken Austrocknung ausgesetzt, was eine besondere Belastung für die Bepflanzung mit sich bringt.

Tab. 3.14: Beschreibung des Gabionentyps.

Aufbau / Bepflanzung	Charakterisierung
Befestigung	Aufbau auf hierfür erstelltem Fundament.
Charakterisierung des System	Massive „Stand alone“ Bauweise, bis 3 m von einem Punkt aus aufbaubar.
Art der Bewässerung	Je Pflanzgefäß ist ein Tropfschlauch eingebaut
Bewässerungsrhythmus	Selten, von 1 x wöchentlich bis einmal täglich.
Art der Bepflanzung	Komplett bepflanzte geliefert. Die Pflanzung umfasst Kleinsträucher, Stauden, und Gräser.
Düngerbedarf	Langzeitdünger auf Porlitbasis
Pflege	Gelegentlicher Pflanzenschnitt
Besondere Qualität	Das System kann beidseitig bepflanzt werden. Über die Untersuchungsjahre, die Bauweise mit dem üppigsten Bewuchs und langer Blühdauer der Arten.

Die nachfolgende Tabelle 3.15 nennt die ursprünglich verwendete Pflanzenarten und deren Entwicklung über die Jahre. Die Werte sind Multiplikationswerte aus den durchschnittlichen Längen- und Höhenentwicklung der Pflanzen der jeweiligen Arten. Als exemplarisches Beispiel sei hier die *Heuchera microphylla* „Purple palace“ herausvorgehoben. In dem getesteten Modul gibt es insgesamt 34 Pflanzen dieser Art. Der Rechenwert im Jahr 2011 mit 500 erfährt eine Steigerung hin zu 960 im Jahr 2012, was einer Biomasseverdoppelung der Pflanzen bedeutet. Der Wert von 900 im Juli 2013 bedeutet eine geringfügigere Üppigkeit der Pflanzen. Da kann daran liegen, dass dieser Wert noch vor Ende der Vegetationsperiode erfasst wurde. Die Pflanzen sind im Jahr 2013 etwas kleiner als im Vorjahr, aber doch im Vergleich zu den übrigen WB am besten entwickelt. Nach dem ersten Winter war erheblicher Ausfall zu verzeichnen, der aber optisch nicht so sichtbar war, weil die Lücken durch üppigen Pflanzenwuchs geschlossen wurden. Die Liste der Arten ab *Hemerocallis* sind die entsprechenden Nachpflanzungen.

Eine hohe Biomasseentwicklung kann generell nicht in jedem Fall als anstrebenwertes Kriterium bei WB angesehen werden. Die Üppigkeit zieht regelmäßigen und intensiven Schnitt nach sich. Anstrebenwert ist eine gleichmäßige Flächenbesiedlung.

In den beiden bisherigen Wintern 2012/2013 und 2013/2014 hat es sich als gute gärtnerische Praxis erwiesen, einen Rückschnitt erst nach dem Frost, kurz vor der neuen Austriebsphase durchzuführen. *Heuchera microphylla* ist eine typische bodendeckende Halbschattenpflanzen. Ihre Stärke liegt darin, über die Jahre längere verholzende Hauptsprosse auszubilden, die in WB regelmäßig aber kontrolliert zurückgeschnitten werden müssen, da sie sonst eine ungünstige Hebelwirkung in der Vertikalbegrünung erzeugen. *Heuchera microphylla* ist eine der sicheren und in vielen der WB verwendeten Arten. Im Vergleich zu den übrigen WB sind die Exemplare in diesem Substrat besonders kräftig gewachsen. Die lang anhaltenden Blütenstände haben eine Länge von über 50 cm auch noch als winterliche Struktur. *Heuchera microphylla* gibt es in vielen Sorten – das Testen weiterer Sorten ist eine Möglichkeit, auf Bewährtes aufzubauen und gleichzeitig visuell neue Wirkungen zu erschließen.

Die Abb. 3.2 veranschaulicht die Artenentwicklung 2011 – 2014 graphisch. Nachpflanzungen und Artenentwicklung sind farblich dargestellt. Die Nachpflanzungen 2013 waren die typischen Garten-Schmuckstauden Taglilie (*Hemerocallis spec.*) und die wuchernd wachsende Herbstanemone (*Anemone huphensis*). Ihr Einsatz in diesem Begrünungssystem hat sich im Jahr 2013 als erfolgreich mit recht guter Blühfreude erwiesen, hatten aber Schwierigkeiten, nach dem relativ milden Winter 2013/2014 wieder auszutreiben. In dem recht festen Substrat dieser WB haben es die in lockerer Gartenerde sich schnell ausbreitende Arten über die Fläche zu verteilen. Die Pflanzen verharrten in den jetzt zwei Beobachtungsjahren auf ihrem Wuchsort.



Die Bilderserie Abb 3.4, Seite 100 veranschaulicht den Gesamteindruck über den Untersuchungszeitraum. Die rotlaubigen Purpurglöckchen (*Heuchera*) dominieren über den gesamten Zeitraum. Allerdings zeichnet sich 2014 ein etwas weniger üppiger Wuchs als in den Vorjahren ab.

Eine Reihe von Pflanzen treten jetzt verstärkt als spontane Besiedlung auf, hier sind *Festuca pratensis*, *Artemisia vulgaris* und *Agropyron repens* zu nennen. Diese sind bei ein – oder zwei regelmäßigen Wartungsgängen leicht zu entfernen.

Der gute, über 90% liegende Deckungsgrad der Flächen Nr. 1-4 wird geringfügig von der unteren Fläche Nr. 5 unterschritten. Gründe hier könnten ggf. geringeres Lichtangebot oder zu hohe Wasserversorgung sein (siehe Abb. 3.3).

Tab. 3.15: Entwicklung der Pflanzenarten im Gabionentyp\*.

Schadenberg	Juni	Juli	Juli
	2011	2012	2013
<i>Heuchera microphylla</i> 'Purple palace'	500	960	900
<i>Mentha spicata</i>	200	600	170
<i>Gaura lindtheimerii</i>	650	252	100
<i>Lavandula angustifolia</i>	300	180	238
<i>Bergenia cordifolia</i>	375	600	234
<i>Prunus laurocerasus</i> 'Otto Luyken'	289	289	64
<i>Vinca minor</i>	300	300	204
<i>Fragaria virginiana</i>	70	90	90
<i>Hemerocallis spec.</i>		990	1400
<i>Buxus sempervivum</i>		220	300
<i>Geranium macrorrhizum</i>		1221	2025
<i>Alchemilla mollis</i>		720	252
<i>Aquilegia vulgaris</i>		500	10
<i>Phyllitis scolopendrium</i>		575	70
<i>Iberis sempervirens</i>		380	225
<i>Waldsteinia ternata</i>		408	221
<i>Ophiopogon planiceps</i> 'niger'		100	60
<i>Anemone huphensis</i>		720	1035
<i>Sedum forsterianum</i>			49

\*Die Arten ab *Hemerocallis* sind Nachpflanzungen. Die Zahl ist jeweils der gemittelte Wuchsindikator aus der Längen und Höhenentwicklung der jeweils verwendeten Arten. Deutlich wird, dass Nachpflanzungen, wie *Alchemilla mollis* oder *Phyllitis* (Zungenfarn) sich nicht positiv entwickelten.

Abb. 3.2: Mittlerer Größenfaktor (Länge x Höhe) gemittelt auf jeweils eine Pflanze der entsprechenden Arten in den Untersuchungsjahren 2011 – 2014.

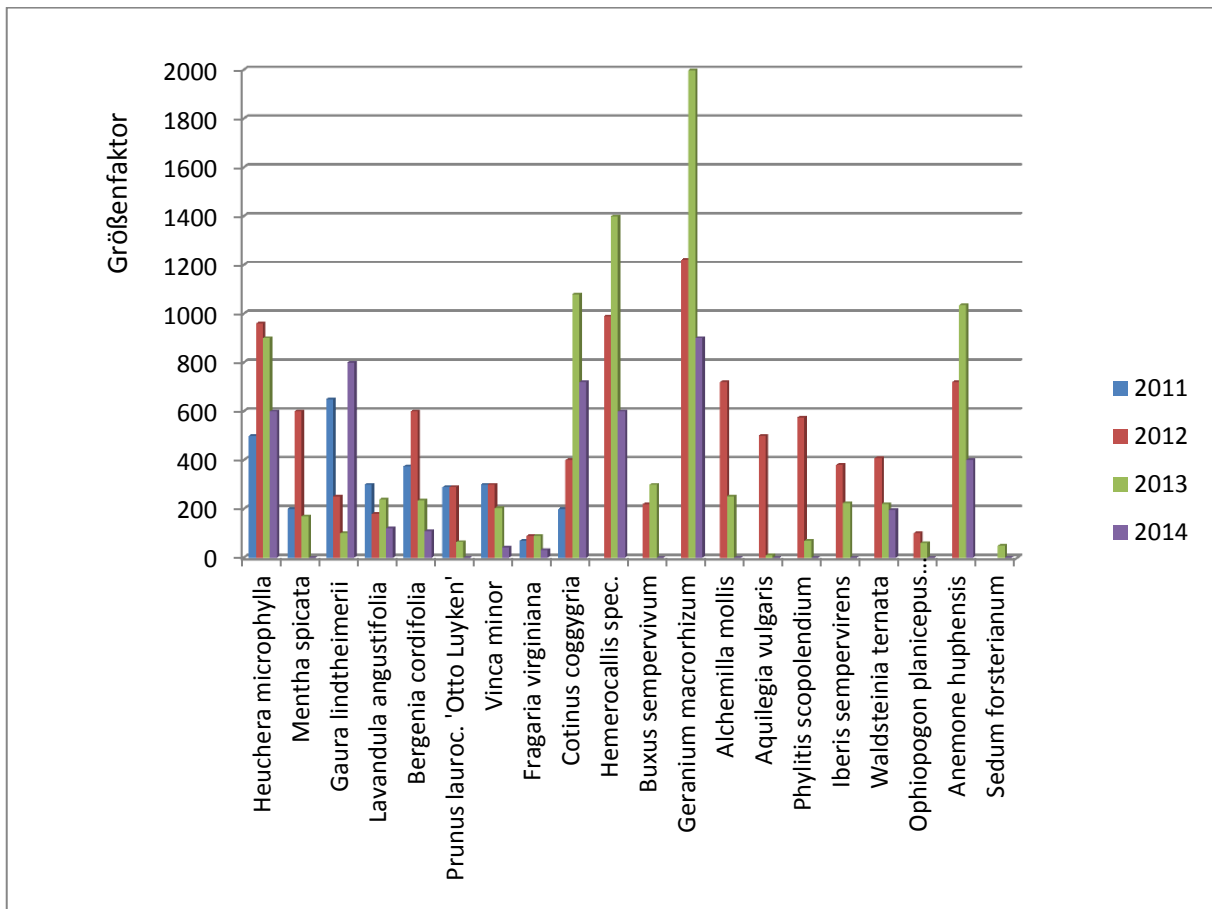


Abb.3.3: Deckungsgrade der Höheren Pflanzen in Prozent der fünf Module von 1 „oben“ bis 5 „unten“ im Gabionensystem (Bonitierung des Deckungsgrades jeweils im Spätsommer).

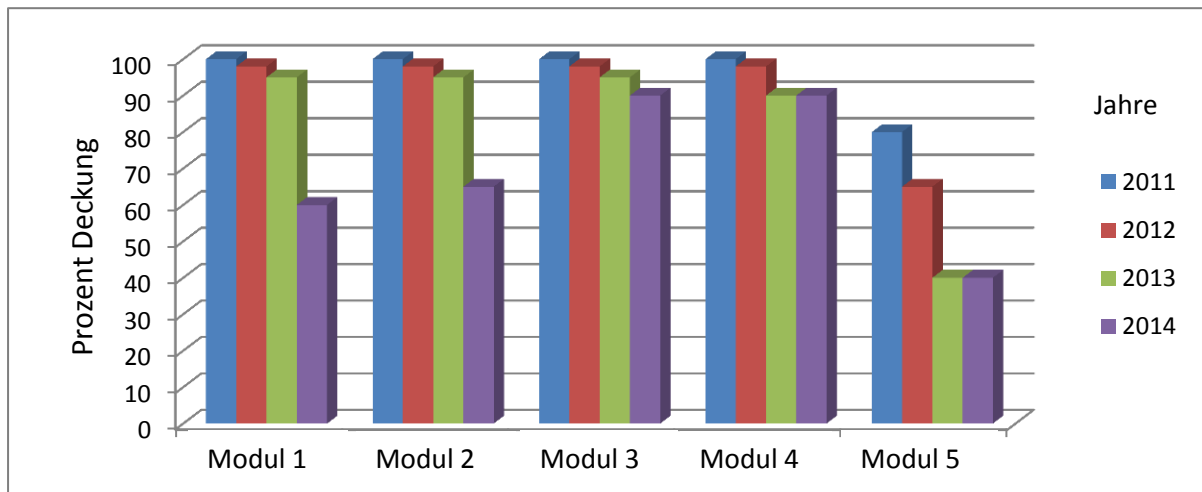




Abb. 3.4: Ausgewählte Bilder zur visuellen Qualität des gabionenartigen WB im Untersuchungszeitraum 2011 – 2014.

Zeitpunkt	Aussehen	Zeitpunkt	Aussehen
Sommer 2011: 1. Juni 2011		Frühjahr 2013: 10. März	
Herbst 2011		Frühjahr 2013: 10. April	
Winter 2011/2012,  24. Januar 2012, noch vor den extrem niedrigen Temperaturen Anfang Februar		Sommer 2013: 10. Juli	
Sommer 2012, 9. Juni 2012		Sommer 2014: 4. Juli	

#### Visuelle Qualität des getesteten Gabionensystems

Regelmäßige Fotos dokumentieren die Pflanzenentwicklung. Hier eine Auswahl zu unterschiedlichen Jahreszeiten. Die dominanten Pflanzen in den vier jetzt ausgewerteten Jahren variieren zwar, trotzdem ist in allen drei Jahren ein üppiger Gesamteindruck charakteristisch.

Die Grundidee dieser Begrünung, zwei verstrickte Farbbänder mit grünem, bzw. rotem Laub sind, über die Zeit erhalten geblieben. Die auf dem Bild vom Herbst 2011 gut erkennbaren Blüten von der Präriestaude Prachtkerze *Gaura lindheimeri* kommt mit den Wintertemperaturen gut klar, muss aber im Frühjahr wieder nachgepflanzt werden, da der Samen sich nicht im vertikalen System ohne Hilfe anhaften kann. *Gaura* blühte im Spätsommer 2014 wieder prächtig in dieser WB.

Tab. 3.16: Übersicht zum Gabionentyp\*.

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Gering
Aufwand bei der Installation	Hoch
Bodenvolumen	Groß
Flexibilität der Bepflanzung	Mittel
Anfälligkeit der Bewässerung	Gering
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Hoch
Pflegeaufwand	Mittel
Preis	Mittel

\*Erläuterung für diese und die folgenden ähnlichen Übersichten der anderen WB:  
Für die acht genannten Kriterien ist jeweils eine subjektive Einschätzung in drei Stufen für die untersuchten WB vergeben worden. Im Vergleich mit den anderen getesteten WB, ist hier die „Flexibilität“ gering, da hohes Gewicht und vorgegebene Form zu einer Einschränkung führen.

### 3.3.2 Begrünungen des Typs „Kleine Kübel“

Die Pflanzgefäße können entweder in Metall, wie hier ein Beispiel aus Wien zeigt (Abb. 3.4), oder in Kunststoffen (Abb.3.5) ausgeführt sein. Bei der letztgenannten Variante sind Fragen des Brandschutzes vorab zu berücksichtigen. Die mögliche Brandklasse des Pflanzgefäßes plus das nicht brennbare Substrat sind mit einem entsprechenden Wert zu belegen und vorab durch Nachweis des Herstellers zu belegen (s. Kap. 2.2.3).



Abb. 3.4: Modulare WB Typ „Kleine horizontale Kübel“ in Wien in Metallausführung, Detailansicht.



Abb. 3.5: Modulare WB aus Kunststoff an einem Gebäude in Frankreich.

Beispiel einer über mehrere Stockwerke gehende WB in Kunststoff-Kübelbauweise in Frankreich vom gleichen Anbieter der in Neubrandenburg installierten Form, Aufnahme September 2013.



Abb. 3.6: Modulare WB Typ „Kleine horizontale Kübel“ in Neubrandenburg 2011 – 2014.

Zeitpunkt	Aussehen
Sommeraspekt, Juni 2011, kurz nach der Bepflanzung.	
Winteraspekt, Anfang März 2012	
Sommeraspekt, Juni 2012	
Winteraspekt, 3. März 2013	
Sommeraspekt, 7. Juli 2013	
Sommeraspekt, 7. Juli 2014	

Eine überschaubare Anzahl von Pflanzen, aber alle überlebten in diesen Kunststoffgefäßen bisher erfolgreich (Abb. 3.7). Die untere, nicht bewachsene Fläche wäre in einer großflächigen Wandinstallation durch eine weitere Reihe von Gefäßen bedeckt.

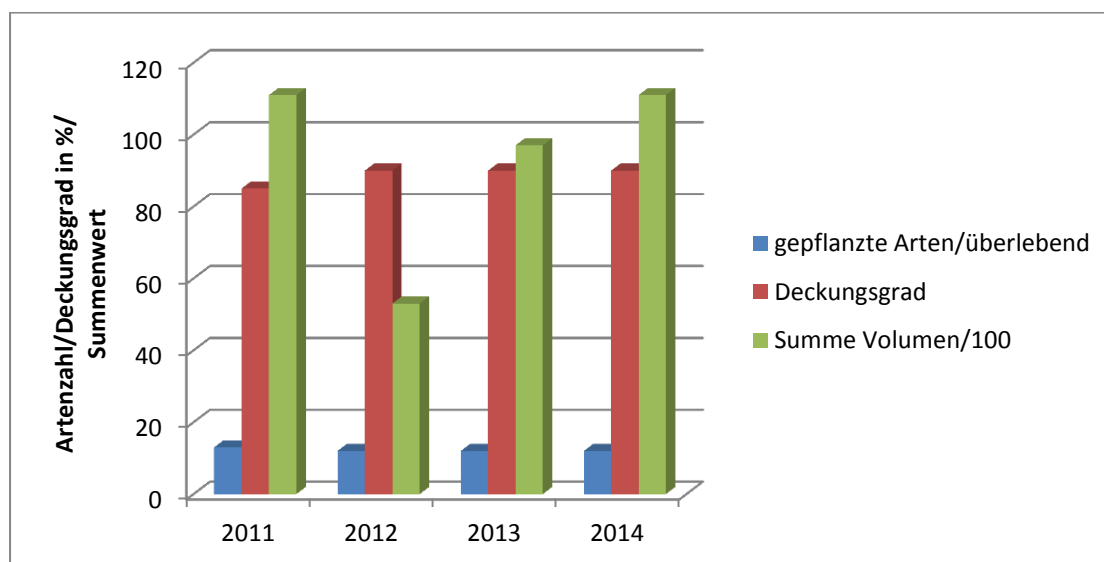
Die kleinste der wandgebundenen Installationen, aus jeweils drei gedämmten Pflanzgefäßen mit jeweils 3 Pflanzkübeln bestehend wurde mit gesamt 13 Pflanzen bestückt. Diese hatten über die vier Jahre nur einen Pflanzenausfall: die Kriechspindel (*Euonymus fortunei* in Sorten) fiel hier auch wie in den übrigen WB aus, allerdings erst im zweiten Jahr.

Die in den anderen WB als Problempflanzen gehandelten Arten, wie Buchsbaum (*Buxus sempervirens*) oder die Scheinbeere (*Gaultheria procumbens*) entwickelten sich hier prächtig. Gleiches gilt für den Cotoneaster der üppig blühte und Zuwuchs hatte, der entsprechend jährlich zurückgeschnitten wurde. In den kleinen Kübeln siedelte sich eine ganze Anzahl von Wildpflanzen an, der Schafschwingel (*Festuca ovina*) hat durchaus Zierwert in der Begrünung. Das einjährige kleinblütige Springkraut (*Impatiens parviflora*) kann als Bereicherung akzeptiert werden.

In wie weit die spontane Besiedlung von WB in das Begrünungskonzept eingebunden werden kann, ist mit den Eigentümern abzustimmen. Die spontanen Kräuter sind weitgehend problemlos. Sofern sich Weiden (*Salix caprea*) einstellen wäre eine rechtzeitige Beseitigung anzuraten. Innerhalb des bisherigen vierjährigen Gesamt-Zeitraumes wurden nur zwei Exemplare von *Geranium macrorrhizum* nachgepflanzt. Die WB erwies sich als robust gegen ganzjährige Klima- und mögliche Wasserstandsschwankungen.

Das firmenseitig empfohlene Substrat mit einer Beimischung von wasserspeichernde Hydrogel erwies sich als positiv innerhalb des Betrachtungszeitraumes.

Abb. 3.7: Kenndaten zur Jahresentwicklung der „Kleinen Kübel“ mit Durchgängig über 80% Vegetationsdeckung.



Im Anhang Tab A.15, S. 219 ist die Tabelle zur Pflanzenentwicklung mit jeweils einem Bonitierungsstermin pro Jahr wiedergeben.

Tab. 3.17: Übersicht zum Begrünungstyp „Kleine Kübel“.

Aufbau / Bepflanzung	Beschreibung
Befestigung	Montage direkt auf der Fassade.
Charakterisierung des Systems	Vorgefertigte Boxen mit begrenztem Bodenvolumen.
Art der Bewässerung	Tröpfchenschlauch in jeder Reihe.
Bewässerungsrhythmus	Einmal täglich bis einmal wöchentlich.
Art der Bepflanzung	Flexibel, geeignet für Kleingehölze, Stauden, Gräser, Sedum.
Düngerbedarf	Selten – da Langzeitdünger im Substrat.
Pflege	Einzelne jährliche jährliche Pflegegänge.
Besondere Qualität	Gute Haltbarkeit, zusätzlicher Dämmeffekt für die Wand.

Tab. 3.18: Übersicht „Kleine Kübel“, Bewertungskriterien.

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Mittel
Aufwand bei der Installation	Gering
Bodenvolumen	Mittel
Flexibilität der Bepflanzung	Mittel
Anfälligkeit der Bewässerung	Gering
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Hoch
Pflegeaufwand	Gering
Preis	Mittel

### 3.3.3 Flächenhafte Vertikalmodule

Der Beschreibung in Abb. 3.1 folgend, ist hier die Reihenfolge für die flächenhaften WB gewählt. Es beginnt mit WB A „Metallkassetten auf Regalrahmen“ von der Firma „Vivagrün“, es folgt WB B Vertikalmodule mit „Aluminiumkassetten“ der Firma „Optigrün“, die dritte WB C ist „Sempergreen-Nord“ und „Sempergrün-Süd“ auf der Basis von „Steinwollekissen“, die vierte WB D mit flächiger Steinwolle ist von der Firma „90degreeen“ sowie als fünfte WB E ist ebenfalls eine Steinwollevariante der Firma „Cultilene“.

#### 3.3.3.1 WB A, „Metallkassetten auf Regalrahmen“

Die in Strasbourg fertig bepflanzten 15 Module wurden im LKW nach Neubrandenburg transportiert und im November 2011 montiert in drei Reihen montiert. Transport und Montage in der Winterruhe schonte sicher die Pflanzen, eine Anpassung an den neuen Standort bildete trotzdem eine Herausforderung. Die lange Liste der pflanzlichen „Besonderheiten“ machte es besonders spannend zu sehen, was sich aus dieser Lieferung entwickelt.



Abb. 3.8: Pflanzdetail Schnittlauch (*Allium schoenoprasum*) als Testpflanze. Bei der extensiven Dachbegrünung in Substraten unter 10 cm ist diese Pflanze unschlagbar konkurrenzstark. Die Art trieb bereits im zeitigen Frühjahr aus, wirkte zunächst erwartungsgemäß frisch grün und erfolgsversprechend üppig. Die Statik des Halmes erwies sich im Laufe des Sommers aber als für eine Vertikalbegrünung ungeeignete Pflanze. Die Triebe knickten ab und konnten sich in dieser Wuchsposition auch nicht wieder erholen.



Abb. 3.9: Flächige WB A, Beispiel „Vivagrün“ in Neubrandenburg, Entwicklung zwischen 2011 und 2014.

Zeitpunkt	Aussehen	Zeitpunkt	Aussehen
Nov. 2011: nach der Montage		Sommer, Juli 2014	
Winter, März 2012			
Sommer, August 2012			
Sommer, Juli 2013			
Detailblick auf das 3.Modul in der zweiten Reihe im 5. Juli 2013;			
Januar 2014 Winter 3			
Mitte oben: Saxifraga cuneifolia, eine auffällige dauerhafte Pflanze			

Die Vivagreen – Wandbegrünung ist die mit 39 Pflanzenarten und insgesamt 432 Einzelpflanzen am vielfältigsten bepflanzte Variante. Die Gesamtbegrünung besteht aus 3 Reihen mit jeweils 5 Pflanzmodulen (siehe Abb. 3.9). Pro Pflanzmodul sind etwa 30 Pflanzen verwendet worden.

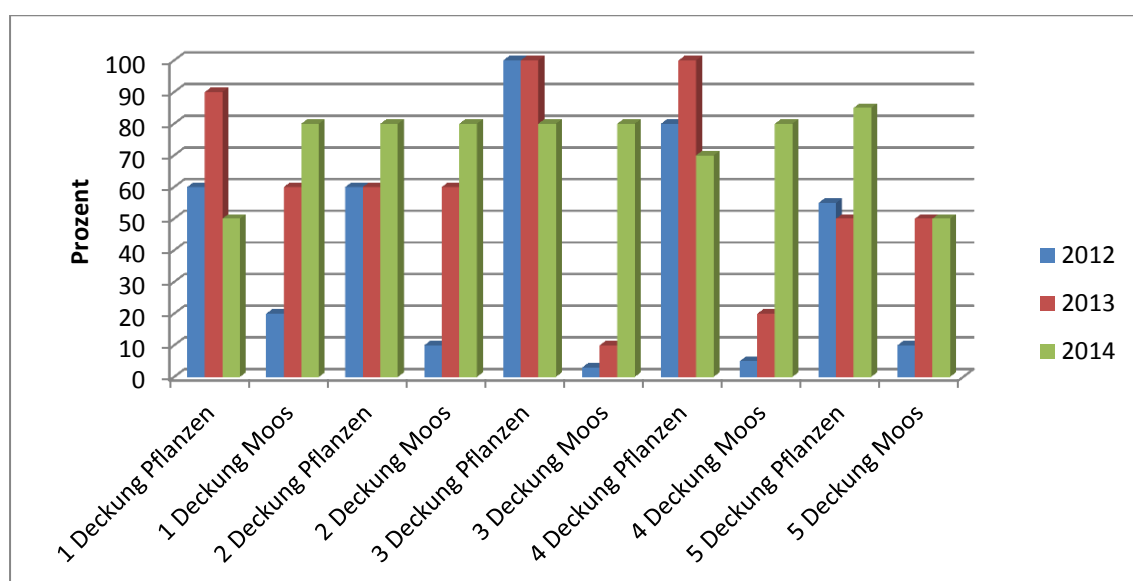
In dieser Begrünung ist eine Vielzahl interessanter Arten mit hohem Zierwert gepflanzt, die sich im milden Klima des Straßbourger Raumes bisher bewährt haben. Reinecka carnea (Japanisches Maiglöckchen) sei hier beispielhaft genannt, diese pro Stück mit 8 € teure Pflanze schaffte es an dem recht kalten Neubrandenburger Standort nicht über den ersten Winter.

Diese Vertikalbegrünung war im Vergleich zu den anderen getesteten WB besonders anfällig für den Aufwuchs von Wildpflanzen. Es traten hier regelmäßig eine Vielzahl spontaner Arten auf, etwa: Epilobium roseum, Solidago canadensis und Poa annua. Das Beißfußblättrige Traubenkraut (Ambrosia artemisiifolia) ist als allergene Wildpflanze, ab und zu auf sonnenexponierten Schutzplätzen gedeiht. Sie entwickelte sich 2012 in der WB üppig und mußte manuell entfernt.

Das attraktiv aussehende Zimbelkraut (Cymbalaria muralis) fand von diesen Modulen aus seinen Weg auch auf andere WB. Nach der Vollblüte im Spätsommer zieht das Cymbelkraut im Herbst regelmäßig ein, trieb aber in den folgenden Frühjahren wieder üppig aus.

In den Abb. 3.10 -12 sind jeweils die fünf Module hinsichtlich der Pflanzenbedeckung der höheren Pflanzen in Prozent für die Jahre 2012- 2014 am sommerlichen Bonitierstermin aufgetragen. Separat ist auch die Entwicklung der Moosbedeckung für die jeweiligen Jahre angegeben. Höhere Pflanzen und Moose werden jeweils separat geschätzt und können separat maximal 100% erreichen. Aus der Graphik wird auch deutlich, dass die Moosentwicklung im Jahr 2011 mit einer geringen Deckung begann und bereits im zweiten Jahr etwa 50% beträgt. Die Mooschicht hat mehrere positive Funktionen, sie verhindert, dass Substrat aus den Modulen fällt, gleichzeitig bietet das Moospolster einen ganzjährigen attraktiv grünen Anblick. Moose behindern in der Regel die etablierten höheren Pflanzen nicht an ihrer Entwicklung.

Abb.3.10: Vegetationsbedeckung (Höhere Pflanzen und Moose in %). Darstellung jeweils eines sommerlichen Bonitierstermines in den Jahren 2012, 2013, 2014; linke Reihe (5 Module).



Die drei Modulreihen sind recht ähnlich bewachsen, mit der Tendenz, dass die unteren Module eine höhere Moosbedeckung aufweisen.

Abb.3.11: Vegetationsbedeckung (Höhere Pflanzen und Moose in %), Darstellung jeweils eines sommerlichen Bonitierungstermines in den Jahren 2012, 2013, 2014; mittlere Reihe (5 Module).

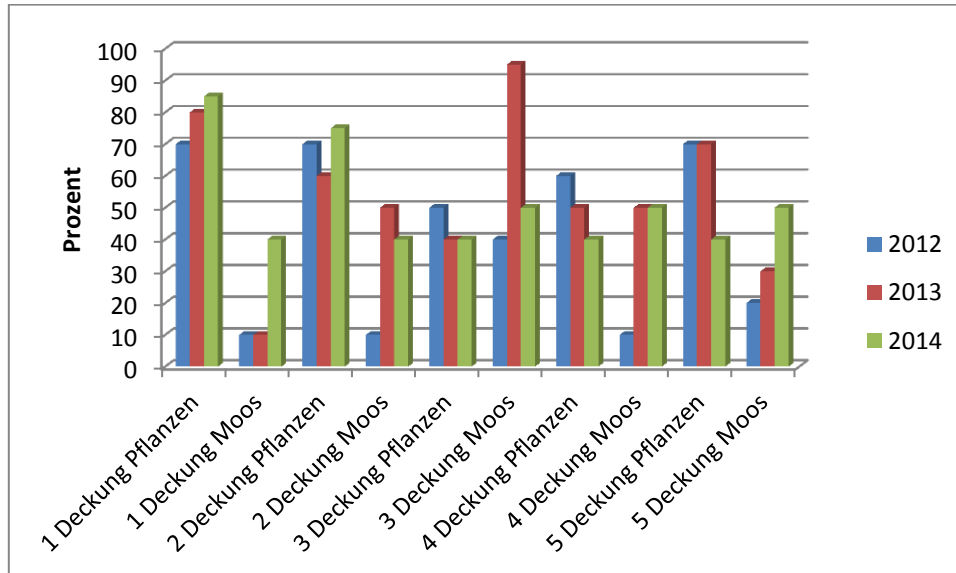
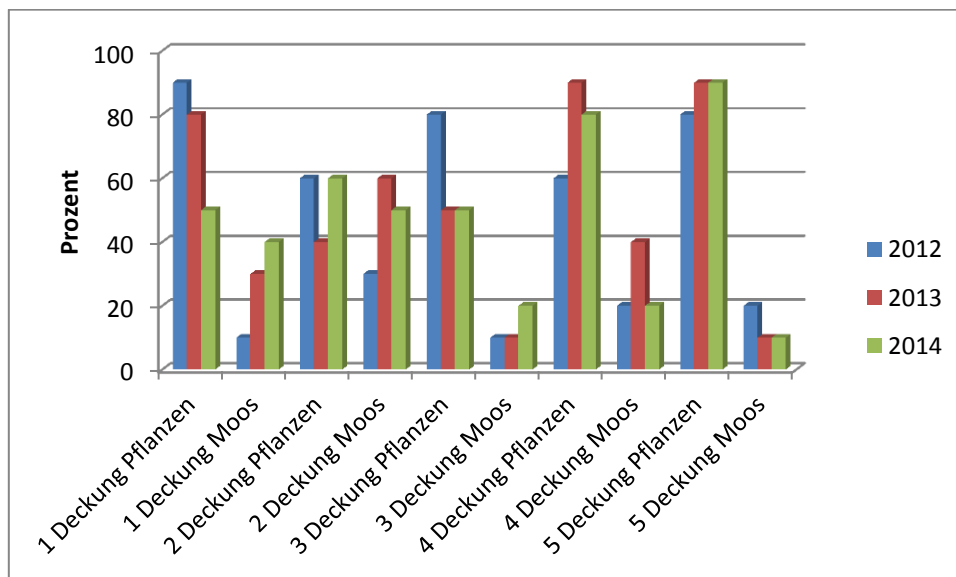
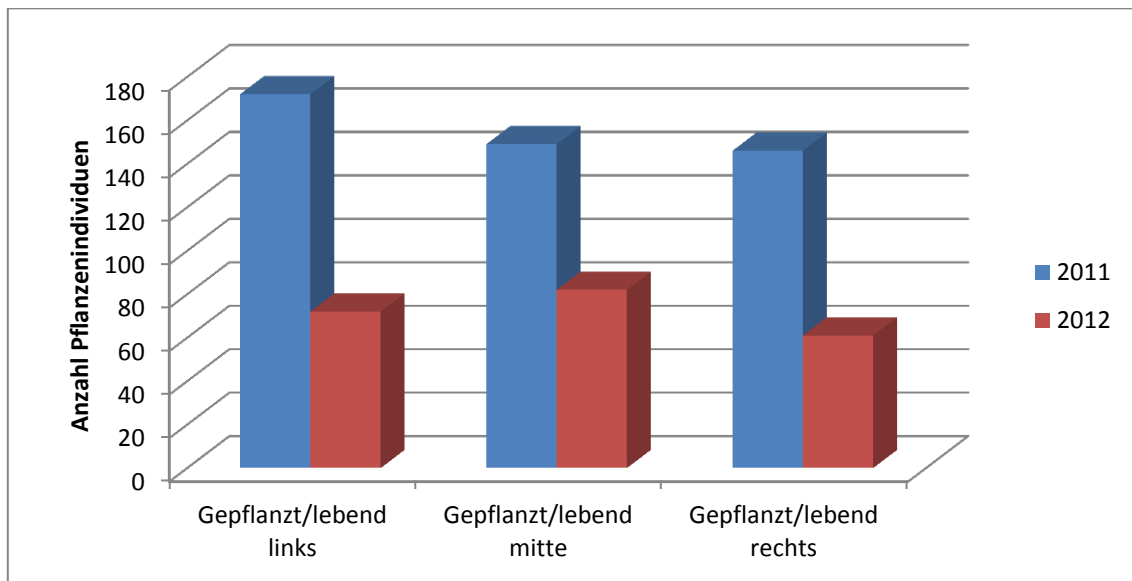


Abb. 3.12: Vegetationsbedeckung (Höhere Pflanzen und Moose in %), Darstellung jeweils eines sommerlichen Bonitierungstermines in den Jahren 2012, 2013, 2014; rechte Reihe (5 Module).



In den fünf Modulen der linken Reihe sind etwa 170 Pflanzen verwendet, die beiden anderen Reihen hatten zu Beginn ca. 150 Pflanzen. Nach dem ersten Winter hat sich die Zahl der überlebenden Pflanzenindividuen auf 72, 82 und 61 reduziert. Diese waren aber in der Lage die Flächen fast deckend zu besiedeln (siehe Abb. 3.13).

Abb. 3.13: WB A Vivagreen, gepflanzte Pflanzenindividuen und deren Überleben nach dem ersten Winter.



Tab. 3.19: Übersicht zur flächigen WB A „Vivagreen“.

Aufbau / Bepflanzung	Beschreibung
Befestigung	Montage auf Metall-Unterkonstruktion.
Charakterisierung des Systems	Module in unterschiedlichen Größen lieferbar, austauschbar, gute Haltbarkeit der einzelnen Einheiten.
Art der Bewässerung	Tröpfchenschlauch, in jede Modulreihe integriert.
Bewässerungsrhythmus	Im Sommer 1- 2x täglich.
Art der Bepflanzung	Alle Pflanzgruppen sind möglich: Kleinsträucher, Stauden, Gräser, Sedum.
Düngerbedarf	Regelmäßig im Bewässerungswasser beigemischt.
Pflege	Mehrmals im Jahr.
Besondere Qualität	Modulkästen stabil, allerdings kann das Substrat bei noch nicht geschlossener Vegetationsdecke herausrieseln.

Tab. 3.20: WB A, Bewertungskriterien.

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Mittel
Aufwand bei der Installation	Mittel
Bodenvolumen	Mittel
Flexibilität der Bepflanzung	Mittel
Anfälligkeit der Bewässerung	Gering
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Hoch
Pflegeaufwand	Mittel
Preis	Mittel



### 3.3.3.2 WB B, Vertikalmodule mit „Aluminiumkassetten“



Zehn identisch bepflanzte Standardmodule des Herstellers mit jeweils 18 Pflanz-Einschüben schuf eine gute Basis für die Anlage einer statistisch auswertbaren gleichen Bepflanzung aller Teilmodule dieses Typs.

Die Module sind auf einer Unterkonstruktion montiert, der Tropfschlauch verläuft oberhalb der Module. Zwischen der oberen und der unteren Reihe ermöglicht ein Vlies die Weiterleitung des Wassers, eine zweite Bewässerungsreihe oberhalb der unteren Modulreihe ist entbehrlich.

Der feste Gitterrahmen hat vorgegebene Einschübe für die Pflanzen. Bei der Pflanzung ist es erforderlich, mit dem entsprechen verkleinerten Wurzelballen einen guten Kontakt zum wasserführenden rückseitigen Geovlies herzustellen. Von außen ist von dieser Wasserführung nichts sichtbar. Durch den Gitterrahmen ist ausschließlich eine grobe Lavaschicht zu sehen. Die Module machen auch unbegrünt einen wertigen Eindruck.

Die Wasserableitung verteilt sich dank des rückwärtigen Vlieses gleichmäßig, allerdings ist jeweils die untere Hälfte des Moduls immer feuchter als die obere – das gilt es bei der Pflanzenauswahl zu berücksichtigen.

Abb. 3.14: Flächige WB „Aluminiumkassetten“ mit differenziertem Substrataufbau aus Lava sowie inliegendem Geovlies.

Zeitpunkt	Aussehen
Sommer 1 im Juli 2011, drei Monate nach der Pflanzung	
Winterbild 2011/2012	

Sommerbild 9. Juni 2012



Winterbild 2012/2013



Sommerbild Jahr 3,  
14. Juni 2013



Winterbild  
Januar 2014





Sommerbild  
29.Mai 2014

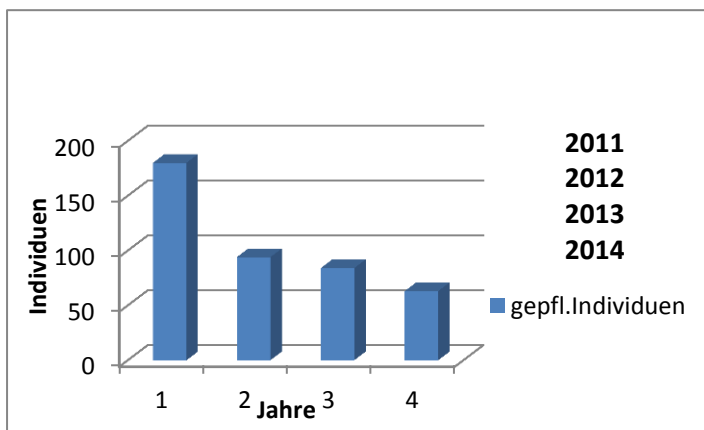


Abb. 3.15: Anzahl der überlebenden Individuen der Erstbepflanzung aller verwendeten Arten in den vier Untersuchungsjahren 2011-2014.

Dieses Modul wurde im Mai 2011 aufgebaut. Eine erste Bonitierung erfolgte im September 2011. Zu diesem Termin hatte diese WB eine durchschnittliche Bedeckung mit höheren Pflanzen von ca 60%. Nach dem ersten Winter gab es Totalausfälle bei den Euonymusarten sowie beim Cotoneaster. Als erfolgreiche Arten sind Arabis procumbens, Aubretia, Bergenia, Heuchera microphylla 'Purple palace' und Geranium macrorrhizum einzustufen.

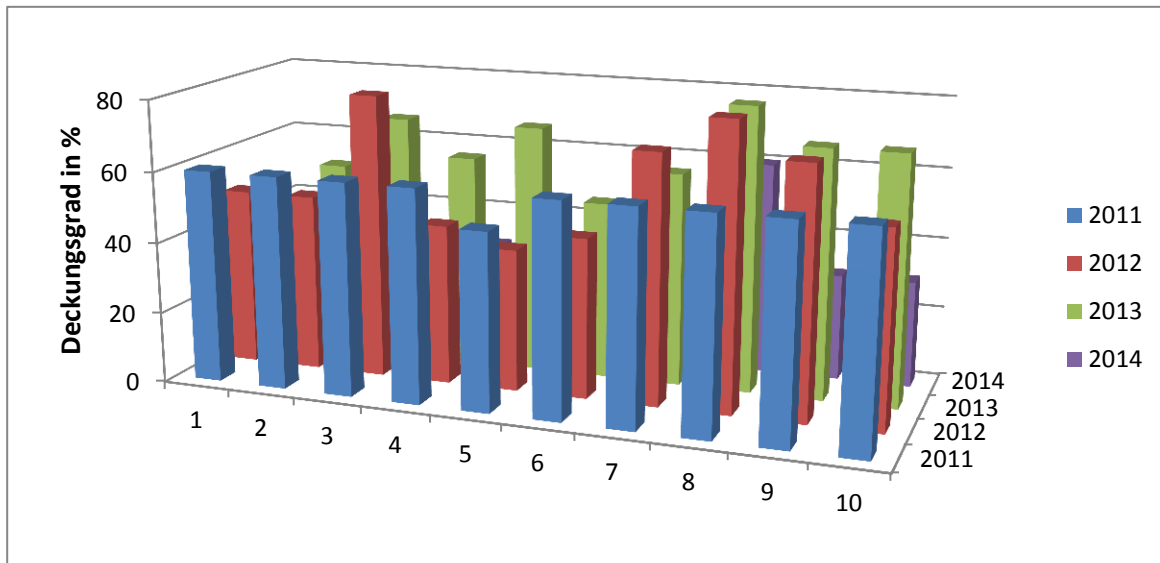
Im Anhang Tab A.12, S. 214 ist die Auswertungs-Übersichtstabelle zu diesem Begrünungsmodul zu finden. Aus der Tabelle ist ablesbar, wie viele von den jeweils zehn gepflanzten Individuen überlebten. Des Weiteren ist ein Volumenwert der Bonitierung genannt, der die Größenentwicklung der Pflanzenarten beschreibt.

Deckungsgrad in den Jahren	Mittelwert	Standardabweichung	Anzahl Teilmodule
2011	59,0	3,2	10
2012	58,5	15,1	10
2013	62,5	11,8	10
2014	33,0	11,6	10

Tab. 3.21: Mittelwerte und Standardabweichung zwischen den Untersuchungsjahren.



Abb.3.16: Entwicklung des Deckungsgrades in den vier Untersuchungsjahren



Die zehn Teilmodule in zwei Reihen zu jeweils 5 angeordnet (siehe Abb. 3.14), erlauben, da sie alle gleich bepflanzt sind, eine statistische Auswertung mit 10 Wiederholungen. Die Tab. 3.21 zeigt die Mittelwerte und deren Varianz zwischen den zehn Modulen. Der geringe Wert der Varianz im Jahr 2011 belegt, dass alle Boxen nahezu gleich bewachsen waren. Der hohe Deckungsgrad der Folgejahre beruht vor allem auf dem besseren Bewuchs der unteren Reihe.

In der Tab. 3.22 sind die Deckungszahlen einer Korrelationsanalyse unterzogen worden. Ausgangspunkt dieser Berechnung ist das Jahr 2011. Über die Jahre verändern sich die Flächen signifikant. 2012 ist mit 2011 noch relativ vergleichbar. Die Werte von 2013 und 2014 verdeutlichen die starke Veränderung.

Tab. 3.22: Korrelationsanalyse der vier Jahre, 2011 als „1“ gesetzt.

		Korrelations			
		Deckung 2011	Deckung 2012	Deckung 2013	Deckung 2014
Deckung 2011	Pearson Korrelation	1	,430	-,222	,091
	Zweiseitige Signifikanz		,214	,537	,803
	Quadratsumme und Querprodukt	90,0	185,0	-75,0	30,0
	Kovarianz	10,0	20,6	-8,3	3,3
	Anzahl der Wiederholungen	10	10	10	10

Die Ähnlichkeitsberechnung Tab. 3.23 vergleicht die Vegetationsbedeckung der zehn Teilmodule (Box 1-10) über die vier Jahre. Die Flächen sind etwas über die Hälfte vegetationsbedeckt. Die Abweichung in den Jahren ist bei der Box 3 am größten gewesen.

Tab. 3.23: Ähnlichkeit zwischen den zehn Boxen innerhalb der 4 Jahre.

Beschreibenden Statistik			
	Mittelwert Deckung	Standardabweichung	Anzahl Jahre
Box1	42,5	17,1	4
Box2	46,3	18,0	4
Box3	60,0	21,6	4
Box4	48,8	14,4	4
Box5	47,5	17,1	4
Box6	48,8	8,6	4
Box7	57,5	12,6	4
Box8	70,0	11,5	4
Box9	57,5	19,0	4
Box10	53,8	17,0	4

Tab. 3.24: Korrelationsmatrix aller zehn Boxen in den vier Jahren.

		orrelations									
		Box1	Box2	Box3	Box4	Box5	Box6	Box7	Box8	Box9	Box10
Box1	Pearson Korrelation	1	,910	,723	,764	,371	,829	,814	,169	,748	,703
	Signifikanz, 2-seitig		,090	,277	,236	,629	,171	,186	,831	,252	,297
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box2	Pearson Correlation	,910	1	,816	,945	,720	,828	,829	,402	,894	,933
	Signifikanz, 2-seitig	,090		,184	,055	,280	,172	,171	,598	,106	,067
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box3	Pearson Correlation	,723	,816	1	,645	,542	,361	,981*	,802	,978*	,816
	Signifikanz, 2-seitig	,277	,184		,355	,458	,639	,019	,198	,022	,184
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box4	Pearson Correlation	,764	,945	,645	1	,866	,866	,623	,302	,782	,946
	Signifikanz, 2-seitig	,236	,055	,355		,134	,134	,377	,698	,218	,054
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box5	Pearson Correlation	,371	,720	,542	,866	1	,543	,427	,507	,696	,903

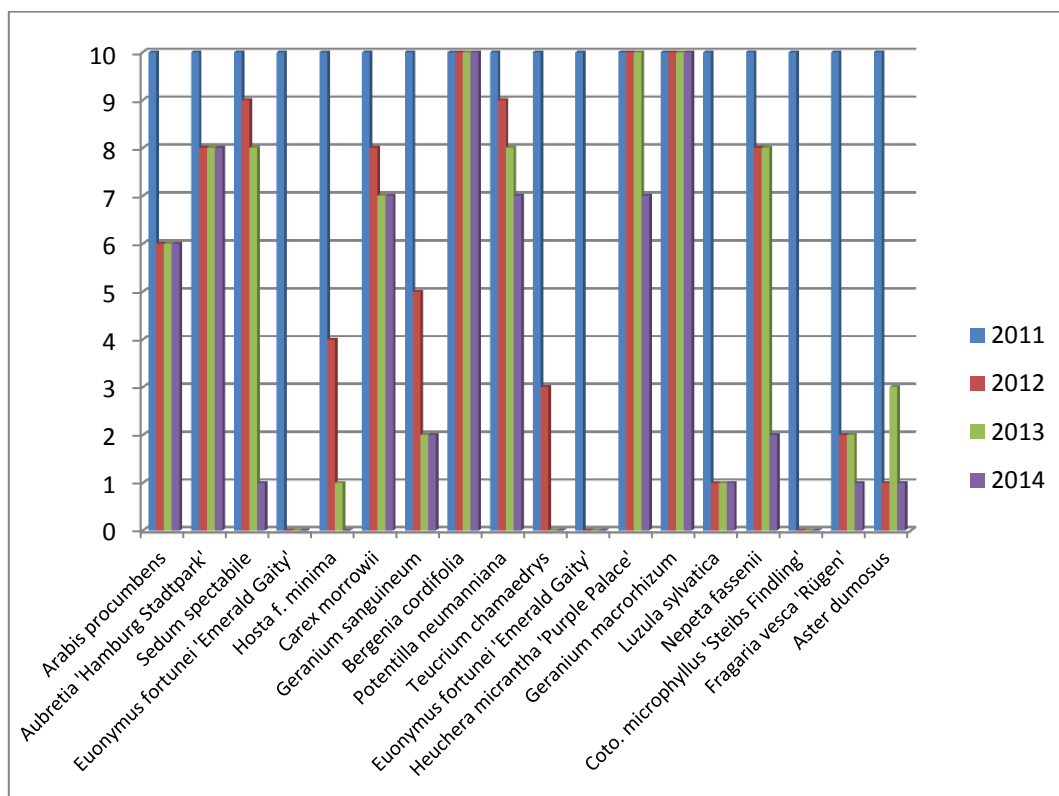
orrelations											
		Box1	Box2	Box3	Box4	Box5	Box6	Box7	Box8	Box9	Box10
	Signifikanz, 2-seitig	,629	,280	,458	,134		,457	,573	,493	,304	,097
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box6	Pearson Correlation	,829	,828	,361	,866	,543	1	,427	-,169	,490	,674
	Signifikanz, 2-seitig	,171	,172	,639	,134	,457		,573	,831	,510	,326
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box7	Pearson Correlation	,814	,829	,981*	,623	,427	,427	1	,688	,945	,759
	Signifikanz, 2-seitig	,186	,171	,019	,377	,573	,573		,312	,055	,241
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box8	Pearson Correlation	,169	,402	,802	,302	,507	-,169	,688	1	,762	,594
	Signifikanz 2-seitig	,831	,598	,198	,698	,493	,831	,312		,238	,406
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box9	Pearson Correlation	,748	,894	,978*	,782	,696	,490	,945	,762	1	,918
	Signifikanz, 2-seitig	,252	,106	,022	,218	,304	,510	,055	,238		,082
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Box10	Pearson Correlation	,703	,933	,816	,946	,903	,674	,759	,594	,918	1
	Signifikanz, 2-seitig	,297	,067	,184	,054	,097	,326	,241	,406	,082	
	Anzahl Jahre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

\*. Die Korrelation ist signifikant auf dem 5% Niveau.

#### Erläuterung zur Tab. 3.24:

Bei einer 1 wäre die Entwicklung innerhalb der Boxen komplett gleich, die Tabelle erlaubt den genauen Vergleich aller Boxen untereinander. Diese kleinen sichtbaren Unterschiede zwischen den Parzellen liegen alle innerhalb der statistischen Toleranz.

Abb. 3.17: Entwicklung der Arten in den zehn Pflanzboxen über vier Jahren.



Seit dem ersten Untersuchungsjahr haben sich die Gattungen Geranium, Bergenia und Heuchera als flächige Begrünung hervorragend gehalten. Viele der übrigen Arten setzten zwar kurzzeitig Blühakzente, sie konnten aber keine flächige Bedeckung erzielen. Als Besonderheiten dieser Begrünungsart ist die leichte Auswechselbarkeit der Einzelpflanzen als auch der Module festzuhalten. Negativ fiel auf, dass die Wasserübertragung zwischen der oberen und der unteren Modulreihe durch das eingesetzte Verbindungsvlies manchmal etwas stockte.

Tab. 3.25: Übersicht zum flächigen Vertikalmodul B „Optigruen“.

Aufbau / Bepflanzung	Beschreibung
Befestigung	Montage auf Unterkonstruktionsrahmen.
Charakterisierung des Systems	Module, lieferbar in unterschiedlichen Größen, einfacher Austausch von der Montageschiene, gute Haltbarkeit der einzelnen Module.
Art der Bewässerung	Tröpfchenschlauch, möglichst für jede Pflanzreihe separat.
Bewässerungsrhythmus	Im Sommer wenigstens 2x täglich.
Art der Bepflanzung	Kleinballenpflanzen fixe Größe der Pflanzlöcher, Kleinsträucher, Stauden, Sedum, Gräser.
Düngerbedarf	Regelmäßig im Gießwasser
Pflege	Durchgänge mehrmals im Jahr.
Besondere Qualität	Modulkästen besitzen eine Haltbarkeit, Pflanzen sind bei Bedarf leicht austauschbar. Wassertransport zwischen den Kübelreihen ist manchmal schwierig.

Tab. 3.26: Entwicklung der Pflanzenarten nach dem ersten Sommer, 2011.

	Anzahl Arten / Individuen	Abgängige Arten des ersten Jahres:
Vegetationsperiode 2011 Mai - Oktober	18 Arten, jeweils 10 Wiederholungen	Keine kompletten Ausfälle Arabis procumbens, Ausfall 3 Aubretia, 1, Hosta f. minima 1, Potentilla neumanniana 3, Luzula sylvatica 2, Nepeta fassenii 1, Fragaria vesca 4, Aster dumosus 2.

Tab. 3.27: Vertikalmodul B, Bewertungskriterien.

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Mittel
Aufwand bei der Installation	Mittel
Bodenvolumen	Mittel
Flexibilität der Bepflanzung	Mittel
Anfälligkeit der Bewässerung	Mittel
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Hoch
Pflegeaufwand	Mittel
Preis	Mittel

#### Empfehlungen zu dieser Variante:

Die Wasserversorgung innerhalb größerer Installationen mit diesem Modultyp könnte noch verbessert werden, wenn jede Modulreihe eine eigene Bewässerungsleitung mit Tropfern erhielte, die allerdings über separate Magnetventile zu steuern wären. Die untere Reihe generell mit geringerer Wassermenge oder nur als Zuschaltmöglichkeit in besonders warmen und trockenen Perioden.


#### 3.3.3.3 WB C, Vertikalmodule mit „Steinwollekissen“

Auch die Montage dieses Vertikalmoduls erfolgt auf einer Rahmenunterkonstruktion. Die zunächst an der nach Norden ausgerichteten Fassade montierten acht Teilmodule wurden seitens des Fachbetriebes in den Niederlanden fertig bepflanzt angeliefert. Auch diese acht Teilmodule mit nahezu gleicher Pflanzenausstattung erlauben eine statistische Auswertung. Die flexiblen „Steinwollekissen“ lassen sich gut von zwei Monteuren auf der Unterkonstruktion befestigen. Jede Reihe hat ihre eigene Tropfschlauchleitung. Der Bau von hohen Wandbegrünungen ist aufgrund der geringen statischen Belastung leicht möglich. Typischerweise wird die fertig installiert Begrünung durch einen Metallrahmen gefasst.

Im Frühjahr 2013 wurde in der gleichen Größe mit etwas veränderter Bepflanzung im gleichen Hof die eine WB an der Südseite des Hauses 2 montiert. Zur Veranschaulichung der Entwicklung beider Installationen sind die nachfolgenden Fotos Abb. 3.18 angefügt.

Die detaillierte Pflanzenentwicklung in den Jahren 2011-2014 ist am Beispiel des Teilmoduls 8 eine Tabelle im Anhang, Tab.A.16. In der Tabelle sind alle Pflanzen in ihrer Position im Teilmodul (Reihe) genannt und die Messgrößen Höhe und Breite aufgeführt, an denen die Entwicklung abzulesen ist. Einige dieser Pflanzen, etwa Spiraea bumalde, sind im Zuge der Pflegearbeiten jährlich etwas zurückgeschnitten worden.

Abb. 3.18: Visuelle Qualität WB C 2011-2014.

Zeitpunkt	Aussehen Nord	Zeitpunkt	Aussehen Süd
Sommer 2011, Jahr 1 nach der Aufstellung			
Sommer 2012,			



Sommer 2013,  
am 30. Juni in  
der  
Abendsonne



Neuinstallation  
Südfassade,  
Mai 2013



Sommer 2014,  
am 2. Juli,



Sommer 2014,  
2. Juli



Das Montagemuster von 2 x 4 Modulen erlaubt eine Auswertung aller acht Module zusammen, viel spannender ist es zu sehen, auf die oberen oder die unteren Module sich unterschiedlich im Laufe des Versuchs entwickelten. Die Nummerierung der Modulboxen erfolgte nach folgendem Schema:

<b>1</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>8</b>

Wie auch bei den anderen WB, wurde mehrmals jährlich der Deckungsgrad sowie die Längen als auch die Höhenausbreitung jeder einzelnen Pflanze notiert. In den nachfolgenden Graphiken erfolgte eine weitgehende Datenreduzierung auf einen Termin im Hochsommer als Vergleichspunkt.

Abb. 3.20 zeigt einen Deckungsgrad der zwischen 70% für die oberen und etwa 90% für die unteren Parzellen variiert. Lücken sind ganz oben auf der oberen beiden Parzellen zu finden. Nachpflanzungen mit Sukkulenten (Sedum und Sempervivum) füllte diese Lücken nur unvollständig.

Die übrigen Pflanzen schlossen entstehende Lücken durch den Ausfall einzelner Pflanzen in einem zufriedenstellenden Maße.

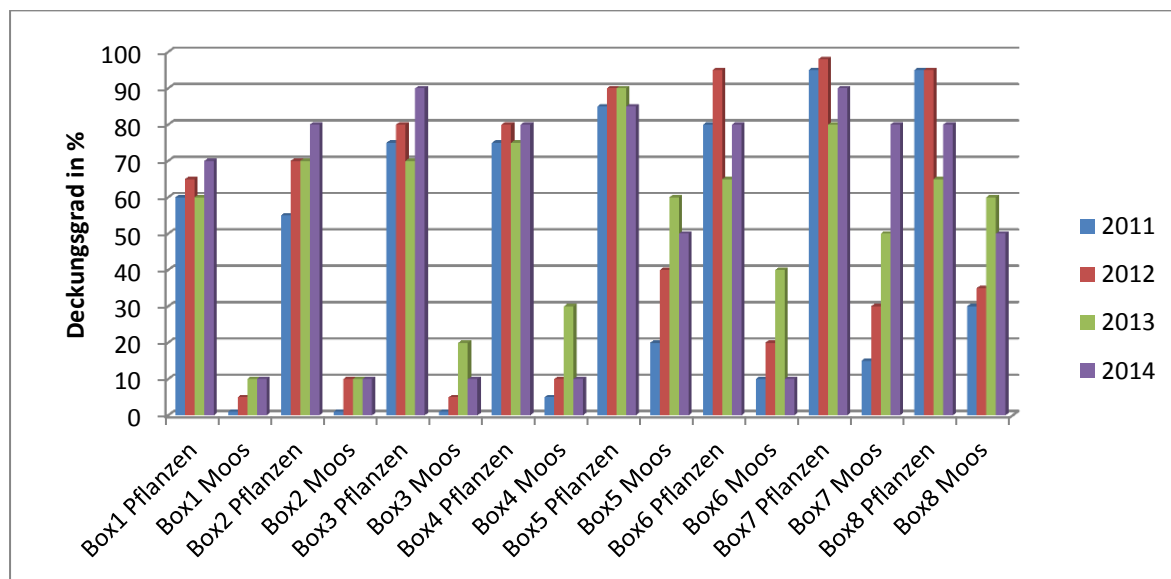
Gute Entwicklung zeigten neben der Heuchera vor allem die Sträucher Spiraea bumalda und die Nadelgehölze Juniperus und Pinus.

Ein moderater Rückschnitt der Sträucher unterstützte den geschlossenen Gesamteindruck der Flächen.

Vor auf den unteren Parzellen siedelten sich auf der Oberfläche des Vlieses Moose an, die schließlich etwa 30% bedeckten.

Auch nach vier Jahren zeigen diese Module keine Abnutzungserscheinungen in der äußere Hülle. Auch die Bewässerungsleitungen sind noch voll funktionstüchtig und mussten bisher nicht ausgetauscht werden.

Abb. 3.19: Deckungsgrad höherer Pflanzen in den 8 Teilmodulen (Pflanzboxen) Nord.



Auf die Korrelationsrechnungen ist bei diesem Module verzichtet worden. In der nachfolgenden gegenüberstellung des Bewuchses der vier Reihen der Versuchspartellen sind die Nachpflanzungen in ihrem Deckungsgrad berücksichtigt.

Die Zunahme der Moosbedeckung der Oberfläche von der oberen bis zur unteren Reihe wird deutlich. Die Moose bilden eine eigenständige Schicht von z.T. über 50% und tragen zum positiven Anblick der Module wesentlich bei. Diese Schicht hat keinen negativen Einfluss auf die Entwicklung der höheren Pflanzen. Der Rückgang der Moosbedeckung von 2013 zu 2014 ist durch eine Minimierung der Bewässerungsmenge begründet sowie eine kontinuierliche Düngerbeimischung.

Die nachfolgende Abb. 3.20 erläutert den zunehmenden Deckungsgrad von höheren Pflanzen und Moosen über den Verlauf der vier Jahre in alle acht Teilboxen.

Die Abb. 3.21. erläutert ausschließlich für die rechte Reihe der vier Teilmodule (Boxen) die Pflanzenentwicklung von oben (Box 2) bis unten (Box 8). Zusätzlich zum jeweiligen Bedeckungsgrad ist die Artenzahl der höheren Pflanzen und ein Summenwert aus den Länge-Breite-Höhe ermittelt, um auch das Volumen des Bewuchses vor den Modulen erfassen zu können.

Abb. 3.20: Deckungsgrad höherer Pflanzen und Moose in Prozent der acht Teilmodule (Pflanzenboxen) im Vergleich der vier Untersuchungsjahre.

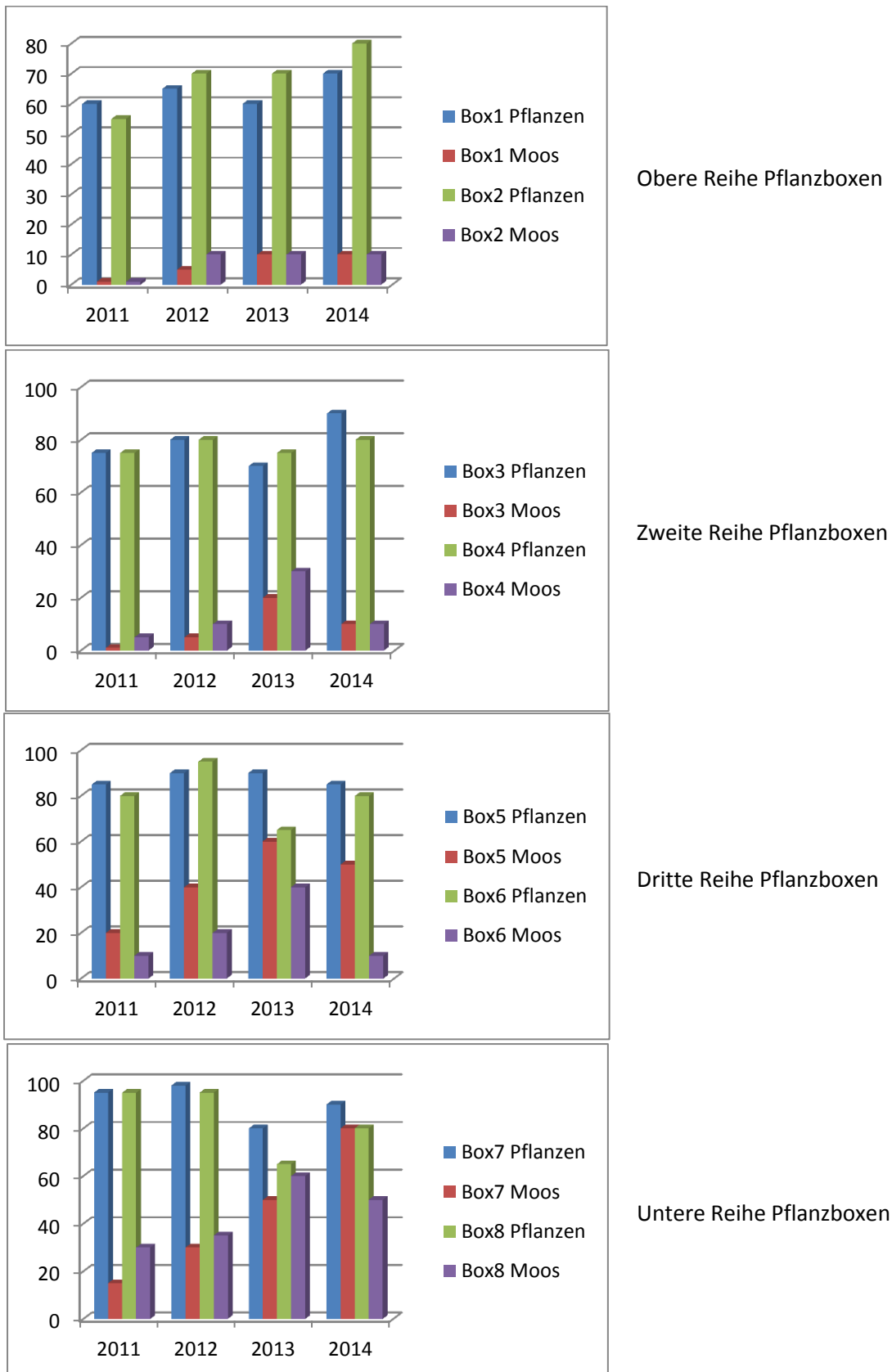
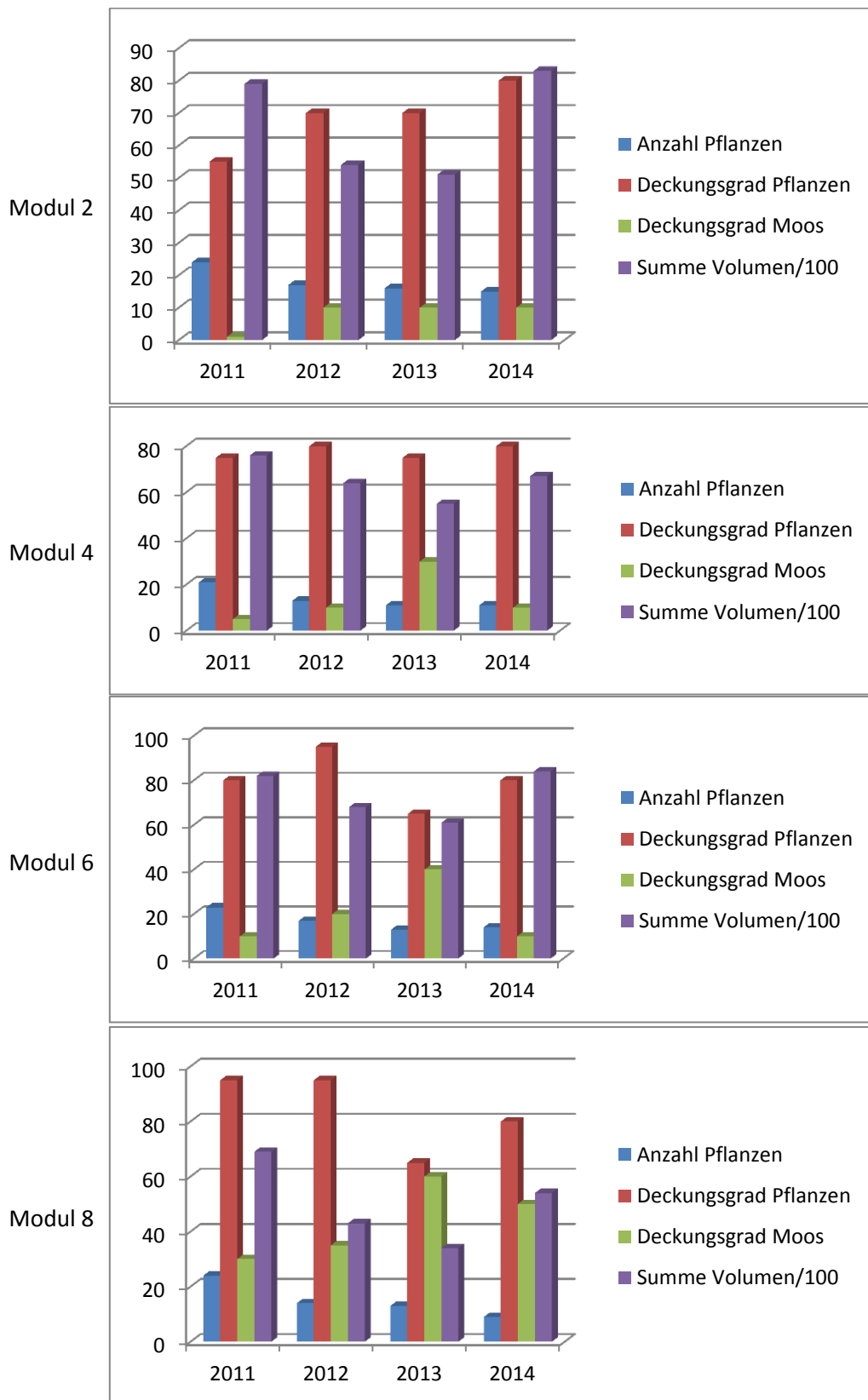


Abb. 3.21: Deckungsgrad höherer Pflanzen in Prozent der vier linken Teilmodulreihen (Pflanzenboxen) im Vergleich der vier Untersuchungsjahre.



Im ersten Jahr sind in den beiden oberen Modulen Ausfälle von 5 bis 10 Pflanzen zu verzeichnen, in den Folgejahren beschränkt sich dieser Verlust auf wenige einzelne. Die Lücken werden in der Regel von der Zunahme der umgebenden Arten geschlossen. Ursache des Absterbens kann auch im Lichtmangel am Grunde des Pflanzenpolsters bei dieser Installation an der Nordfassade liegen.

Generelle Nachpflanzungen auf den Modulen; in den beiden oberen Modulen trockenheitsliebende Arten aus der Gattung Sedum und Sempervivum, in den darunter liegenden Modulen vor allem Fragaria, Buxus und Bergenia.

Im Modul 1 mit 27 Ausgangspflanzen wurde mit zehn Pflanzen die größte Anzahl innerhalb der drei Jahre nachgepflanzt. Bei den übrigen beschränkte es sich auf wenige Einzelexemplare.

Beim Modul 2 reduzierte sich die Zahl vom ersten zum zweiten Jahr von 24 auf 17. Der Deckungsgrad blieb um die 80 % trotz geringer Nachpflanzung an der anfänglichen Problemzone des oberen Randes stabil.

Die unteren Reihen dieses Moduls sind verschattet von Pflanzen innerhalb der Begrünung, aber auch von den bodendeckenden angrenzenden Pflanzen. Zusätzlich ist das untere Drittel des Moduls ständig feucht, was zum Abfaulen von Pflanzenwurzeln führen kann.

#### Gleiches Vertikalmodul an der Südfassade

Seit Frühjahr 2013 ist eine vergleichbare Installation mit acht Modulen auf der Süd- ausgerichteten Fassade im Innenhof installiert worden.

Die Bewässerungssteuerung war im ersten Jahr etwas unsensibel, was zu einer häufigen Überwässerung im Substrat führte. Einige Arten litten hierbei unter dem Wasser-Überangebot. Das wurde mit einem Umbau der Bewässerung im Jahr 2014 besser.

Abb. 3.22: Prozentuale Bedeckung mit Höheren Pflanzen und Moosen in den Untersuchungs- jahren 2013 und 2014 auf den acht südexponiert montierten Modulen von Sempregreen.

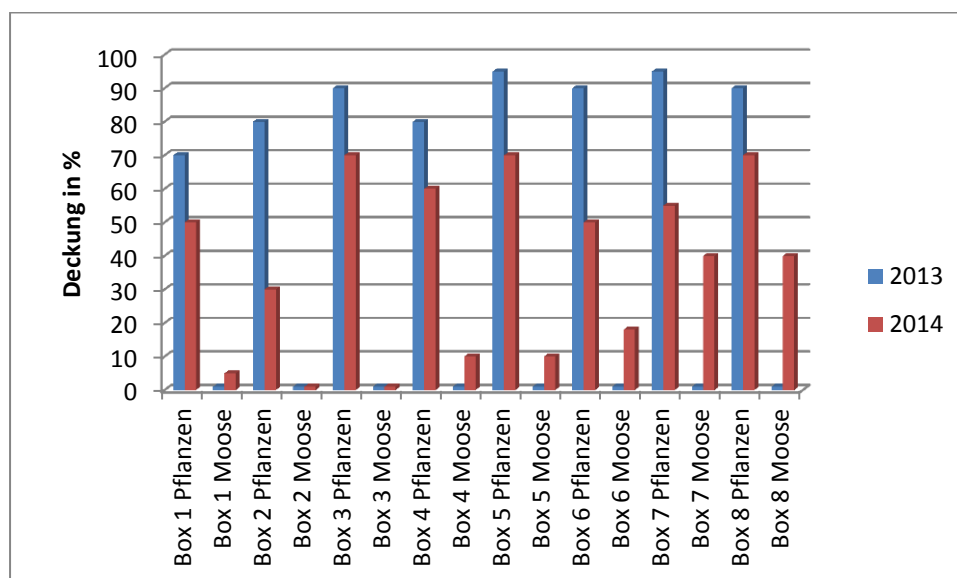
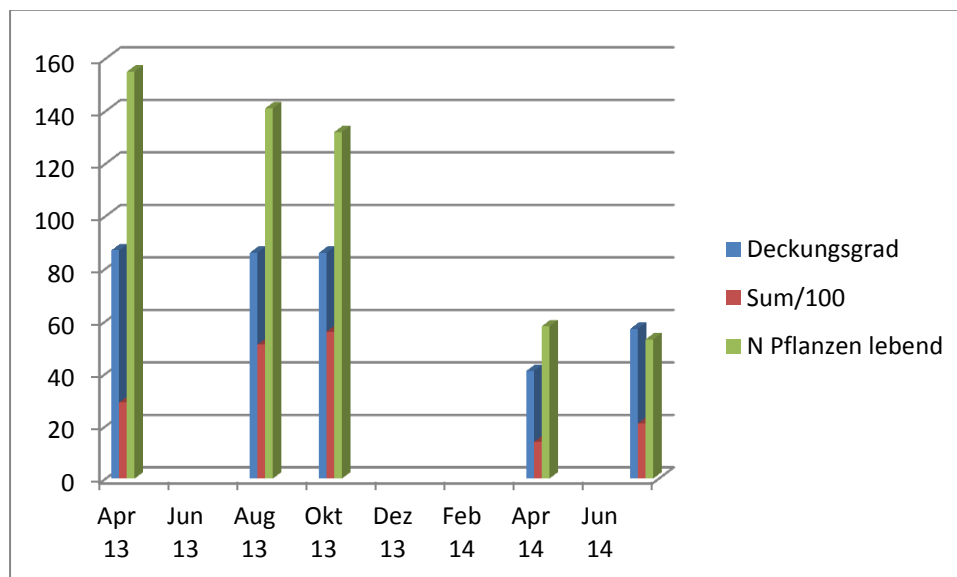


Abb.3.23: Südfassade, die ersten zwei Jahre 2013 und 2014. Werte aller acht Teilmodule zusammen, Deckungsgrad in Prozent, Summenwert: Länge \* Breite/100 als Kennzahl zur Pflanzenentwicklung. N Anzahl Pflanzen, die von den ursprünglich 155 Pflanzenarten zu den Bonitierungstermine noch lebten.



Von den 155 gepflanzten Pflanzenindividuen sind nach dem ersten Winter einige Arten ausgefallen. Das waren vor allem die Euonymus –Arten. In der Abb. 3.23 ist für das gesamte Modul (8 Teilflächen) der Deckungsgrad in Prozent zu den Bonitierungsterminen aufgetragen. Der Grüne Balken nennt die Zahl der lebenden Pflanzenarten. Der rote Balken ist der synthetische Messgröße, der Summenwert Länge\*Breite\*Höhe / 100, geteilt durch die Anzahl der vorhandenen Individuen der Art. Dieser Wert charakterisiert die Entwicklung Summe der hier vorhandenen Arten.

In der Tabelle A 13 (im Anhang, S. 215-216) sind die Arten, und die Messgrößen für die fünf Bonitierungstermine angefügt.

Tab. 3.28: Übersicht zum Vertikalmodul C, „Sempergreen“.

Aufbau / Bepflanzung	Einschätzung
Befestigung	Mit Stockschrauben auf mitgelieferten Halterungen
Charakterisierung des Systems	Fertig bepflanzte, flexible Pflanzkissen, einfach zu verarbeiten.
Art der Bewässerung	Tröpfchschlauch oberhalb jeder individuellen Modulreihe.
Bewässerungsrhythmus	In der Regel 1x täglich, Im Winter abgestellt, aber Notbewässerung bei Bedarf durchgeführt.
Art der Bepflanzung	Stauden, Kleinsträucher, Kleingehölze, Gräser, Sedum, Moose.
Düngerbedarf	Regelmäßig beigemischt im Bewässerungswasser.
Pflege	Geringer Rückschnitt, wenig Arbeit.
Besondere Qualitäten	Auf der unteren Hälfte der Module starke Moosentwicklung ab dem zweiten Jahr. Oberes Drittel der oberen Modulreihe guter Wuchsort für Sukkulente.



Tab. 3.29: Übersicht WB C, „Sempergreen“, Gesamteinschätzung.

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Hoch
Aufwand bei der Installation	Gering
Bodenvolumen	Mittel
Flexibilität der Bepflanzung	Hoch
Anforderungen an die Bewässerung	Mittel
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Mittel
Pflegeaufwand	Mittel
Preis	Mittel

### 3.3.3.4 WB D, Vertikalmodul mit „flächiger Steinwollebedeckung“

Zur Verfügung steht ein von der Firma 90degreeen vorgefertigtes Modul mit der nahtlosen Bepflanzungsfläche von ca. 2 x 2 Meter. Im normalen Baugeschehen besteht der Vorteil dieses Aufbaues in der Montage der unterschiedlichen Materialschichten direkt auf die Rohbauoberfläche eines Gebäudes – in unserem Falle wurde die vorgefertigte Fläche vor die mit Holz verschaltete Oberfläche des Gewächshauses montiert.

Das „Pflanzsubstrat“ ist eine 10 cm dicke Steinwollschicht. Die Aussparungen für die Pflanzen können passend für entsprechende Pflanzenware ausgeschnitten werden. In unserem Falle wurden Stauden aus Potsdam-Bornim in Töpfen von ca. 8 x 8 cm verwendet.

Die Pflanzen in diesem Systemaufbau haben sich innerhalb des ersten Sommers gut entwickelt und in etwa im Umfang verdoppelt. Im ersten Sommer sind keine Pflanzen abgestorben. Ein Problem trat nach dem ersten Winter auf, drei Exemplare der Gattung Heuchera hatten verrottete/angefressene Wurzeln, vermutlich durch Mäuse, die hier zeitweilig aufhielten.






Die Angaben in der Gesamttabelle im Anhang Tab A.11 Seite 209-213 ist für alle 67 Pflanzen mit den kompletten Größenangaben exemplarisch gelistet. Für eine bessere Lesbarkeit der Tabelle, ist von jedem Untersuchungsjahr 2011-2014 jeweils nur ein Termin exemplarisch ausgewählt und in der genannten Tabelle abgedruckt.

Innerhalb der vier Jahre sind insgesamt 55 Pflanzen nachgepflanzt worden und ebenfalls in Länge und Breite vermessen worden. Als Vereinfachung ist für jedes Jahr nur ein Bonitierungsstermin in die Tabelle eingetragen.

In einigen Fällen ist in diesen vier Jahren zweimal nachgepflanzt (vgl. Abb. 3.25).

Mit 70 bis 80% Deckung ist die Fläche durchweg gut besiedelt, es zeigte sich aber auch dass einzelne Pflanzen, etwa *Cerastium tomentosum*, der als Bodendecker in Gärten sehr wüchsig ist, in den Wandelementen zwar bestehen kann, aber kein überzeugendes Wuchsbild hat. Der grüne Balken im Diagramm 3.25 zeigt die Entwicklung der zu Beginn gepflanzten Arten in dieser WB. Die Oberfläche der WB bewächst langsam mit einer Moosschicht, die im vierten Jahr einen Wert von etwa 10% erreichte.

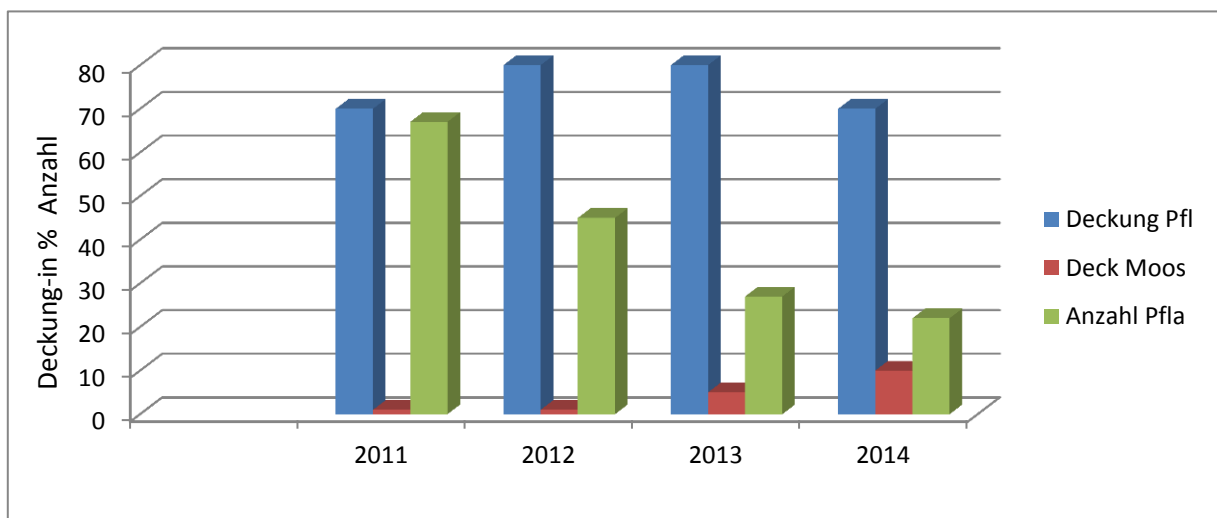
Abb. 3.24: Visuelle Qualität der WB D, Steinwollemoduls (90degreeen).

Zeitpunkt	Aussehen
<p>Sommer, Jahr 1, 24. Juni 2011</p> <p>2011: Auch Ausfall von Bergenia und Heuchera. Vermutung: Mäuse hatten sich von unten in dem System versteckt und die Wurzeln verbissen.</p>	
<p>Winterbild von Anfang März 2012</p>	
<p>Sommerbild Jahr 2, 9. Juni 2012</p>	
<p>Sommerbild Jahr 3, 5. Juni 2013</p>	
<p>Januar 2014</p>	

Sommer, 8. August 2014



Abb. 3.25: WB D „90degreeen“; Entwicklung des prozentualen Deckungsgrades der Höheren Pflanzen und der Moose sowie die Entwicklung der Pflanzenarten.



Tab. 3.30: Übersicht zum WB D „90degree“ – Aufbau.

Aufbau / Bepflanzung	Einschätzung
Befestigung	Mit Stockschrauben auf mitgelieferten Halterungen.
Charakterisierung des Systems	Gärtnerische „Ballenware“ wird in individuell geschnittene Pflanzlöcher gepflanzt.
Art der Bewässerung	Tröpfchschlauch oberhalb des Moduls.
Bewässerungsrhythmus	Kontinuierlich, in der Regel 1x täglich. Im Winter abgestellt, aber Notbewässerung bei Bedarf durchgeführt.
Art der Bepflanzung	Vorkultiviert Pflanzen: Stauden und bodendeckende Sträucher besonders geeignet.
Düngerbedarf	Nach Bedarf über das Gießwasser.
Pflege	Sporadisch, wenig Aufwand.
Besondere Qualitäten	Alle Pflanzen auch die Buxus wuchsen gut. Nachpflanzungen sind sehr leicht und flexibel durchführbar.

Tab. 3.31: Übersicht WB D „90degree“, Wertungskriterien.

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Hoch
Aufwand bei der Installation	Mittel
Bodenvolumen	Mittel
Flexibilität der Bepflanzung	Mittel
Anforderungen an die Bewässerung	Mittel
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Mittel
Pflegeaufwand	Mittel
Preis	Mittel

### 3.3.3.5 WB E Vertikalmodul auf Basis von „Steinwolle“

Vier mit jeweils einer Art fertig vorbepflanzte Metallkassetten wurden auf einen Rahmen montiert. Die unterschiedliche Wasserversorgung zwischen den oberen beiden Modulen und den unteren wurde dahingehend Rechnung getragen, dass die unteren beiden Kassetten mit Vinca und dem Farn Phyllitis zwei Pflanzen enthielten, die mit einer höheren Durchfeuchtung klar kommen können. Von jeder Pflanzenart wurden jeweils 16 Arten gepflanzt.

Es wäre möglich, um von Anfang an einen noch geschlossenen Vegetationseindruck zu erhalten, mit einer doppelten Menge an Pflanzen zu beginnen. Halt bekommt die Konstruktion durch eine flächige Metallfassung auf dem Modul.

Unterhalb des Moduls befindet sich eine Ablaufrinne, die normalerweise das Ablaufwasser in ein Auffanggefäß zurückführen kann.

Abb. 3.26: Visuelle Qualität der WB E 2012-2014 Üppiger und flächig ausgeprägter Bewuchs nach Umstellung der Bewässerung und Nachpflanzung.

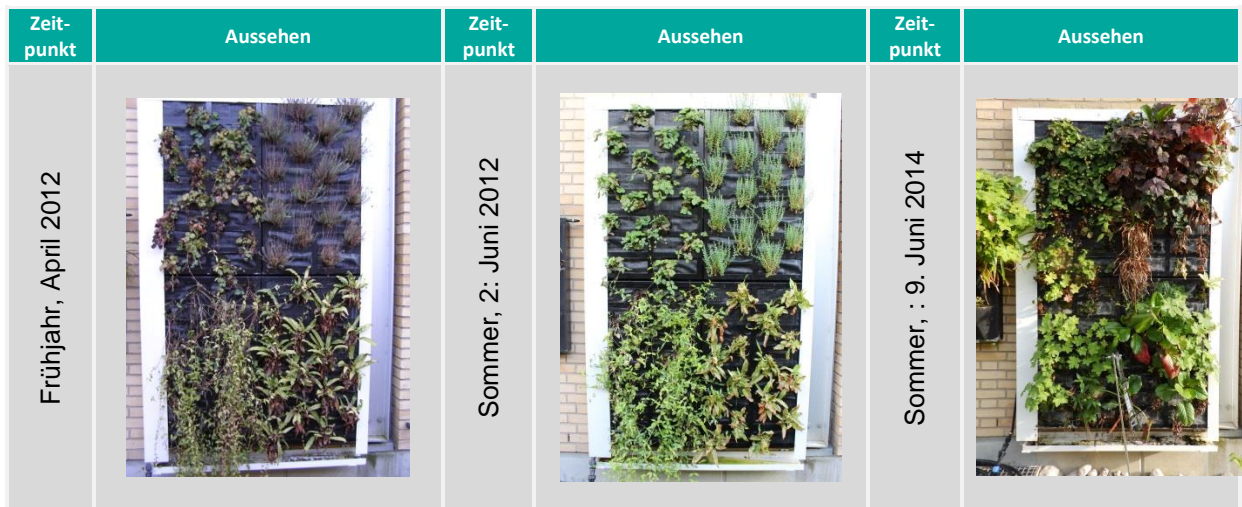
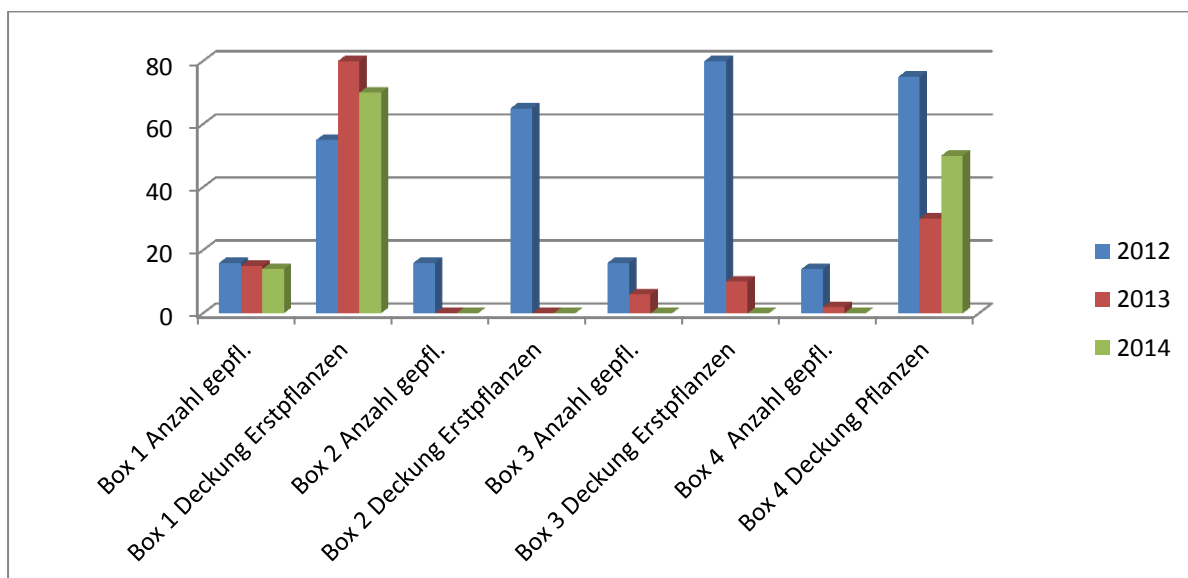


Abb. 3.27: WB E: Anzahl und Deckungsgrad nur der erstgepflanzten Arten..



In der Abb. 3.27 sind die vier Pflanzboxen der ersten Reihe, Box 1 und 2, sowie in der unteren Reihe, Box 3 und 4 mit der Anzahl der gepflanzten Arten und dem Deckungsgrad charakterisiert. Die *Waldsteina ternata* in der Box 1 war erfolgreich und erreichte über 60% Deckung. Arten wie *Vinca minor* Box 3 oder Box 4 mit *Phyllitis* schafften es aus Gründen der Kälte oder der anfänglich zu hohen Wasserversorgung nicht. Trotzdem weist diese Wand im Jahr 2014 eine komplette Deckung von über 80% aus, da bei der Nachpflanzung auf bewährte Arten, wie *Heuchera*, *Geranium* und *Hosta* zurückgegriffen wurde und die Bewässerung fehlerfrei arbeitete. An dieser Installation zeigte sich im ersten Sommer der Effekt des Ausfalles eines Magnetventils. Dieses schloss nicht wie programmiert, sondern tropfte kontinuierlich in das Substrat, was zu einer schleichenden Überbewässerung führte. Hieran konnte gelernt werden, dass in vielen Fällen sich eine zu starke Wasserversorgung negativer auswirkt als eine kurzfristige Unterversorgung. Auch bei dieser WB fiel *Vinca minor* schließlich komplett kältebedingt aus und mußte ersetzt werden.



Tab. 3.32: Übersicht zum Vertikalmodul E „Cultilene“ – Aufbau

Aufbau / Bepflanzung	Einschätzung
Befestigung	Auf Rahmenkonstruktion befestigte feste Metallkästen.
Charakterisierung des Systems	In der Gärtnerei vorbepflanzte Module.
Art der Bewässerung	Tröpfchenschläuche oberhalb jeder Modulreihe.
Bewässerungsrhythmus	Nach Bedarf – einmal täglich ist meist ausreichend.
Art der Bepflanzung	Stauden, Kleinsträucher, Bodendecker, Sedum, Gräser,
Düngerbedarf	Nach Bedarf, Beimischung im Gießwasser.
Pflege	Wenig Beikrautansiedlung
Besondere Qualitäten	Gute Flächendeckung möglich, Anzahl der Pflanzlöcher ist flexibel anpaßbar.

Tab. 3.33: Übersicht zum Vertikalmodul E „Cultilene“, Wertungskriterien

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Mittel
Aufwand bei der Installation	Gering - einfach
Bodenvolumen	Mittel
Flexibilität der Bepflanzung	Mittel
Anforderungen an die Bewässerung	Mittel
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Mittel
Pflegeaufwand	Mittel
Preis	Mittel

### 3.3.4 WB als Geovlies-Bauweise

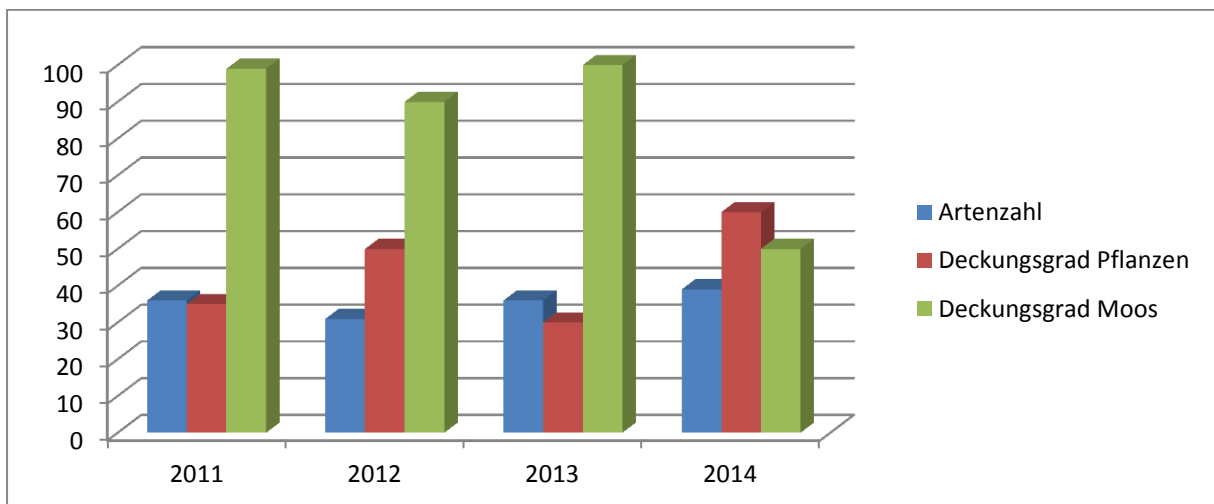
WB auf Geovliesbasis wie sie vor allem von Patrick Blanc (siehe <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>) auf allen Kontinenten und in vielen Klimagebieten gebaut werden, die Vorreiter der aktuellen Wandbegrünungen. Ob diese allerdings auch im winterkalten Nordostdeutschen Klima sinnvoll sind, gilt es zu untersuchen. Geovliesvarianten lassen sich durch entsprechende mehrlagige Bauweisen aus Geovlies, die auch als Pflanztaschen ausgebildet werden können, in vielerlei Hinsicht modifizieren. Durch die Mehrlagigkeit wird der winterliche Kälteschutz für empfindliche Pflanzenwurzeln etwas verbessert. Die hier genutzte WB ist die Variation eines Mitbewerbers von Patrick Blanc. Die hier zur Verfügung stehende Variante besteht aus zwei Platten, die auch in der Größe von 2 x 1 Meter leicht von einer Person gehoben werden können. Die Einzelne Einheit besteht aus einer wasserundurchlässigen, kaschierten Aluminiumplatte, Geovlies und einem Krallgewebe. In diesem Gewebe ist Moos flächig eingebracht. Höhere Pflanzen können nach Belieben in Pflanztaschen montiert werden, die in das Gewebe geschlitzt und durch nicht rostende Schrauben in der Ausdehnung reguliert werden können. Im Vergleich zur reinen Geovliesvariante, haben diese Pflanztaschen ein kleines Bodenvolumen in dem sich die Pflanzen in der Anfangsphase verankern können. Die kleine Menge Substrat in diesen Pflanztaschen ist durch die Beimischung von Kieselgur in der Wasserspeicherung positiv verbessert, das reduziert die Anzahl der täglichen Bewässerungstermine. Die Installation dieser Module ist im Vergleich zu den meisten anderen Installationen einfach und schnell zu erledigen.



Abb. 3.28: Beispiel einer Bauweise mit Geovlies und Dominanz von Moosen

Zeitpunkt	Aussehen	
<p>Jahr 1: 5. Mai 2011</p>		<p>Die Bepflanzung ist flächendeckend Hypnum spec.(Schlafmoos) sowie in einigen Pflanztaschen, Hosta, Gräser u. Carex – Arten. Hypnum bevorzugt niedrige pH-Werte. Leider ließ sich bei der hier erfolgten Installation der Regenwasseranschluß nicht realisieren, das Wasser für diese Bepflanzung kam aus dem gleichen System, wie für die übrigen WB – die Moosvegetation stellte sich um.</p>
<p>Jahr 2: 5. Juni 2012</p>		<p>Die Vegetationsentwicklung der höheren Pflanzenarten ist im Anhang Tab A.14: zu entnehmen. Es waren zunächst 32 höhere Pflanzen in die WB gepflanzt, 27 Pflanzen wurden innerhalb der vier Jahre ergänzt. Die Moose passten sich an, die höheren Pflanzen erzeugten ein Vegetationsbild, das im Jahr 2014 etwa 50% Deckung ausmachte, die Moose erscheinen optisch als flächendeckend und bestimmen auch im Winter den Eindruck dieser Wand.</p>
<p>Jahr 3 5. Juli 2013</p>		<p>Die beiden Platten machten innerhalb des gesamten Zeitraumes einen frischgrünen Eindruck. Allerdings war eine häufige Reaktion von Besuchern auf diese Variante, dass es üppiger noch schöner ausgesehen würde. Der Reiz dieser Begrünung liegt in der Dominanz der Moose. Diese Idee kann regional noch weiter entwickelt werden – es steckt hier viel Potential in dieser Idee. Hosta als Begrünung ist etwas heikel, da sie im Frühjahr erst spät austreibt.</p>
<p>Jahr 4, 9. Juni 2014</p>		<p>Spontan stellten sich auf dieser Wand Festuca rubra und Cymbalaria muralis dauerhaft ein. Zusammen mit der veränderten Mooszusammensetzung ist so ein spannungsreiches Bild über die vier Jahre vorhanden. Die sehr leichten Platten bieten viele Anwendungsbeispiele in der aktuellen Architektur. Das Potential dieser WB steckt in der minimalistischen Pflanzenverwendung. Varianten mit üppigem Einsatz von höheren Pflanzen sind gleichwohl hiermit möglich.</p>

Abb. 3.29: Moos-Dominierter Geovlies – Aufbau



Tab. 3.34: Übersicht zum Geovliesmodul „Vertiko“ – Aufbau

Aufbau / Bepflanzung	Beschreibung
Befestigung	Geringes Gewicht erleichtert die Wandverankerung.
Charakterisierung des Systems	Vorkultivierte Moosmatten mit individuell anpaßbaren Pflanztaschen für Stauden.
Art der Bewässerung	Tröpfchenschlauch oberhalb des jeweiligen Pflanzmoduls. Für eine gute Moosentwicklung ist der Einsatz von Regenwasser erforderlich.
Bewässerungsrhythmus	Einmal täglich ist ausreichend. Für üppig grüne Moose ist ein zusätzliches Besprühen in Trockenphase hilfreich.
Art der Bepflanzung	Mooschlingmatte, mit Taschen für Stauden
Düngerbedarf	Langzeitdünger in den Pflanztaschen.
Pflege	Rückschnitt der Stauden, Entfernung von Wildkräutern.
Besonderen Qualitäten	Überraschend einfache Installation, gut für minimalistische Begrünungen.

Tab. 3.35: Geovliesvariante; Wertungskriterien

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Hoch
Aufwand bei der Installation	Einfach
Bodenvolumen	Gering
Flexibilität der Bepflanzung	Mittel
Anforderungen an die Bewässerung	Gering
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Mittel
Pflegeaufwand	Gering
Preis	Gering

### 3.3.5 WB für die Innenraumbegrünung

Für diesen Bericht stand innerhalb der Arbeitsgruppe die Masterarbeit von Kaiser (2012) zur Auswertung zur Verfügung. Innerhalb dieser Arbeit wurden einige Untersuchungen an einem Geovlies Modul der Innenraumbegrünung durchgeführt. Ergebnisse sind bereits im Kapitel der Substrate Kap. 2. beschrieben. Das 2011 aufgebaute Modul in der Größe von 1x 4 Metern, besteht nach räumlicher Verlegung immer noch und es können Erfahrungen zur Bewässerung, Pflanzenentwicklung und Pflege gesammelt werden. (siehe Abb. 3.32). Diese Geovlies Varianten müssen sich noch gegenüber den vertikalen Begrünungen in Hydrobauweise durchsetzen, die weniger technischen Aufwand bei der Bewässerung benötigen, hierzu konnte die Installation (Abb. 3.31) angeschafft werden – die zur Begrünung des Hochschul-Eingangsbereiches dient.

Abb.3.30: Vertikale Innenraumbegrünung eines Anbieters für vertikale Hydrokulturpflanzen im langfristigen Vergleich, Aufbau Oktober 2011 (links) und im März 2014 – Demonstrations- und Testfläche im ehemals unbegrünten Eingangsbereich der Hochschule



Tab. 3.36: WB Innen, „Hydrokultur“

Aufbau / Bepflanzung	Beschreibung
Befestigung	Freistehend oder mobil auf Rädern.
Charakterisierung des Systems	Nach Aufbau individuell mit Hydrokulturpflanzen bepflanzt.
Art der Bewässerung	Manuelle Bewässerung.
Bewässerungsrhythmus	Einmal pro Woche ist ausreichend.
Art der Bepflanzung	Tropische Stauden, robuste Pflanzen bevorzugt.
Düngerbedarf	Langzeitdünger im Gießwasser mehrmals im Jahr.
Pflege	Bei Bedarf Rückschnitt einzelner Pflanzen aus Auslichtung.
Verbale Einschätzung	Einfache Handhabung, Zusatzlicht meist notwendig.

Tab. 3.37: WB Innen Übersicht „Hydrokultur“

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Mittel
Aufwand bei der Installation	Gering
Bodenvolumen	Groß
Flexibilität der Bepflanzung	Hoch
Anforderungen an die Bewässerung	Gering
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Langfristig
Pflegeaufwand	Gering
Preis	mittel

Abb. 3.31: WB Geovlies-Eigenbau - Innenraum – Wandmodul (links Mai 2012, rechts August 2014).



Die Innen WB Abb.3.31 in einer modifizierten Geovliesvariante hat sich als robust herausgestellt. Auch bei Innenraumpflanzen gibt es saisonale Schwankungen, die aus der Lebenserwartung der Arten her resultieren. Als potentieller Schwachpunkt ist die Pumpe eines anzusehen, diese gilt es möglichst täglich einmal in Augenschein zu nehmen.

Tab. 3.38: WB Innen, Geovliesvariante

Aufbau / Bepflanzung	Beschreibung
Befestigung	Geovlies auf stabiler Rückplatte.
Charakterisierung des Systems	Zwei-, bzw. dreilagiges Geovlies, Pflanzen in Pflanztaschen, Einsatz von Zusatzlicht täglich.
Art der Bewässerung	Tropfschläuche oberhalb der Bepflanzung.
Bewässerungsrhythmus	Mehrfach täglich (8 x täglich).
Art der Bepflanzung	Tropische Stauden, ggf. Mediterranpflanzen.
Düngerbedarf	Dünger im Gießwasser beigemischt.
Pflege	Regelmäßiger Rückschnitt.
Besondere Qualitäten	Langfristig üppige Entwicklung, Nachpflanzungen sind flexibel nachträglich mit Geovlies zu befestigen.

Tab. 3.39: WB Innen, Einschätzung Geovliesvariante

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Hoch
Aufwand bei der Installation	Gering
Bodenvolumen	Gering
Flexibilität der Bepflanzung	Mittel
Anforderungen an die Bewässerung	Hoch
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Mittelfristig
Pflegeaufwand	Mittel
Preis	Mittel



Abb. 3.32: Innenraum WB für Küchenkräuter, hier Varianten zweier Anbieter von Vertikalmodulen, die sich besonders einfach beim Pflanzenaustausch sind. Etwa 50 Küchenkräuter im Test; Detail: Tomaten



Die aktuelle Arbeit zur Innenraumbegrünung (Kuievda, 2015, Masterthesis) baut auf die Erfahrungen von Kaiser (2012) auf und startete eine Untersuchung zu WB mit Küchenkräutern – eine interessante Nutzungsvariante, die visuelle Qualitäten mit zusätzlichem Nutzen verknüpft. Anders als bei den Geovlies-Varianten ist hier von besonderer Wichtigkeit, das regelmäßig nachgepflanzt werden kann. Als Basismodule sind hier zwei neue WB im Test. Das eine von dem Anbieter der „Kleinen Kübel außen“, hier in einer neuen Form mit eckigen Pflanzfeldern. Die WB ist aus PP-Kunststoff gefertigt und auf einem Metallrahmen montiert. Die zweite Variante stammt von einem niederländischen Anbieter, der Metallgefäße (Fa. Nophadrain) entwickelte. Diese sind unter dem Aspekt des angesprochenen Brandschutzes von Vorteil.

Zusätzlich ist geschaltet montiert. Die Substrate sind mit Beimengungen, etwa von Kieselgur in ihrer Speicherfähigkeit verbessert. Die Pflanzenentwicklung ist im Laufe des Jahres 2014 beobachtet worden (Abb. 3.32 u. 33). Als Zwischenfazit dieser Beobachtungsphase ist, im Vergleich zu einer ausschließlich dekorativen Begrünung mit robusten Innenraumpflanzen, sind entsprechende Kräuterbegrünungen um ein Vielfaches arbeitsintensiver und im Grunde nur etwas für Pflanzenenthusiasten.

Tab. 3.40: Übersicht zum vertikalen Modulsystem Innen.

Aufbau / Bepflanzung	Beschreibung
Befestigung	Feste Formen der Bepflanzungsboxen, auf Wandrahmen befestigt.
Charakterisierung des Systems	Pflanzbereiche leicht zu bepflanzen – einfacher Pflanzenaustausch möglich. Zusatzlicht ist für gute Entwicklung erforderlich.
Art der Bewässerung	Automatisierte Bewässerung.
Bewässerungsrhythmus	Täglich 1 x ist ausreichend.
Art der Bepflanzung	Küchenkräuter
Düngerbedarf	Langzeitdünger, aber auch Beimischung im Bewässerungswasser ist möglich.
Pflege	Regelmäßiges Ernten und Rückschnitt, regelmäßiger Pflanzenschutz ist notwendig.
Besonderen Qualitäten	Einfache Handhabung, robuste Module.

Tab. 3.41: Einschätzung des vertikalen Modulsystem Innen.

Kriterium	Einschätzung
Flexibilität der Aufbauvarianten	Mittel
Aufwand bei der Installation	Mittel
Bodenvolumen	Mittel
Flexibilität der Bepflanzung	Groß
Anforderungen an die Bewässerung	Gering
Dauerhaftigkeit der Konstruktion	Langfristig
Pflegeaufwand	Mittel
Preis	Gering

### 3.4 Zusammenfassende Übersichten der erfolgreichsten Pflanzenarten im Test

In der nachfolgenden Tabelle Tab 3.42 ab S. 136 sind wesentliche Pflanzen der Untersuchungen des Tests der WB in Neubrandenburg aufgelistet. Die letzte Spalte charakterisiert mit 1-3 Wertungssymbolen die empfehlenswerten Taxa aus dieser Untersuchung in den zurückliegenden Jahren.

Die Tabelle umfaßt 115 Arten zu denen Aussagen getroffen werden können. Insgesamt wurden etwa 250 Taxa und Sorten anfänglich ausgewählt. Für Folgeuntersuchungen sollten von den erfolgreichen Taxa nun weitere Züchtungen, Sorten oder Varietäten einbezogen werden. Diese eröffnen auf einer gesicherten Erkenntnis der Eignung weitere farbliche Gestaltungsvarianten für Wände. Hierbei wird an die Vielfalt der Varietäten, etwa bei Heuchera, Tellima oder Bergenia gedacht, die feine farbliche Abstimmungen in Blatttexturen, Blühterminen und Habitus bieten.

Es ist bemerkenswert, wie gut sich die getesteten Sträucher, etwa Spiraea oder Potentilla in den Testwänden entwickelten.

Bei den immergrünen Pflanzen war der klassische Buchsbaum erfolgreich. Der Buchs ist zwar langsamwüchsig, setzt aber auffällige ganzjährige Akzente in WB.

Die Pflanzenauswahl für WB kann mit dieser Übersicht noch nicht beendet sein. Eine längerfristige Beobachtung der Testinstallationen ist notwendig, um auch die Alterungsphasen der Pflanzen beurteilen zu können. Weiterhin sind Wildpflanzen stärker einzubeziehen, um detaillierter auf den Beitrag von WB zur Erhöhung der lokalen Biodiversität beantworten zu können.























































Die anschließenden Bildimpressionen (Abb. 3.34, S. 142) belegen das Potential der pflanzlichen Textur bei der Wandgestaltung. Die Tests in Neubrandenburg waren nicht unter dem Aspekt des Designs angelegt. Mit diesen Bildtafeln wird aber ein Eindruck vermittelt, wie bei zukünftigen Projekten die erfolgreichen Pflanzenarten zu Pflanzenbildern zusammengefügt werden können.







































































Es ist keine Tabelle angeführt, die sich ausschließlich mit Wildpflanzen in den WB beschäftigt. Während der Untersuchungszeit hat sich eine Anzahl von Wildpflanzen spontan in den Begrünungen angesiedelt, die durchaus Potential für WB haben. Allen voran das Cymbelkraut (*Cymbalaria muralis*). Diese Pflanzen können kurzfristig große Flächen bedecken, allerdings ziehen sie zum Ende der Vegetationsperiode ein und sind erst im nächsten Sommer wieder präsent. Für ein ausdauerndes Pflanzenbild ist diese Art dementsprechend nicht geeignet. Attraktive spontane Begleiter waren aber Weidenröschen-Arten (*Epilobium spec.*) sowie Gräser, wie etwa *Poa pratensis angustifolia* oder *Festuca ovina*. Gräser sind generell gut für WB geeignet. Als kritische spontan ansiedelnde Wildpflanzen, die es eher zu entfernen gilt, sind hier Quecke, Beifuß oder auch Ambrosie zu nennen.



























































Tab.3.42: Zusammenfassende Pflanzentabelle

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasser	Boden /pH	Pflegeaufwand	Höhe in cm	Blütenfarbe	Laubfarbe	Licht	Laubphase	Wertung
Actostaphyllum uva ursi	Immergrüne Bärentraube	horstig	4	frisch	sauer	mittel	30			halbschattig	immergrün	
Alchemilla mollis	Gem. Frauenmantel	horstig - ausläufer bildend	5	frisch	neutral	gering	30			absonnig	sommergrün	
Allium schoenoprasum	Binsenblättriger Lauch	horstig, lockerhorstig, horstbildend	5	frisch	neutral	gering	20-30			sonnig	sommergrün	
Anemone hepatica	Herbst Anemone	locker, ausläufer treibend	6	frisch	neutral	gering	80-100			halbschattig	sommergrün	
Aquilegia vulgaris	Gemeine Akelei, Gewöhnliche Akelei,	horstig, oft Selbstausaat	4	trocken, frisch	neutral	mittel	60-70	 		sonnig, halbschattig	sommergrün	
Arabis procumbens	Felsen-kresse	horstig, mit Ausläufern	4a	frisch	neutral	gering	20-30			sonnig-absonnig	immergrün	 
Asarum europaeum	Gewöhnliche Haselwurz	kriechend, teils wurzelnd, rhizombildend	5	frisch	alkalisch	gering	5-10			halbschattig absonnig	sommergrün	
Asplenium trichomanes	Brauner Streifenfarfarn,	(aufrecht) kragend/ überhängend/ horstbildend	2	trocken, frisch	alkalisch	mittel	10		 	halbschattig	immergrün	
Aster dumosus	Herbst-Kissenaster	horstig	3	frisch	neutral	mittel	20			sonnig	sommergrün	
Astilbe chinensis 'pumila'	Teppich-Spiere	ausläuferbildend, rhizombildend	5	frisch	alkalisch	mittel	25-40			sonnig, halbschattig	sommergrün	 
Aubrieta X cult. 'Hamburg Stadtpark'	Blaukissen	horstig, lockerhorstig, horstbildend	6	frisch	neutral	gerig, mittel	6-10			sonnig	sommergrün	 
Aubrieta Hybride 'Royal Blue'	Blaukissen	flach, polsterbildend ausbreitend	6	frisch	neutral	gering	30			sonnig	sommergrün	
Bergenia cordifolia	Bergenie	bodendeckend/ kriechend	3	frisch	alkalisch	mittel	20-40		 	sonnig, halbschattig	immergrün	  
Blechnum spicant	Rippenfarfarn	(aufrechter Wuchs) kragend	5	frisch, feucht	alkalisch, sauer	mittel	25-40			sonnig, halbschattig	immergrün	
Brunnera macrophylla	Kaukasisches Vergißmeinnicht	bodendeckend	4 - 9	frisch	neutral	30	30			sonnig-halbschattig	sommergrün	
Buxus sempervirens	Buchsbaum	aufrecht	5	trocken, frisch	alkalisch	gering	100-400	 		sonnig-schattig	immergrün	
Campanula portenschlagiana	Mauerglockenblume	polsterbildend/ ausläuferbildend	4	trocken, frisch	neutral	gering	50			schattig	sommergrün	 
Campanula rotundifolia	Rundblättrige Glockenblume	bodendeckend/ausläuferbildend	3	trocken, frisch	neutral, sauer	gering	20-25	 		sonnig	sommergrün	 
Carex buchananii	Fuchsrote Segge	steigend, aufrecht/ horstbildend	7	frisch, feucht	alkalisch	mittel	30-50			sonnig	immergrün	

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasser	Boden /pH	Pflegeaufwand	Höhe in cm	Blütenfarbe	Laubfarbe	Licht	Laubphase	Wertung
Carex conica 'Snowline'	Garten-Segge	bogig/horstbildend	7	frisch	alkalisch	gering	30			halbschattig	immergrün	
Carex hachijoensis	Japansegge	horstbildend-ausläufertreibend	5 - 9	frisch	neutral	gering	30			sonnig-halbschattig	immergrün	
Carex morrowii	Japansegge	aufrecht/ überhängend/horstbildend	6	frisch	alkalisch	gering	30-40			absonnig	immergrün	
Carex oshimensis	Gelbgrüne Garten-Segge	kragend/ hängend aufrecht/ horstbildend	7	trocken, frisch	alkalisch, sauer	gering	20-30			sonnig, halbschattig	immergrün	
Cerastium tomentosum	Garten-Teppich-Hornkraut	bodendeckend/kriechend	4	trocken	neutral	gering	15			sonnig	sommergrün	
Convolvulus mauritanicus	Mauretanische Winde	bodendeckend	?	trocken	neutral	mittel	40			sonnig	immergrün	
Cotinus coggyria 'Royal Purple'	Perückenstrauch	Gehölz	6a	trocken	neutral	gering	400			sonnig	sommergrün	
Cotoneaster microphyllus 'Steibs Findling'	Kleinblättrige Teppichmispel	Bodendecker, bogigüberhängend	7a	trocken, frisch	neutral	mittel, hoch	10-20			sonnig, halbschattig	immergrün	
Cotoneaster horizontalis	Fächer-Felsenmispel	bodendeckend	?	frisch	neutral	mittel, hoch	70-100			sonnig, halbschattig	immergrün	
Cyclamen hederifolium	Herbst-Alpenveilchen	horstig, lockerhorstig, horstbildend	6	trocken, frisch	neutral	gering	10-15			sonnig, halbschattig	sommergrün	
Cyclamen purpurascens	Sommer-Alpenveilchen	bodendeckend/horstbildend	6	trocken, frisch	alkalisch	mittel	10-15			sonnig, halbschattig	sommergrün	
Cymbalaria muralis	Mauer-Zimbelkraut	kriechend, teils wurzelnd, ausläuferbildend	3	frisch	neutral	gering	5-10			absonnig	sommergrün	
Cyrtomium fortunei	Fortuneis Sichelarn	horstig, lockerhorstig, horstbildend	8	frisch; feucht	neutral	mittel	50			halbschattig, absonnig	immergrün	
Duchesna indica	Schein-Erdbeere, Trug-Erdbeere	bodendeckend/ausläuferbildend, wuchernd	6	trocken, frisch	alkalisch	mittel	10			sonnig, halbschattig	immergün	
Epimedium x Perralchicum	Frohnlaiten-Elfenblume	horstig, lockerhorstig, horstbildend	7	frisch	alkalisch	mittel	30-35			halbschattig	immergün	
Euonymus fortunei 'Coloratus'	keine	wüchsig, breit, buschig, kriechend	3 - 9	frisch, feucht	neutral	mittel	35			halbschattig	immergrün, mit Verfärbung	
Euonymus fortunei 'Emerald Gaiety'	Weißbunte Kriechspindel	dicht, flach, mattenförmig, kriechend, kleinstrauch	5 - 9	frisch, feucht	alkalisch - sauer	gering	20-50			sonnig, halbschattig	immergrün, mit Verfärbung	
Euphorbia cyparissias	Zypressen-Wolfsmilch	ausläuferbildend	4	trocken	neutral	gering	20-50			sonnig	sommergrün	
Fatsia japonica	Zimmeraralie	Hostbildend, bodendeckend	7 - 10	frisch	neutral	mittel	bis 70			halbschattig	immergrün	
Festuca cinerea 'Blauglut'	Blau-Schwingel	kragend, polsterbildend/horstbildend	6	trocken	neutral	gering	30			sonnig-halbschattig	immergrün	
Festuca ovina	Schaf-Schwingel	horstig, lockerhorstig, horstbildend	4	trocken	neutral	mittel	30-40			sonnig	immergrün	

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasser	Boden-pH	Pflegeaufwand	Höhe in cm	Blütenfarbe	Laubfarbe	Licht	Laubphase	Wertung
<i>Fragaria vesca</i>	Wald-Erdbeere	ausläuferbildend	5	frisch	neutral	mittel	15-20			sonnig, halbschattig	immergrün	
<i>Fragaria virginiana</i>	Scharlach-Erdbeere	ausläuferbildend	3 - 10	frisch	neutral	mittel	20			sonnig, halbschattig	immergrün	
<i>Galium odoratum</i>	Echter Waldmeister	ausläuferbildend	5	frisch	neutral	gering	10 - 30			halbschattig, absonnig	frühjahrs-grün	
<i>Gaultheria procumbens</i>	Scheinbeere, Rebhuhnbeere	horstbildend	3 - 8	frisch	neutral - sauer	gering	25			sonnig - halbschattig	immergrün	
<i>Gaura lindtheimeri</i>	Prachtkerze	aufrecht/horstbildend	8	trocken	neutral	hoch	80-100			sonnig	sommergrün	
<i>Geranium macrorrhizum</i>	Felsen-Storchschnabel,	kissenartig/ rhizombildend	4	trocken, frisch	alkalisch	mittel	30			sonnig, halbschattig	sommergrün	  
<i>Geranium sanguineum</i>	Blut-Storchschnabel	bodendeckend/ ausläuferbildend	5	trocken	neutral	mittel	25-40			sonnig	sommergrün	  
<i>Glechoma hederacea</i>	Gundelrebe, Gundermann	kriechend, teils wurzelnd, ausläuferbildend	4	frisch; feucht	alkalisch	mittel	10-15			sonnig, halbschattig	sommergrün	 
<i>Hemerocallis</i> Hybride	Taglilie	Rhizombildend	3 - 10	frisch	tolerant - basisch	gering	70			sonnig - halbschattig	sommergrün	
<i>Heucherella</i> Hybride 'Quicksilver'	Silberblatt- Kissen-Purpurglöckchen	halbkugelig, halbrund/ horstbildend	5	frisch	neutral	gering	60			halbschattig	immergrün	
<i>Heuchera micrantha</i> 'Palace Purple'	Rotblättriges Silberglöckchen	buschig/ horstbildend	5	frisch	alkalisch	mittel	30-70			sonnig, halbschattig	immergrün	  
<i>Heuchera</i> cf miniature	Kleinwüchsiges Purpurglöckchen	flächig, bodendeckend	?	frisch	neutral	gering	30			halbschattig	immergrün	 
<i>Heucherella alba</i> 'Brigdet Bloom'	Helles Garten Purpurglöckchen	halbkugelig, halbrund/ horstbildend	5	frisch	alkalisch	mittel	30			sonnig, halbschattig	sommergrün	 
<i>Hosta sieboldii</i> 'Cat and Mouse'	Funkie "Katz und Maus"	horstig	3 - 10	frisch	neutral	gering	20			halbschattig	sommergrün	
<i>Hosta x fortunei</i> 'Albo margininata'	Weißrandige Funkie	horstig	3 - 9	frisch	neutral	gering	40			halbschattig	sommergrün	
<i>Hosta sieboldiana</i>	Blaublatt Funkie	horstig	3 - 9	frisch	neutral	gering	40			halbschattig	sommergrün	
<i>Iberis sempervirens</i> i.S.	Schleifenblume	kissenartig/ rhizombildend	4	trocken, frisch	alkalisch	gering	10-25			sonnig	immergrün	
<i>Ilex crenata</i> 'Convexa'	Japanische Hülse	Kleingehölz	7a	frisch	neutral	hoch	50			sonnig-halbschattig	immergrün	
<i>Iris variegata</i>	Bunte Schwertlilie	Rhizombildend	3 - 9	frisch - trocken	neutral	gering	45			sonnig	sommergrün	  
<i>Juniperus communis</i> 'Green Carpet'	Grüner Kriechwacholder	flach, kriechend, kompakt, Tiefwurzler	3	frisch, feucht	neutral	gering	100-200			sonnig	immergrün	 
<i>Juniperus squamata</i> 'Blue Carpet'	Kriechwacholder	Gehölz, bodendeckend	3	frisch	neutral	gering	100-200			sonnig	immergrün	 

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasser	Boden /pH	Pflegeaufwand	Höhe in cm	Blütenfarbe	Laubfarbe	Licht	Laubphase	Wertung
Lamium maculatum	Gefleckte Taubnessel	horstig, lockerhorstig, horstbildend	4	trocken, frisch	alkalisch	gering	25			halbschattig	sommergrün	
Lavandula angustifolia	Echter Lavendel, Schmalblättriger	horstig, lockerhorstig, horstbildend	6	trocken	neutral	mittel	40			sonnig	immergrün	
Liriope muscari 'Monroe White'	Glöckchentraube	horstig, lockerhorstig, horstbildend	7	frisch	neutral	mittel	30			absonnig	immergrün	
Luzula nivea	Schnee-Marbel, Weiße Hainsimse	kragend (aufrecht)/ bodendeckend/	6	trocken, frisch	neutral-sauer	mittel	30			schattig	immergrün	
Luzula sylvatica	Gelbrand-Wald-Marbel	aufrecht/ überhängend/ horstbildend	6	frisch	alkalisch	mittel	20-40			halbschattig, absonnig	immergrün	
Lysimachia nummularia 'Aurea'	Gold-Pfennigkraut, Hellerkraut	teppichartig, bodendeckend/	4	frisch, feucht	alkalisch	mittel	5-10			sonnig, halbschattig	sommergrün	
Mentha spicata	Krause-Minze	aufrecht/ausläuferbildend	3	frisch	alkalisch	mittel	40-50			sonnig	sommergrün	
Muscari comosa	Schopfige Traubenhyazinthe	tuffartig, selbst verbreitend	8	frisch	neutral	mittel	25			halbschattig	frühlingsgrün	
Nepeta racemosa (Nepeta x faassenii)	Katzenminze	gedrungen polsterartig	4	trocken	neutral	gering	20-90			sonnig	immergrün	
Omphalodes verna	Frühlings-Gedenkemein	kriechend, teils wurzelnd, ausläuferbildend	6	frisch	alkalisch	gering	15-20			sonnig, halbschattig	sommergrün	
Ophiopogon planiscapus 'niger'	Schwarzer Schlangebart	horstig - ausläufer bildend	6	frisch	neutral	gering	20			halbschattig	immergrün	
Pachysandra terminalis	Dickmännchen, Schattengrün	Zwergstrauch, gut verzweigt, niedrig	5	frisch, feucht	alkalisch, neutral	gerig, mittel	20-30			halbschattig, absonnig	immergrün	
Pennisetum setaceum	Lampenputzergras	horstig	9	frisch	neutral	gering	30			absonnig	sommergrün	
Phyllitis scolopendrium	Heimischer Hirschwurz-Farn	aufrecht/horstbildend	5	frisch, feucht	neutral	gering	30-40			halbschattig, absonnig	immergrün	
Phyllitis scolopendrium	Hirschwurz, Hirschwurzfarn	kragend/ hängend trichterförmig aufrecht	5	frisch, feucht	alkalisch	hoch	25-40			halbschattig, absonnig	immergrün	
Pieris japonica 'Mountain fire'	Japanische Lavendelheiden	kleiner dickbuschig aufrecht	6	frisch, feucht	sauer	mittel	120-160			halbschattig, absonnig	sommergrün	
Pinus mugo mughus	Krummholz Kiefer	Kleines Gehölz	6	frisch	neutral	gering	150			sonnig	immergrün	
Polypodium vulgare	Tüpfelfarn, Engelsüß	überhängend/ ausläuferbildend	3	frisch, feucht	alkalisch	mittel	20-40	-		halbschattig, absonnig	immergrün	
Polystichum setiferum	Grannen Schildfarn	horstig	6	frisch	neutral	gering	bis 70	-		schattig	immergrün	
Potentilla fruticosa	Fingerstrauch	aufrecht/horstbildend	4	trocken, frisch	neutral	mittel	50			sonnig, halbschattig	sommergrün	
Potentilla neumanniana	Frühlings-Fingerkraut	teppichartig, bodendeckend/kriechend	5	trocken	neutral	gering	5-10			sonnig	sommergrün	

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasser	Boden /pH	Pflegeaufwand	Höhe in cm	Blütenfarbe	Laubfarbe	Licht	Laubphase	Wertung
<i>Prunella grandiflora</i>	Großblütige Braunelle	kriechend, teils wurzelnd	5	trocken	neutral	mittel	5-10			sonnig, halbschattig	immergrün	
<i>Prunus laurocerasus</i> 'Otto Luyken'	Breitwüchsiger Kirschlorbeer	Aufrecht, Gehölz	6 - 8	frisch	neutral	gering	150			sonnig-schattig	immergrün	
<i>Reineckea carnea</i>	Japanisches Maiglöckchen	horstig	7 - 9	frisch	neutral	mittel	30			halbschattig	immergrün	
<i>Rubus calycinoides</i>	Zierbrombeere	bodendeckend	6 - 9	trocken	neutral	mittel	25			sonnig-schattig	sommergrün	
<i>Sagina procumbens</i>	Sternmoos, Mastkraut	bodendeckend	4	trocken-frisch	neutral	gering	5			halbschattig	immergrün	
<i>Sambucus nigra</i> 'laciniata'	Geschlitzblättriger Hollunder	Gehölz	5	frisch	alkalisch	gering	500			sonnig-absonnig	sommergrün	
<i>Saxifraga cuneifolia</i>	Keilblättriger Steinbrech	horstig, lockerhorstig, horstbildend	6	frisch	alkalisch	gerig, mittel	15-20			halbschattig, absonnig	immergrün	
<i>Saxifraga paniculata</i>	Rispen-Steinbrech	rosettig, polsterartig/	2	frisch	alkalisch	gering	30			sonnig	immergrün	
<i>Saxifraga umbrosa</i>	Porzellanblümchen	rosettig, polsterartig, ausläuferbildend	6	frisch	alkalisch	mittel	10-30			halbschattig	immergrün	
<i>Sedum floriferum</i>	Gold-Fetthenne	aufrecht, bodendeckend/ horstbildend	5	trocken, frisch	alkalisch	gering	10-30			sonnig	immergrün	
<i>Sedum kamchaticum</i>	Kamtschatka Fetthenne	bodendeckend	4	trocken	neutral	gering	10			sonnig	immergrün	
<i>Sedum reflexum</i> i.S.	Felsen-Fetthenne, Tripmadam	teppichartig, bodendeckend/ kriechend	7	trocken	neutral	gering	20			sonnig	immergrün	
<i>Sedum spectabile</i> 'Septemberglut'	Prächtiges Fettblatt	aufrecht/ horstbildend	6	trocken	alkalisch	mittel	50			sonnig	immergrün	
<i>Sedum spurium</i>	Garten-Teppich Fettblatt	bodendeckend/ kriechend	6	frisch	alkalisch	mittel	10			halbschattig	immergrün	
<i>Sempervivum tectorum</i>	Dachwurz	bodendeckend	4	frisch	neutral	gering	10			sonnig-absonnig	immergrün	
<i>Spiraea bumalda</i>	Sommerspiere	Gehölz	?	trocken-frisch	neutral	gering	50-70			sonnig	sommergrün	
<i>Symphoricarpos albus</i>	Knallerbsenstrauch	Gehölz	3	frisch	neutral	gering	100			Sonnig - halbschattig	sommergrün	
<i>Syringa vulgaris</i>	Gemeiner Flieder	Gehölz	4	frisch	neutral	mittel	Bis 400			sonnig	sommergrün	
<i>Teucrium chamaedrys</i>	Sommergrüner Gamander	bodendeckend/ ausläuferbildend	5	trocken, frisch	neutral	mittel	20-30			sonnig	sommergrün	
<i>Thymus vulgaris</i>	Gewürz-Thymian, Gemeiner Thymian	buschig/ horstbildend	7	trocken, frisch	neutral	mittel	20-30			sonnig	sommergrün	
<i>Tiarella cordifolia</i>	Schaumblüte	kissenartig/ kriechend	3	frisch	alkalisch, sauer	mittel	30			halbschattig	immergrün	

Botanischer Name	Deutscher Name	Wuchsverhalten	Whz	Wasser	Boden /pH	Pflegeaufwand	Höhe in cm	Blütenfarbe	Laubfarbe	Licht	Laubphase	Wertung
Tiarella cordifolia 'Moorgrün'	Schaumblüte	kissenartig/ kriechend	3	frisch	kalkarm	mittel	30			halbschattig -schattig	immergrün	 
Vinca minor	Kleines Immergrün	Bodendeckend	5	frisch	neutral	gering	20			halbschattig	immergrün	
Waldsteinia geoides	Nelkenwurz- Waldsteinie	horstig, lockerhorstig, horstbildend	5	trocken, frisch	neutral	gering	20-30			halbschattig , absonnig	immergrün	 
Waldsteinia ternata	Teppich-Ungarwurz	bodendeckend/ kriechend	3	trocken, frisch	alkalisch	mittel	30			halbschattig , absonnig	immergrün	 
Neu: 30. Juli 2014												
Saxifraga rotundifolia	Rundblättriger Steinbrech	horstig	5-8	frisch	neutral	gering	30			schattig	immergrün	  
Saxifraga x urbium 'Aureopunctata'	Bastard- Porzellanblümchen	Bodendeckend	5	frisch	neutral	gering	30			halbschattig	immergrün	  
Cerastostigma plumbaginoides	Chinesischer Bleiwurz	Bodendeckend	5	trocken	neutral	gering	20			sonnig- absonnig	Sommergrün	 
Bistorta officinalis 'Carnea'	Wiesenknöterich	bodendeckend	4	frisch	neutral	gering	50			sonnig- absonnig	sommergrün	
Tellima grandiflora	Falsche Alraunwurzel	horstig	6	frisch	neutral	gering	20-40	unscheinbar weißlich		schattig	immergrün	
Alchemilla alpina	Alpen-Frauenmantel	Horstig-Ausläufer	3	frisch	neutral	gering	30	 		absonnig	sommergrün	
Aster ericoides 'Snowflurry'	Teppich-Myrthen Aster	Teppich-Ausläufer	3	frisch	neutral	gering	15-30			sonnig, absonnig	sommergrün	
Stachys byzantina	Wollziest	Teppich	4-9	frisch	neutral	gering	50			sonnig, absonnig	immergrün	 
Anchusa villosa	Haarige Ochsenzunge	flächig	?	frisch	neutral	gering	30			absonnig	immergrün	



1 Saxifraga cuneifolia



2 Heuchera mircophylla 'Purple palace'



3 Heuchera mircophylla 'Purple palace' mit Blütenständen



4 Gelb blühend: Potentilla neumanniana; Heuchera und Geranium



5 Geranium macrorrhizum



6 Heuchera u. Festuca glauca,



7 Spiraea bumalda



8 Corydalis cava (Blüte), links: Saxifraga umbrosa



9 Luzula sylvatica



10 Heucherella Hybride 'Quicksilver'



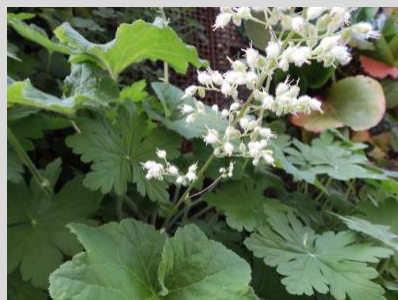
11 Luzula sylvatica



12 Hosta x fortunei 'Albo-marginata'



13 Tellima grandiflora



14 Alchemilla alpina 'weißblü.'



Abb.3.33a: Impressionen zu einzelnen Pflanzen von den Versuchswänden während der letzten zwei Jahre, Teil 1



15 *Wisteria sinensis*



16 *Arabis procumbens* o.L., *Bergenia*,  
*Heuchera* u.a.



17 *Campanula portenschlagiana*



18 *Teucrium chamaedrys* u.  
*Geranium macrorrhizum*



19 *Vinca minor* (Hintergrund) u. *Ajuga reptans*



20 *Tellima grandiflora*



21 *Fragaria virginiana*



22 *Saxifraga umbrosa*



23 *Heuchera* m. u. *Geranium* m.



Abb.3.33.b: Impressionen zu einzelnen Pflanzen von den Versuchswänden während der letzten zwei Jahre, Teil 2

## 4 LifeCycle Analysen

## 4 LifeCycle Analysen

### 4.1 Bedeutung der LifeCycle Analyse

Die LCA ist eine allgemeine Methode um mehr über die Bauweisen und Materialien zu erfahren. Sie liefert Informationen über den Energieeinsatz bei Produktion und Nutzung von Elementen im Bauwesen. Kennwerte der erforderlichen Materialien aber auch Transportdistanzen bei der Gewinnung, Verarbeitung und beim späteren Rückbau sind die erforderlichen Informationen. Ziel dieser Studie ist es, für WB den kompletten Lebenszyklus von der Produktion über die Nutzung bis hin zum Rückbau energetisch zu fassen und für Entscheidungsträger offen zu legen.

Basis dieser Arbeit sind die mit den Testmodulen zur WB gesammelten Werte. Sie sollen unter den nachfolgenden Gesichtspunkten analysiert werden:

- Materialbedarf für Herstellung, Lieferung, Aufbau,
- Materialien und Aufwand beim Betrieb (Pflege, Wartung, Instandhaltung),
- Recyclefähigkeit, Wiederverwendung,
- Aussagen zur langfristigen Haltbarkeit.

Die Erfahrungen zur langfristigen Haltbarkeit von WB beschränken sich auf wenige Beispiele. Aus eigener Anschauung in Zusammenhang mit dieser Arbeit kann auf einen Zeitraum von etwa vier Jahren zurückgeblendet werden, was im Grunde nur die Anfangsphase einer WB beschreibt. Die ältesten vergleichbarer Projekte zur WB sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt etwa 10-15 Jahre alt. Demzufolge ist die Dauerhaftigkeit noch nicht empirisch zu benennen. Die Lebenserwartung von klassischen Fassadenbegrünungen mit einer Direktbegrünung durch Kletterpflanzen hält, wie es viele begrünte Gebäude aus der Gründerzeit belegen, gut 100 Jahre lang (Köhler et al., 2012). Auch wenn WB solche Werte nicht erreichen, sollten Anbieter von WB Aussagen treffen, welche Zeitspannen mit ihrem jeweiligen Materialeinsatz erreicht werden kann.

Ziel sollte es sein, dass WB mindestens zehn Jahre problemlos funktionieren. Besser wäre eine Spanne von 45 Jahren, der etwaigen kalkulatorischen Lebenserwartung moderner Gebäude. Nach dieser Zeitspanne sind bei den meisten Gebäuden grundlegende technische Renovierungen erforderlich.

Als Kennwerte für diese LCA dienen Checklisten, etwa der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen und des DIBT (Deutschen Instituts für Bautechnik, Bauregelliste, neueste Fassung vom Dez. 2014) Des Weiteren aktuelle Veröffentlichungen zur LCA Anwendung, hierzu liegen Veröffentlichungen aus Singapur, Italien und Canada vor (etwa Perini u. Rosasco, 2013, Silvestre et al., 2013).

Für die Abschätzung der Kosten über die Nutzungsdauer soll auf den Arbeitsansatz von Betzler, in Köhler et al., 2012) zurückgegriffen werden. Er verglich die höheren Anschaffungskosten mit den möglichen Ersparnissen mittels einer Kosten – Nutzen Abschätzung eines Gebäudes mit WB in Hamburg, „Projekt Simon von Utrecht Straße“ (siehe Abb. 4.1).

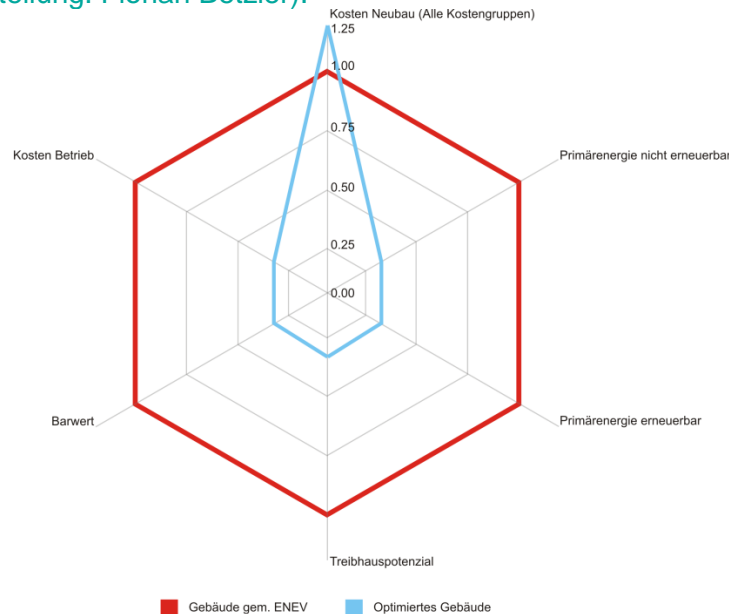
Höhere Kosten für eine WB resultieren neben dem höheren Materialeinsatz auch aus der notwendigen Erreichbarkeit der Bepflanzungen, etwa mit Fassaden-Fahrkörben. Die geschickte Kombination für Fassadenreinigung und Pflanzenbetreuung mindert diese Kosten wieder, es ist die Aufgabe des Architekten hier Synergismen zu bilden.

WB konkurrieren mit anderen Oberflächenmaterialien, etwa Terrakottaplatten die häufig vergleichbar preisintensiv sind. Die Stärke dieser Steinbeschichtungen liegt in der langfristigen Wartungsarmut. Den höheren laufenden Kosten der Pflege und Wartung von WB stehen andere Vorteile gegenüber, wie Einsparungen bei der bei der Regenwasserbewirtschaftung, den Verdunstungsleistungen, der zusätzlichen



Wärmedämmung und der Biodiversität. Die Bearbeiter gehen davon aus, dass WB „Umweltdienstleistungen“ erbringen, die bisher schwer monetär abzuschätzen sind, daher ist die nachfolgende LCA ein Vorschlag die Einzelkomponenten näher zu betrachten.

Abb. 4.1: Schematische Darstellung - Kosten-Nutzen – Abschätzung, Beispiel Simon v. Utrecht Str. (Darstellung: Florian Betzler).



Für die meisten Bauteile und Baustoffe gibt es Übersichten zur durchschnittlichen Haltbarkeit im Bauwesen. Durch die zunehmenden Witterungsextreme gibt es höhere mechanische Belastungen durch Schlagregen und intensivere UV-Strahlung auf die Außenhülle der Gebäude (BMVBS / BBR, Hrsg., 2008). Begrünung der Gebäudehülle verhindert kann diese Effekte mildern, indem die direkte Sonnenstrahlung auf die Oberfläche reduziert wird. Die Begrünung bildet weiterhin einen mechanischen Schutz, der die Temperaturschwankungen reduziert. Dezentral gespeichertes Niederschlagswasser kann zur Bewässerung genutzt werden, sofern es nicht durch weitere Stoffe belastet ist. Das verbessert den lokalen Wasserkreislauf und reduziert das auf das Grundstück anfallende Regenwasserentgelt.

Eine der ersten Life-Cycle-Analysen (LCA), die sich mit der begrünten Gebäudehülle beschäftigte, wurde in Singapur durch Wong et al. (2003) durchgeführt. Bei dieser Arbeit lag der Focus auf intensiven Dachgärten. Den höheren Anfangsinvestitionen standen keine erhöhten Folgekosten durch den Betrieb der Dachgartenflächen gegenüber, was als Erfolg der Dachbegrünung gewertet wurde. Die Haltbarkeit der meisten Komponenten ist langfristig, etwa entsprechend der Lebenserwartung der Gebäude in diesem Klima angelegt. In weiteren Untersuchungen wurde am Beispiel der Dachbegrünung immer wieder betont, dass den erhöhten Anfangskosten, geringere Folgekosten und vor allem verlängerte Wartungsintervalle gegenüber stehen. In allen Fällen lohnte sich die Investition in begrünte Dächer für den Eigentümer (Köhler u. Porsche, 2003).

Die erste LCA für WB legten Ottele et al. (2011) vor. Diese Arbeit stellt die Basis für die nachfolgenden Überlegungen dar. In dieser Arbeit wurden verschiedene WB, modulare WB vor jeweils typischem Mauerwerk installiert und in einer Klimakammer hinsichtlich der Dämmwirkung und der Haltbarkeit getestet. Die Wirkung der WB ist ein relativer Faktor, in Abhängigkeit zum vorhandenen Wandaufbau. Wie schon im Kapitel hinsichtlich der Wärmedämmung dargestellt, ist die Detailausbildung der Übergänge der Begrünungen von besonderer Bedeutung, die den Effekt ggf. wieder aufheben kann.

Auf die langfristige Haltbarkeit der Komponenten geht diese Arbeit noch nicht ein.

Diese Lücke wird für die gleichen Aufbauten von Perini u. Rosasco (2013) geschlossen. In einer umfassenden ökonomischen Betrachtung werden die jeweiligen Investitionskosten und

die ökologischen Effekte verglichen. Die privaten als auch die sozialen Vorteile der Systeme werden verglichen. Die Kriterien; Anfangsinvestition, Unterhaltungskosten also auch die Kosten werden verrechnet. Im Ergebnis trägt eine WB zur Erhöhung der Wertigkeit des Grundstücks bei. Die Studie kommt mittels verschiedener Berechnungsindikatoren, wie Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR) und der „Pay Back Period“ (PBP) zum Ergebnis, dass sich für die untersuchten Varianten die Investition in WB lohnt. Die aktuelle Veröffentlichung von Feng u. Hewage (2014) aus Canada wurde nachfolgend als Vergleichsarbeit herangezogen, da ähnliche WB in deren LCA untersucht wurden.

In sehr unterschiedlichen klimatischen Regionen werden aktuell Untersuchungen an WB-Materialien durchgeführt. Den höheren Baukosten stehen jeweils vergleichbare positive Effekte gegenüber, die sich allein bei der verbesserten Dämmeigenschaft des Wandaufbaues anrechnen lassen. Die bautechnische Herausforderung in Verbindung mit WB ist der übergangslose und winddichte Einbau in die jeweilige Gebäudehülle. Gelingt dieses, ist eine positive Betrachtung auch bei der Gebäudezertifizierung ein wichtiges Argument (Kumar u. Suman, 2013).

## 4.2 Durchführung der LCA – Analyse

Die nachfolgende LCA erfolgte auf der Datengrundlage der in den Tabellen genannten Einzelquellen, ein spezielles automatisiertes Programm wurde nicht genutzt.

Anregungen boten die Arbeiten von Hendarti (2013) für begrünte Dächer, die LCA von WB nach Feng u. Hewage (2014) in Canada, sowie eine Vielzahl von Materialkennwerten aus sehr unterschiedlichen, jeweils genannten Quellen. Die beiden zuletzt genannten Forscher haben in Vancouver drei WB untersucht: Kletterpflanzensystem, Modulare Pflanzenboxen sowie eine Geovliesvariante, auf diese konnte aufgebaut werden.

Nachfolgend werden die untersuchten Prinzipien der WB nach der LCA – Methode ermittelt. Die Ergebnisse sind im Kap. 3 zur Beschreibung der Untersuchungsvarianten angewandt (s. 82 ff).

Die Untersuchungen von Feng u. Hewage (2014) zeigen eine gewisse Belastung durch die Geovlies-Varianten auf. Diese Form der WB ist nicht wie zunächst vermutet umweltfreundlicher als etwa die Begrünung mit Kletterpflanzen. Die Einschätzung zur Umweltfreundlichkeit resultiert aus einer Reihe von Faktoren, etwa der Materialwahl der Befestigungstechnik als auch der Substrat- und Pflanzenauswahl mit der entsprechende Länge an damit verbundenen Transportwegen.

WB bieten eine Reihe von ökologischen Vorteilen, die es zu berücksichtigen gilt, etwa – direkte Reduktion der Thermischen Belastung durch Einstrahlung auf Oberflächen. Klimatisierung und damit Reduktion der erforderlichen Gebäudekühlung als Beitrag gegenüber der sommerlichen städtischen Wärmeinsel. Die Höhe dieses Beitrags variiert je nach Typ der WB (Cameron et al., 2013).

Für die nachfolgende Life Cycle Analyse (LCA) evaluierten wir die Nachhaltigkeit der typischen Baumaterialien hinsichtlich ihres Energiebedarfs bei der Herstellung, der Konstruktion sowie bei der Abbauphase, einschließlich eines Blicks auf die spätere Nachnutzung.

Für die WB wurden folgende Varianten näher betrachtet:

1. Kletterpflanzenbegrünung: In den LCA-Tabellen ist diese weit verbreitete Begrünungstechnik, meist aus mehrjährigen und verholzenden Kletterpflanzen bestehend, an dauerhaften Kletterhilfen aus Edelstahl, Glasfaser (GFK) oder Ähnlichem wachsend, mit berechnet. In den nachfolgenden Tabellen wird bei dieser Kategorie von bodengebundenen Kletterstrukturen ausgegangen.



2. Gabionensystem: Sie sind die schwersten Konstruktionen in diesem Vergleich. Die Konstruktionen benötigen meist ein separates Fundament sowie einen Konstruktionsrahmen, etwa aus galvanisiertem Stahl, um die Drahtkörbe stapeln zu können. Die Anzahl, auf einem Rahmen zu stapelnde Drahtkörbe ist begrenzt, bei Bedarf kann in einem Folgegeschoss eine weitere Gabionenreihe aufgesetzt und entsprechend verankert werden. Gabionen können freistehend aufgebaut werden, dann ist eine beidseitige sowie auf der oberseitige Bepflanzung möglich. Bewässerung ist möglichst in jeder Kübelreihe einzubauen.
3. Kleine Kübel/Vertikale Horizontalstrukturen: Die hier untersuchten Strukturen sind in Abb. 3.6, S. 102 zu sehen. Große Pflanzkübel als Wandstrukturen, wie sie am Physikgebäude in Berlin Adlershof verwendet wurden (Reichmann et al. 2010), sind in den nachfolgende LCA-Tabellen mit berechnet worden. Die kleinen Kübel können aus sehr unterschiedlichem Material hergestellt sein. Edelstahl, Aluminium, Beschichtetes Metall oder aus sehr unterschiedlichen Kunststoffen, etwa EPP-HD, oder PP bestehen. Die häufig kleine Substratmenge wird durch Beimischung von besonders speicherfähigem Material in der Wasserhaltefähigkeit verbessert. Bei den Substraten ist die ganze Bandbreite von Pflanzmaterialien möglich – und sollte gesondert hinsichtlich des LCA abgeschätzt werden. Jede Reihe von Pflanzgefäßen sollte mit einer separaten Bewässerungsleitung ausgestattet sein. In dieser Kategorie standen zwei Varianten für den Vergleich zur Verfügung.
4. Wandmodule/flächig: Vier unterschiedliche Varianten sind im Vergleich bei dieser Arbeit. Varianten sind in der Materialwahl der Module, der Substrate und der Montage. Jede Variante ist mit automatisierter Bewässerung ausgestattet.
5. Geovlies: Die hier untersuchte WB auf Geovlies Basis besteht aus einer dauerhaften Aluminiumrückplatte mit mehreren Lagen von Vlies, in dem Pflanztaschen integriert sind. Eine automatisierte Bewässerung ist vorhanden.

Im Nachfolgenden sind die Einzelkomponenten der einzelnen Aufbauvarianten beschrieben und klassifiziert. Es wird die Energie kalkuliert, die für die Produktion, einschließlich des Materialtransportes erforderlich war; die Energie während des Betriebs als auch die Rückbaukosten abgeschätzt. Berücksichtigt wird aus Tabellenwerten die ungefähre Lebenserwartung der Materialien. Schließlich wird der Rückbau energetisch betrachtet. Alle nachfolgenden Angaben der LCA beziehen sich auf einen Quadratmeter der jeweiligen Aufbauvariante. Die separate Abschätzung für kleine, mittlere und große Projekte kann abweichende Werte ergeben, wie am Beispiel der Kosten für die Bewässerung gezeigt wird. Der eigentliche Quadratmeterpreis vieler anderer Komponenten, etwa des Vlieses oder der Anzahl der Pflanzen ist sehr wohl möglich auf einen Quadratmeter zu beziehen. Im Verlauf der Arbeit zeigte es sich, dass diese Arbeit geeignet ist, prinzipielle Unterschiede zwischen den WBs aufzuzeigen, innerhalb der WB- Bauvarianten gibt es eine Vielzahl weiterer Varianten, die einer ausführlichen Einzelfallbetrachtung bedürfen.

Für die Bearbeitung wurden schließlich die beiden Hilfsmittel genutzt:

- Open Material – Datenbank von (Hammond & Jones 2011) für die chemischen Analysen, energetischen Größen der WBs zu analysieren.
- Microsoft – Excel für die Datenaufbereitung.

Die verschiedenen Stufen der Herstellung von WB:

### 1. Herstellung

Diese Stufe umfasst alle Frage der Materialauswahl, Produktion sowie des Transportes der Einzelkomponenten als auch der zusammen gesetzten WB. Es berücksichtigt nicht die Daten der Wand, auf die montiert wird. Wird die WB anstelle einer abschließenden Dekorativen Wandverkleidung eingesetzt, könnte diese in der Gesamt-Energiebilanz gegenübergestellt werden.

### 2. Konstruktionsphase

Bei der Konstruktion muss auch der Materialtransport zur Baustelle berücksichtigt werden, hier ist Neubrandenburg angenommen worden. Zum energetischen Bedarf in der Bauphase gehört die Einrichtung der Baustelle. Die erforderlichen technischen Hilfsmittel zur Montage, haben nur einen geringen Einfluss auf die Konstruktion und sind in Anlehnung an Feng u. Hewage, 2014 unberücksichtigt geblieben.

### 3. Nutzungsphase

Die Nutzungsphase umfasst alle regelmäßig erforderlich werdenden Arbeiten, von der täglichen Sichtkontrolle, die mehrfach jährlich erforderliche gärtnerische Pflege in Abhängigkeit vom Begrünungsziel sowie die unterschiedlichen Wartungsintervalle für den Austausch wichtiger Kompartimente, etwa der Bewässerung sowie der Aufhängung. Die manuelle Arbeitskraft für diese Tätigkeiten ist nicht in energetischen Konsum umgerechnet worden sondern in Arbeitsstunden pro Variante abgeschätzt, siehe Kap. 5.4.

### 4. Phase der Abbaus und der Wiederverwendung

In dieser Phase gibt es, je nach Aufbau verschiedene Möglichkeiten, Abbau und Verbringen auf eine Deponie wäre die schlechteste; Wiederverwendung von möglichst vielen Komponenten ist anzustreben. Für die meisten der verwendeten Produkte von WB ist das bereits jetzt dokumentiert und vorgesehen. Schwierig scheint es aktuell bei den typischen Produkten der WB zu sein, wie; Geovlies, Thermoplastik PolyOlefin, Aquanappe und einigen Varianten von Mineralwolle. Im Laufe der nächsten Jahre werden sich weitere Möglichkeiten zum Recycling technisch darstellen lassen, sofern das nicht der Fall ist, die Materialtrennung innerhalb der Sandwichbauweise zu schwierig ist, bleibt nur die Möglichkeit der Deponie. Hier wäre dann die Entfernung für die Lagerung zu kalkulieren. Für alles Pflanzenmaterial und die verwendeten Substrate ist eine Kompostierung unproblematisch.

Nach Feng u. Hewage, (2014) ist die Stahl-Rahmenkonstruktion in den meisten Fällen auf 50 Jahre ausgelegt. Ähnliches gilt für die meisten konstruktiven Elemente, etwa der Aluminiumrahmen, der Bolzen und ähnlicher Strukturen. Mit einer Gesamt – Lebenserwartung der Systeme, kalkuliert auf 45 Jahren, läge man somit schon auf der sicheren Seite. Aus den Erfahrungen von Ottele et al., (2011) wird für die Bewässerungskomponenten eine Haltbarkeit von 7,5 Jahren angesetzt, da nach dieser Zeit nicht nur die Magnetventile Probleme machen können, auch die Bewässerungsleitungen durch Dünger-Salzkristalle verstopfen können und zumindest aus Sicherheitsgründen rechtzeitig gewechselt werden sollten. Die Wiederverwertung dieser Bewässerungskomponenten richtet sich ebenfalls nach dem Materialeinsatz, der sehr variabel ist, zwischen Messing und Stahlkomponenten sowie verschiedene Kunststoffe der Leitungsbahnen.

Ergebnisse:

Tab. 4.1: Energetische Charakterisierung WB und bodengebundenen Begrünungen mit Kletterpflanzen.

Charakterisierung WB-	Komponenten	Material	Typ	Quelle	Energie/Kg (KJ)							Energie/m² (KJ)	Gewicht (Kg/m2)		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m² (g/m²)		
					Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/Km)	Quelle	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)		Quelle	Energie/m² (KJ)	(Kg/m2)	Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle		CO2e/Kg	Quelle
Kletterpflanzen	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020			29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	438,15	0,02	3	6,07	3	50	3	8,00	stuck	11	6,15	53	0,09	
	Edelstahlnetz	Edelstahl			29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	45275,5	1,55	3	6,07	3	50		1,88	m	41	6,15	53	9,53	
	Abstandhalter	Edelstahl nach EN 10021			29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	1314,45	0,05	3	6,07	3	50	3	1,68	stuck	10	6,15	53	0,28	
	Seile, Stäbe	Edelstahl nach EN 10022			29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	45275,5	1,55	3	6,07	3	50	3	0,088	m	12	6,15	53	9,53	
				Sonstige	Accacia	5000	4	6,07	3	0	8	-				6,07	3			93	m²	16				
	Vegetation	großformatige Kletterpflanze (z.B. Wisteria sinensis)				0		6,07	3	0		0				6,07	3			16,6	stuck	17				
		Hedera helix				0		6,07	3	0		0		2,70	3	6,07	3	50	3	2,4	stuck	18				
		Kleinformatige Bodendecker Pflanzen				0		6,07	3	0		0				6,07	3			1,7	stuck	19				
					121840		48,56				44000		92303,6	5,86						121,25			24,6		19,43	

Tab. 4.2: WB Charakterisierung: Gabionensysteme.

WB-Charakterisierung	Komponenten	Material	Typ	Quelle	Energie/Kg (KJ)							Energie/m <sup>2</sup> (KJ)	Gewicht (Kg/m <sup>2</sup> )		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )	
					Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/km)	Quelle	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)		Quelle	(Kg/m <sup>2</sup> )	Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle	CO <sub>2</sub> e/Kg		Quelle
Gabionen	Fundament	Beton	Frostfrei gegründet		4000	5	6,07	3	0	6,07	3	84000	21,0	48	6,07	3	50		121	m <sup>3</sup>	20	0,188	53	3,95	
	Metallrahmen	Verzinkter Stahl			17300	7	6,07	3	0	3	13600	53	67400,8	3,90		6,07	3	50		23,89	m <sup>2</sup>	21	2,03	53	7,91
	Bolzen	Edelstahl			29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	584,2	0,02	3	6,07	3	50	3	8	stuck	11	6,15	53	0,12
	UV-stabiles Wasserdurchlässiges Geotextil	Polypropylen			72110		6,07	3	0		15100	53	18748,6	0,26		6,07	3	> 5		113,4	m	22	4,49	53	1,17
	Stahlgitter verzinkt	Stahl			1450	3	6,07	3	0	3	13600	53	5649,2	3,90	3	6,07	3	50		16,46	m <sup>2</sup>	23	2,89	53	11,26
	Bewässerung	Polyethylen (PE)			72110	3	6,07	3	0	3	18600	53	18748,6	0,26	3	6,07	3	7,5	3	10	m <sup>2</sup>	24	2,54	53	0,66
	Vegetation	Grünblättrige Pflanzen (z.B. Farne)			0		6,07	3	0		0					6,07	3			90	stuck	25			
	Substrat	Mineralstoffe mit organischen Stoffen					6,07	3	0		0					6,07	3								
						196180		48,56				71906,07	195131							382,75			18,288		25,07

Tab. 4.3: WB Charakterisierung: Kleine Kübel Variante 1.

WB-Charakterisierung	Komponenten	Material	Quelle	Energie/Kg (KJ)								Energie/m <sup>2</sup> (KJ)	Gewicht (Kg/m <sup>2</sup> )		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )			
				Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/Km)	Quelle	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)	Quelle		(Kg/m <sup>2</sup> )	Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle	CO <sub>2</sub> e/Kg	Quelle				
Kleine Kübel / Horizontalstrukturen	Kleine Kübel Variante 1	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020		29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	438,15	0,02	1	6,07	3	50		8	Stück	11	6,15	53	0,09		
		Module	Polypropylen Schaum hoher Dichte (EPP-HD)		70000	4	6,07	3	0	3	15100	53	288750	4,13		6,07	3	50						1,93	53	7,96	
		Halterung	Verzinkt Stahl (DX51D-Z 275)		17300	7	6,07	3	0	3	13600	53		18,37		6,07	3	50		23,9	m <sup>2</sup>	21	2,03	53	37,29		
		Bewässerungssystem	Polyethylen (PE)		72110	3	6,07	3	0	3	18600	53	18748,6	0,26	3	6,07	3	7,5		10	m <sup>2</sup>	24	2,54	53	0,66		
		Vegetation	Pflanzen (z.B. Farne)		0		6,07	3	0		0					6,07	3			90	stuck	25					
		Substrat					6,07	3	0		0					6,07	3										
						188620		36,42				58300		307937							131,89				12,65		46,00

Tab. 4.4: WB Charakterisierung: Kleine Kübel Variante 2.

WB-Charakterisierung	Komponenten	Material	Quelle Typ	Energie/Kg (KJ)								Energie/m <sup>2</sup> (KJ)	Gewicht (Kg/m <sup>2</sup> )		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )
				Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/km)	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)	Quelle	(Kg/m <sup>2</sup> )		Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle	CO <sub>2</sub> e/Kg	Quelle		
	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020		29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	438,15	0,02	1	6,07	3	50		8	stuck	11	6,15	53	0,09
Kleine Kübel / Horizontalstrukturen	Metallfassade	Edelstahl		29210	3	6,07	3	0	3	11000	53				6,07	3	50		2	stuck	11	6,15	53	0,00
		Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	53	11929,68	0,84	52	6,07	3	50		35	m <sup>2</sup>	29	12,73	53	10,71
		Stahlblech lackiert		6750	40	6,07	3	0		13600	53	43200	6,40	42	6,07	3	50		23,89	m <sup>2</sup>	42	2,03	53	12,99
	Bewässerung	Polyethylen (PE)		72110	3	6,07	3	0	3	18600	53	18748,6	0,26	3	6,07	3	7,5		10	m <sup>2</sup>	24	2,54	53	0,66
	Vegetation	Pflanzen (z.B. Farne)		0		6,07	3	0		0					6,07	3			90	stuck	25			
	Substrat					6,07	3	0		0					6,07	3								
					122245		24,28				72100		74316,4							168,89			29,6	



Tab. 4.5: WB Charakterisierung: Wandmodule Variante 1.

WB - Charakterisierung	Komponenten	Material	Quelle Typ	Energie/Kg (KJ)								Energie/m <sup>2</sup> (KJ)	Gewicht (Kg/m <sup>2</sup> )		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )
				Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/Km)	Quelle	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)	Quelle		(Kg/m <sup>2</sup> )	Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle	CO <sub>2</sub> e/Kg	Quelle	
Wandmodule / flächig	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020		29210	3	6,07	3	0	3	11000	5 3	438,1 5	0,02	3	6,07	3	50	3	8	stuck	11	6,15	53	0,09
	Alu-Rahmen	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	5 3	6336, 225	0,45		6,07	3	50		4,07	m	30	12,73	53	5,69
	Einhang-schiene	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	5 3	6336, 225	0,45		6,07	3	50		22,9	m	32	12,73	53	5,69
	Kapillarlvlies	Vlies 600 g/m <sup>2</sup>			6	6,07	3	0		6,07	3	0	0,60		6,07	3	50		3,95	m <sup>2</sup>	32	6,9	54	4,14
	Entwässerung-srinne	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	5 3	6336, 225	0,45		6,07	3	50		29	m	33	12,73	53	5,69
	Bewässerung	Polyethylen (PE)		72110	3	6,07	3	0	3	18600	5 3	18748 ,6	0,26	3	6,07	3	7,5	3	10	m <sup>2</sup>	24	2,54	53	0,66
	Pflanztopf	Recycling-Kunststoff		5636	3 7					15100	5 3	0					50		10	m <sup>2</sup>	24	3,31	53	0,00
	Fassadenkorb	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		11000	5 3	6336, 225	0,45		6,07	3	50		4,07	m	30	12,73	53	5,69
	Vegetation	Pflanzen (z.B. Farne)		0		6,07	3	0		0		0			6,07	3			90	stuck	25			
	Substrat					6,07	3	0		0		0			6,07	3								
				163656		54,63				109406,07		44531, 7							181, 99			69,82		27,65

Tab. 4.6: WB Charakterisierung: Wandmodule Variante 2.

WB - Charakterisierung	Komponenten	Material	Quelle Typ	Energie/Kg (KJ)								Energie/m <sup>2</sup> (KJ)	Gewicht (Kg/m <sup>2</sup> )		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )		
				Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/Km)	Quelle	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)	Quelle		(Kg/m <sup>2</sup> )	Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle	CO <sub>2</sub> e/Kg	Quelle			
Wandmodule / flächig	Wandmodule Variante 2	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020		29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	438,15	0,02	3	6,07	3	50	3	8	stuck	11	6,15	53	0,09	
		Gepresste Substratmatte 5mm	Mineralwolle		34600	38					6,07	55	62280	1,80	49					3,89	m <sup>2</sup>	34	1,28	53	2,30	
		TPO-Membran an der Rückseite	Thermoplastic PolyOlefin		36800	37					6,07	3	77280	2,10						13,25	m <sup>2</sup>	44	35,6	53	74,76	
		UV-beständiges und stabiles Kapillarvlies	Vlies		1890						6,07	3	1701	0,90	35					7,5	m <sup>2</sup>	35	6,9	54	6,21	
		Alu-Rahmen	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	53	6336,225	0,45		6,07	3	50		4,07	m	30	12,73	53	5,69	
		Bewässerung	Polyethylen (PE)		72110	3	6,07	3	0	3	18600	53	18748,6	0,26	3	6,07	3	7,5	3	10	m <sup>2</sup>	24	2,54	53	0,66	
		Vegetation	Kleinformatige , Bodendecker-Pflanzen		0		6,07	3	0		0		0			6,07	3			42,5	stuck	19				
						188785						47518,21		166784							89,21			65,2		89,72

Tab. 4.7: WB Charakterisierung: Wandmodule Variante 3.

WB - Charakterisierung	Komponenten	Material	Quelle Typ	Energie/Kg (KJ)								Energie/m <sup>2</sup> (KJ)	Gewicht (Kg/m <sup>2</sup> )		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )
				Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/Km)	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)	Quelle	(Kg/m <sup>2</sup> )		Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle	CO <sub>2</sub> e/Kg	Quelle		
Wandmodule / flähig	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020		29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	438,15	0,02	3	6,07	3	50	3	8	stuck	11	6,15	53	0,09
	Aluminiumrahmen	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	53	6336,225	0,45		6,07	3	50		4,07	m	30	12,73	53	5,69
	Edelstahlmodule	Edelstahl		29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	70104	2,40	50	6,07	3	50		2	stuck	11	6,15	53	14,76
	Alu-Rahmen	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	53	6336,225	0,45		6,07	3	50		4,07	m	30	6,15	53	2,75
	Bewässerungssystem	Polyethylen (PE)		72110	3	6,07	3	0	3	18600	53	18748,6	0,26	3	6,07	3	7,5	3	10	m <sup>2</sup>	24	2,54	53	0,66
	Vegetation	Kleinformatige, Bodendecker Pflanzen		0		6,07	3	0		0		0			6,07	3			42,5	stuck	19			
	Substrat	Humoses mit Styroporbeimischungen										0							0,88	kg	43			
					158880		30,35				76400		101963							71,52			33,72	

Tab. 4.8: WB Charakterisierung: Wandmodule Variante 4.

WB - Charakterisierung	Komponenten	Material	Quelle Typ	Energie/Kg (KJ)								Energie/m <sup>2</sup> (KJ)	Gewicht (Kg/m <sup>2</sup> )		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )	
				Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/Km)	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)	Quelle	(Kg/m <sup>2</sup> )		Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle	CO <sub>2</sub> /Kg	Quelle			
Wandmodule / flächig	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020		29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	438,15	0,02	3	6,1	3	50	3	8	Stück	11	6,2	53	0,1	
	Metallboxen	Stahlblech beschichtet		6750	40					13600	53	43200	6,40	42			50		23,9	m <sup>2</sup>	42	3,3	53	20,9	
	Gepresste Substratmatte	Mineralwolle		34600	38					6,07	55	62280	1,80	49					3,9	m <sup>2</sup>	34	1,3	53	2,3	
	Alu-Rahmen	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	53	6336,225	0,45		6,1	3	50		4,1	m	30	12,7	53	5,7	
	UV Stabile Wasserdurchlässiges Geotextil	Polypropylen		72110		6,07	3	0		15100	53	18748,6	0,26		6,1	3	>5		113,4	m	22	4,5	53	1,2	
	Vegetation	Kleinformatige, Bodendecker Pflanzen		0		6,07	3	0		0		0			6,1	3			42,5	stuck	19				
	Bewässerung	Polyethylen (PE)		72110	3	6,07	3	0	3	18600	53	18748,6	0,26	3	6,1	3	7,5	3	10	m <sup>2</sup>	24	2,5	53	0,7	
					228955					76206,07		149752								205,75			30,5		30,8

Tab. 4.9: WB Charakterisierung: Wandmodule Variante 5.

WB - Charakterisierung	Komponenten	Material	Quelle Type	Energie/Kg (KJ)							Energie/m <sup>2</sup> (KJ)	Gewicht (Kg/m <sup>2</sup> )		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )			
				Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/km)	Quelle	Pflege (KJ)	Quelle	Wiederverwendung (KJ)		Quelle	(Kg/m <sup>2</sup> )	Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Quelle	CO <sub>2</sub> e/Kg		Quelle		
Wandmodule / flächig	Wandmodule Variante 5	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020		29210	3	6,07	3	0	3	11000	53	438,2	0,02	3	6,07	3	50	3	8	Stück	11	6,15	53	0,1	
		Metallprofilplatte	Stahl		10500	4	6,07	3	0		13600	53	78750	7,50	4 5	6,07	3	50		15,5	m <sup>2</sup>	45	2,89	53	21,7	
		Gepresste Substratmatte	Mineralwolle		34600	38					6,07	55	62280	1,80	4 9					3,89	m <sup>2</sup>	34	1,28	53	2,3	
		Alu-Rahmen	Aluminium		14175	4	6,07	3	0		17900	53	6336,2	0,45		6,07	3	50		4,07	m <sup>2</sup>	30	12,73	53	5,7	
		Vegetation	Kleinformatige, Bodendecker Pflanzen		0		6,07	3	0		0		0			6,07	3			42,5	Stück	19				
		Bewässerung	Polyethylen (PE)		72110	3	6,07	3	0	3	18600	53	18748,6	0,26	3	6,07	3	7,5	3	10	m <sup>2</sup>	24	2,54	53	0,7	
						160595						61106,07		166553							83,96			25,59		30,4

Tab. 4.10: WB Charakterisierung: Geovlies.

WB - Charakterisierung	Komponenten	Material	Typ	Quelle	Energie/Kg (KJ)						Energie/m² (KJ)	Gewicht (Kg/m2)		Strecken (km)		Haltbarkeit		Preis (Euro)			Embodied Kohlenstoff (Kg)		Embodied Kohlenstoff/m² (g/m²)			
					Herstellung (KJ)	Quelle	Konstruktion (KJ/Km)	Quelle	Pflege (KJ)	Quelle		Wiederverwendung (KJ)	Quelle	(Kg/m2)	Quelle	(KJ/km)	Quelle	(Jahre)	Quelle	Preis (Euro)	Einheit	Literaturquelle		CO₂e/Kg	Quelle	
Geovlies	Bolzen	Edelstahl nach EN 10020			29210	3	6,07	3	0		11000	53	438,15	0,02	3	6,07	3	50	3	8	stuck	11	6,15	53	0,1	
	Substrat	Aquanappe -			1890		6,07	3	0		6,07	3	1701	0,90	2	6,07	3			6,98	m	2	6,9	54	6,2	
	Support-Aluminium-Verbundplatte	AL-PE			2781	3 9					7190	53	21135,6	7,60	51					16,2	m²	36	3,31	53	25,2	
	Support - Recycling	PE -			72110	3	6,07	3	0	3	7190	53	18748,6	0,26	3	6,07	3	7,5	3	10	m²	24	3,31	53	0,9	
	Support für die Aluminium-Verbundplatte	Holz	Sägerauh, Tanim-buca TSC holz			5000	4	6,07	3	0	8	330	53	0			6,07	3			7,62	m	14	6,15	53	
		Metallrahmen Aluminium				14175	4	6,07	3	0		17900	3	6336,225	0,45		6,07	3	50		4,07	m	30	12,73	53	5,7
	Bewässerung	Polyethylen (PE)				72110	3	6,07	3	0	3	18600	3	18748,6	0,26	3	6,07	3	7,5	3	10	m²	24	2,54	53	0,7
	Vegetation	Kleinformatige, Bodendecker Pflanzen				0		6,07	3	0		0		0			6,07	3			42,5	stuck	19			
						197276		42,5				62216,1		67108,2							105			41		38,7



Abb. 4.2: Herstellung Energieverbrauch für alle Beispiele, für ein kg in KJ.

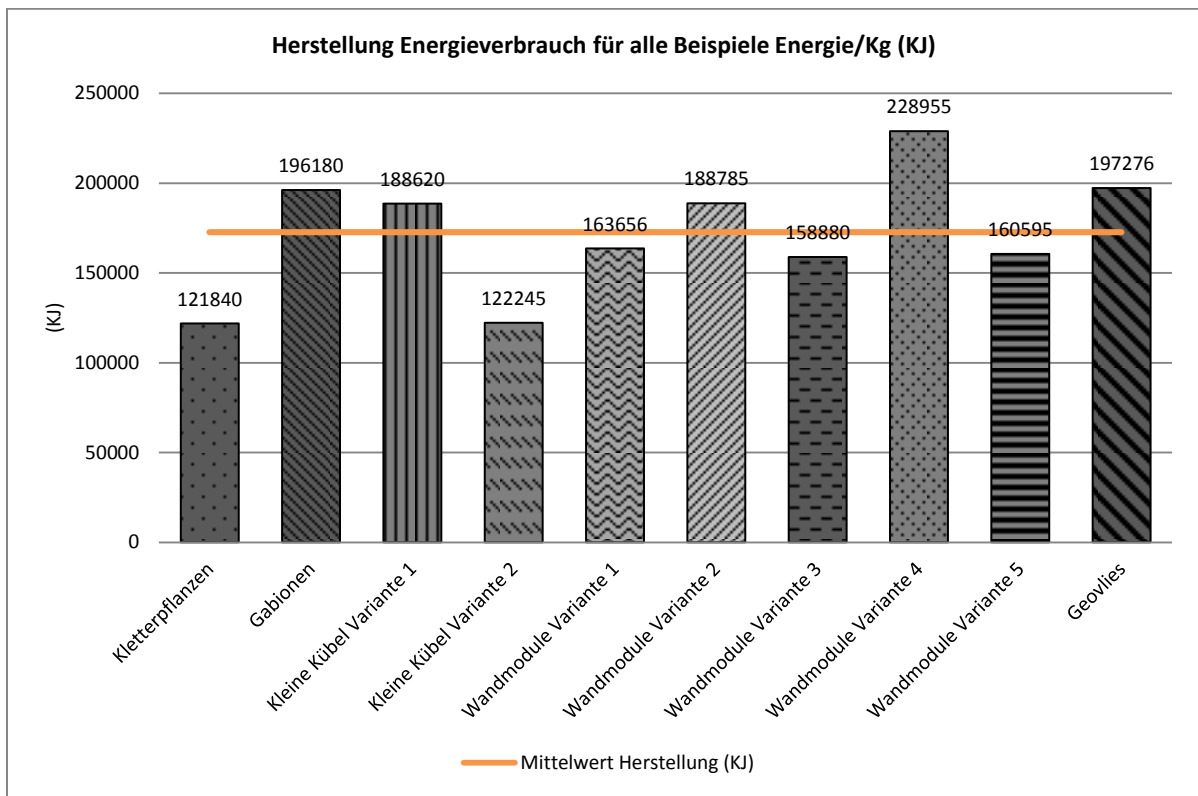


Abb. 4.3: Energiebedarf für die Herstellung eines Quadratmeters der WB in KJ/m².

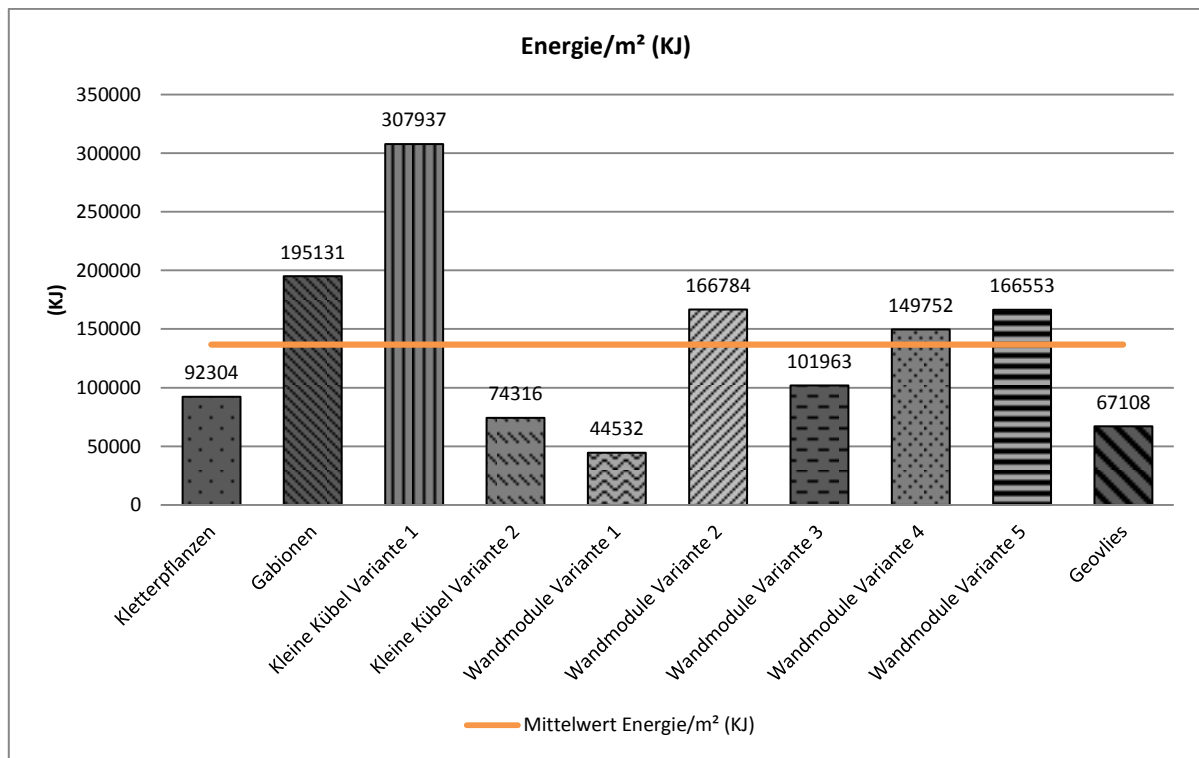


Abb. 4.4: Energie als gebundener Kohlenstoff (Embodied Carbon CO<sub>2</sub>e/Kg).

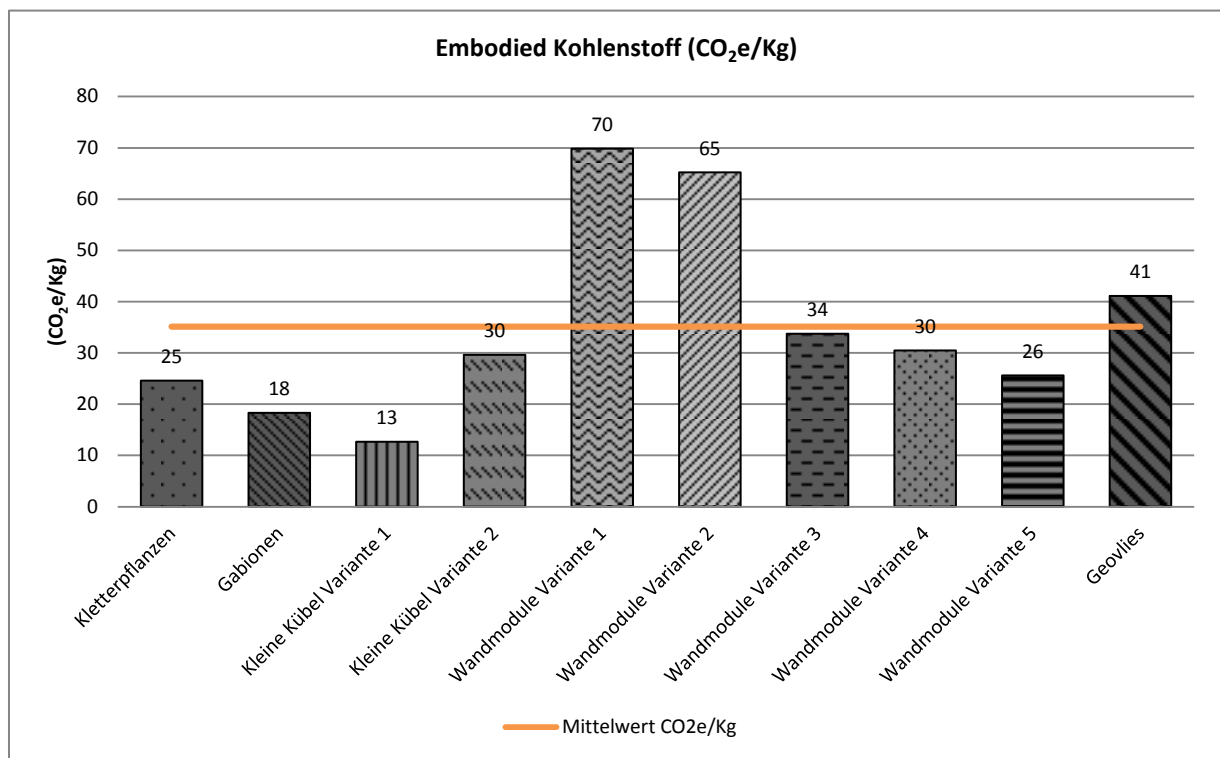


Abb. 4.5: Gebundener Kohlenstoff /m<sup>2</sup>, Embodied Carbon/m<sup>2</sup> (g/m<sup>2</sup>).

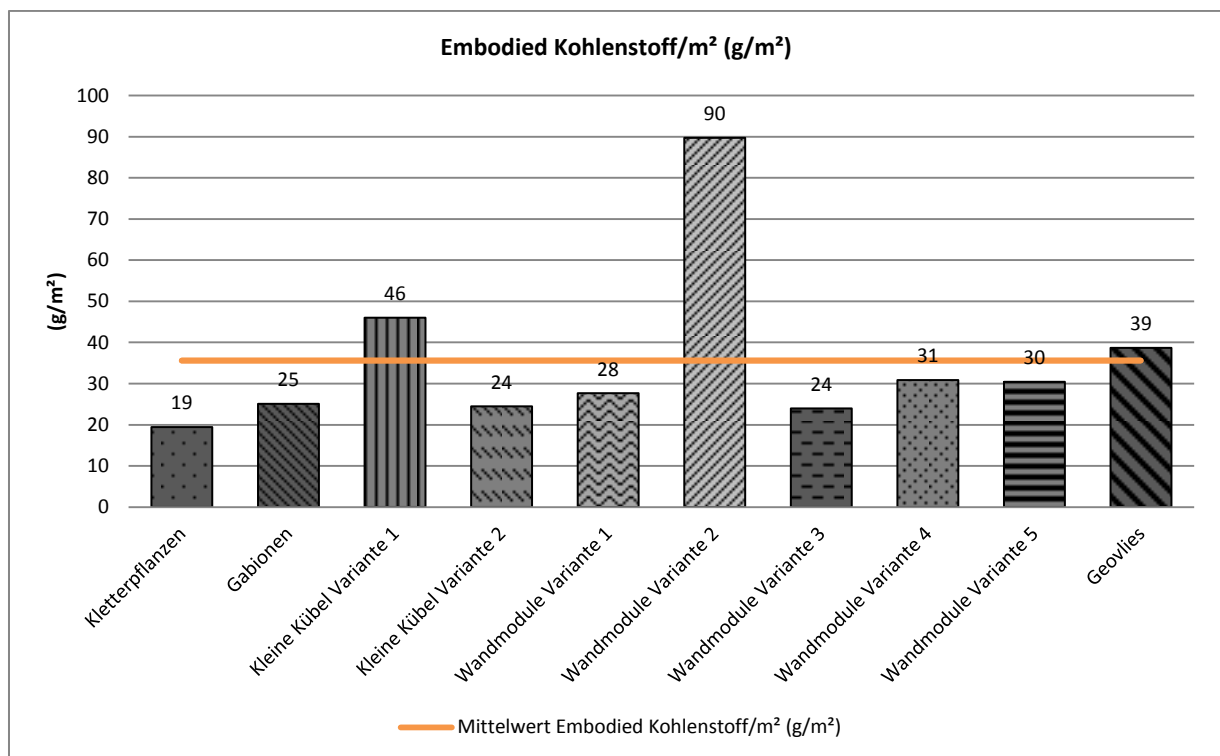


Abb. 4.6: Preis für alle WB Beispiele.

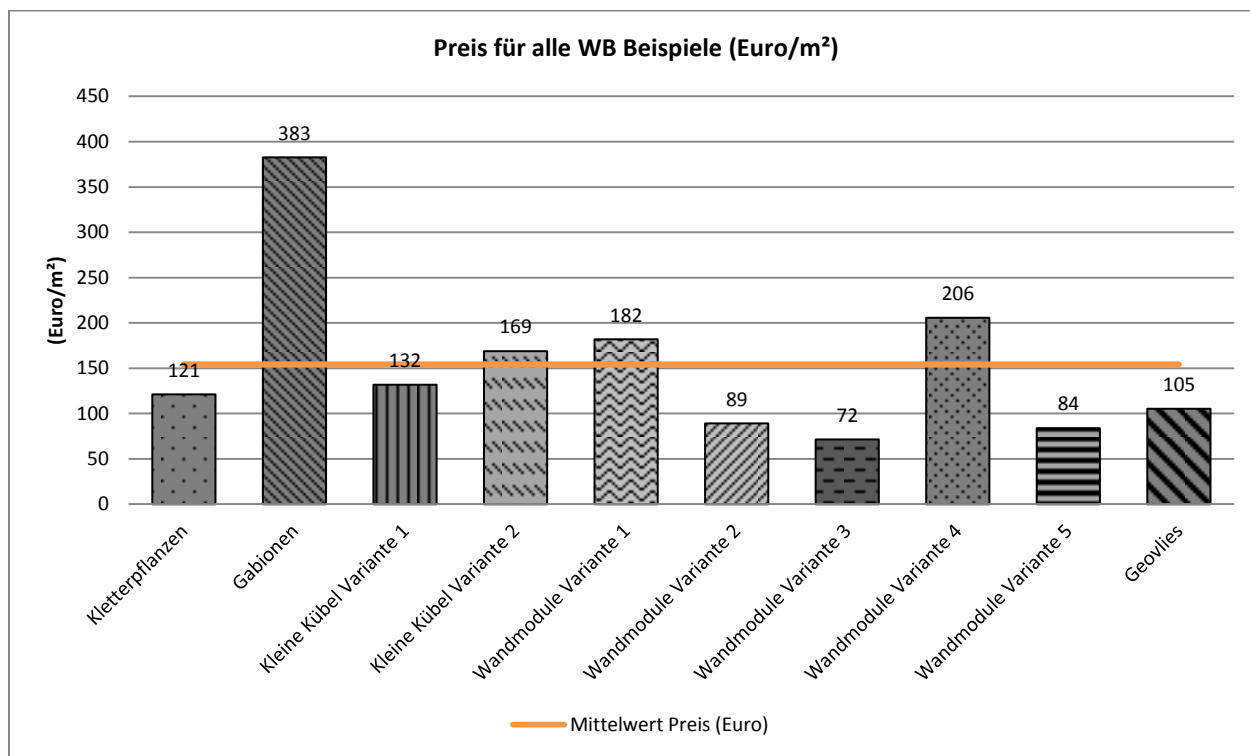
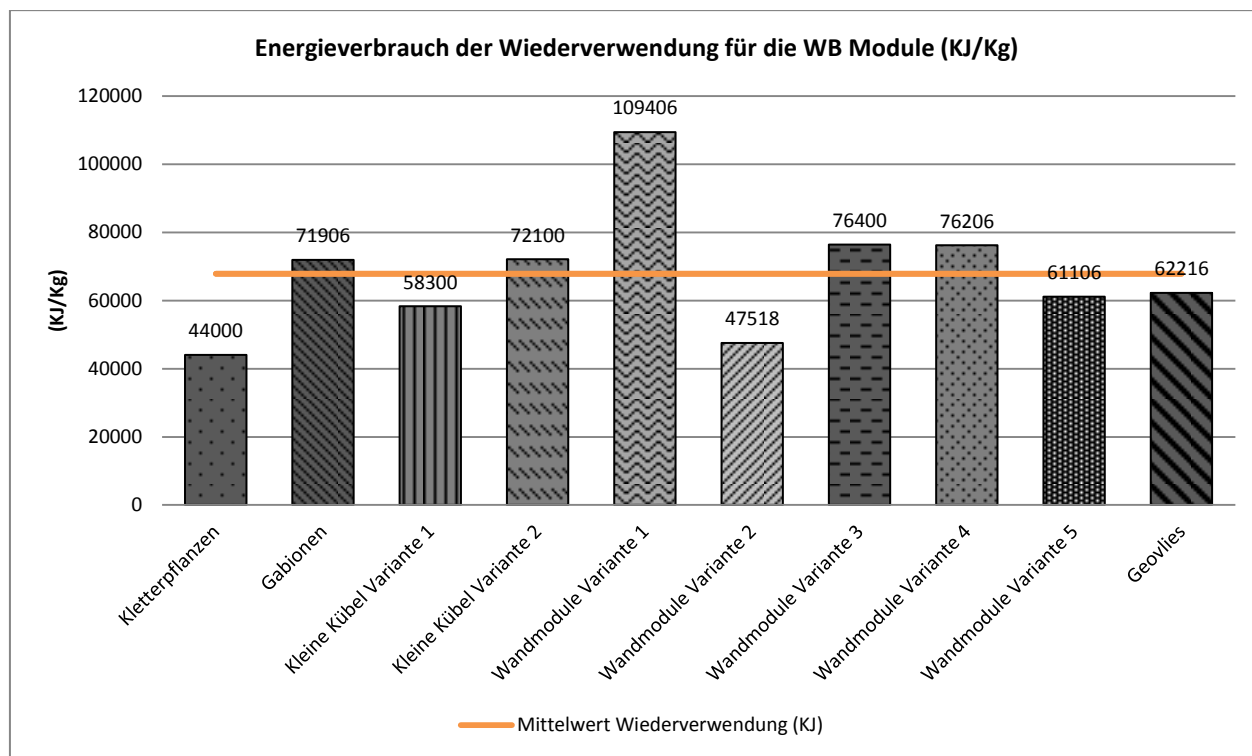


Abb. 4.7: Wiederverwendung (KJ/Kg), Energieverbrauch für alle Beispiele beim Recycling.



In den Tabellen 4.1 bis 4.10 sind die Ergebnisse der Recherche zur LCA zusammengetragen. Hieraus sind die Abbildungen 4.2 – 4.7 entwickelt worden. Die eingefügte Mittelwertlinie in den Abbildungen erlaubt eine schnelle visuelle Einschätzung zu jedem Bauprinzip der WB. Die Kletterpflanzenbegrünung ist in allen Kategorien die Variante mit dem niedrigsten Materialinput. Die Tab. 4.1 eröffnet diese Kennwerttabellen. Kletterpflanzenbegrünung wie Blauregen (Wisteria, siehe Abb 5.58) benötigen ausschließlich dauerhafte Boden- und Wandanker. Sie wurzeln direkt im angrenzenden Boden. Für die Wandbefestigung sind hochwertige Stähle oder GFK besonders geeignet. Die hierzu ausgewerteten Detailskizzen stammen aus Köhler et al. (2012). In den Folgetabellen sind die energetischen Aufstellungen gemäß der Beschreibung der Wandbegrünung aus Kap. 3 verwendet.

Als Erläuterung zu den Abbildungen: In der Abb. 4.2 ist die Energie genannt, die jede einzelne Komponente aufgeführt. Der höchste Energiebedarf für die Herstellung einer WB wird aktuell für die Variante 4 mit (228955 KJ), die geringste für die Kübel-Variante 2 mit (122245 KJ) benötigt, die etwa in der Größenordnung der Kletterpflanzenbegrünung liegt.

In der Abb. 4.3 ist der Energiebedarf genannt, um einen Quadratmeter der jeweiligen WB zu produzieren. Die Ergebnisse sind in KJ/m<sup>2</sup> angegeben. Der geringste Energiebedarf steckt in dem Wandmodul Variante 1 mit 44532 KJ/m<sup>2</sup>.

In der Abb. 4.4 sind die eingeschlossenen Kohlenstoffwerte als CO<sub>2</sub>-Equivalent berechnet (CO<sub>2</sub>e/Kg). Mit dieser Einheit sind alle C-Komponenten in einem vergleichbaren Wert überführt (Brander u. Davis, 2012). Im deutschsprachigen Raum wird dieser Wert auch als CO<sub>2</sub>-Fußabdruck bezeichnet. Die Diskussion um diesen Wert ist noch nicht abgeschlossen, bietet aber eine gute Vergleichbarkeit unterschiedlicher Materialien. Hierzu gibt es aktuell die Vornorm ISO TS 14067 2013. Mit diesem Summenwert lassen sich menschliche Aktivitäten und Materialien vergleichend beurteilen lässt. Diesen Definitionen folgend, ist der höchste CO<sub>2</sub>e/Kg Wert bei der WB Variante 1 mit 69,8 CO<sub>2</sub>e/Kg zu verzeichnen, den geringsten Wert hat die Variante „Kleine Kübel Variante 1“ mit 12,7 CO<sub>2</sub>e/Kg.

Die Abb. 4.5 zeigt den gebundenen Kohlenstoff-Wert für einen Quadratmeter (g/m<sup>2</sup>) WB. Die Bandbreite liegt zwischen 89,7 g/m<sup>2</sup> als höchstem Wert für die Variante 2 und mit 19,4 g/m<sup>2</sup> bei der Variante mit den Kletterpflanzen.

In der Abb. 4.6 sind die Materialkosten der Einzelkomponenten analysiert und aufsummiert, es sind nicht die Kosten, für die die jeweilige WB auf dem Markt angeboten wird. Vom Materialeinsatz ist die WB Variante 3 mit ca. 72 €/m<sup>2</sup> reinen Materialkosten sehr niedrig. Die Gabionen-WB liegen mit Materialkosten bei ca. 383 €/m<sup>2</sup> am oberen Ende bei dieser Skala.

Die letzte Abbildung 4.7 benennt den energetischen Bedarf bei der Aufbereitung/Wiederverwendung der Module. Die Variante der Wandmodule 1 haben den höchsten Energiebedarf 109407 KJ/Kg beim Recycling, den geringsten Wert haben die Kletterpflanzenkonstruktionen mit 44000 KJ(kg).

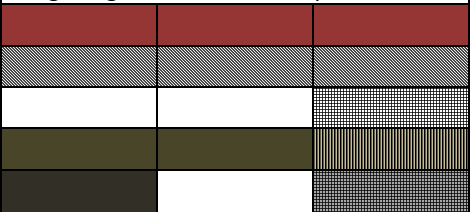
Die genannten Faktoren können eine Entscheidungshilfe bei der Auswahl von WB sein. Dieses Argument hat in den letzten Jahren im Rahmen der Diskussion um nachhaltiges Bauen zukünftig an Bedeutung gewonnen. Entsprechende Einsparungen beim Materialeinsatz müssen in jedem Einzelprojekt mit den erzielbaren ökologischen Vorteilen der Varianten abgewogen werden. Das Ergebnis solch einer LCA muss im Einzelfall gegenüber den zu erwartenden ökologischen Vorteilen, wie in Kap. 3.1. S. 85 für eine endgültige Entscheidung abgewogen werden.

## **5 Entwicklung eines Entscheidungsbaumes für WB**

## 5 Entwicklung eines Entscheidungsbaumes für WB

Grundsätzlich können alle Bauformen begrünt werden. Die Entscheidung für eine Begrünungsart hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Das nachfolgende Kapitel beleuchtet die Entscheidungsfindung aus mehreren Blickwinkeln. In Abb. 5.1 sind unterschiedliche Wandaufbauten schematisiert. WB kann eine Alternative zu anderen hochwertigen Außenschichten an Baukörpern sein. Eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Gewerken ist bei der Detailfindung unerlässlich, um alle Funktionen in gewünschter Form langfristig sicherzustellen.

Abb. 5.1: Wandaufbau und Entscheidung für eine Begrünungsweise.

<p><b>Drei schematische Wandaufbauten</b> von Außen nach Innen. Braun: Außen, sie kann im Idealfall durch die WB ersetzt werden. Dämmlagen und tragende Schichten sind hinsichtlich der Verankerungsmöglichkeit für WB zu prüfen.</p> 	<b>WB-Auswahl</b>	
	0 Kletterpflanzen	
	1 Gabionentyp	
	2 Kleine Kübel, horizontal	
	3 Vertikalmodule flächig	
	4 Geovliese	

Tab. 5.1: Kurzübersicht der Vor- und Nachteile der Begrünungsauswahl.

Auswahl	Besonders geeignet für folgende Pflanzengruppen:	Häufigkeit der Bewässerung im Sommer:	Vorteile	Nachteile
Kletterpflanzen, bodengebunden	Ausdauernde Lianen, Schling- oder Kletterpflanzen.	In der Regel keine Bewässerung nötig, wenn mit Bodenanschluss gepflanzt.	Seit Jahrzehnten liegen Erfahrungen hiermit vor.	Nur eingeschränkte Pflanzenauswahl.
Gabionentyp	Alle botanischen Formen der Pflanzen möglich, mittlere Wüchsigkeit bevorzugt.	Regelmäßig, nicht täglich, häufig genügte einmal die Woche.	Robust, meist freistehend vor dem Gebäude.	Hohes Gewicht, Nachpflanzungen schwierig, eher für kleine und Mittlere Wandgrößen.
Kleine Kübel, horizontal	Stauden, kleinwüchsige Gehölze.	Täglich.	Nachpflanzungen sind leicht zu realisieren.	Metallvarianten können im Winter leicht durchfrieren.
Vertikalmodule, flächig	Stauden, kleinwüchsige Gehölze, Moose.	Mehrmals täglich.	Meist gute Austauschbarkeit einzelner Module.	Gleichmäßige Wasserverteilung wird nicht immer erreicht.
Geovliese	Moose, Stauden, kleinwüchsige Gehölze.	Mehrmals täglich.	Leichte Konstruktion.	Empfindlich gegenüber Frost.



Mit WB können Gebäude in unverwechselbare Bauikonen umgewandelt werden. Die Bauaufgabe ist einerseits von Außen nach Innen zu entwickeln, mit Beantwortung der Frage, welches Erscheinungsbild gewünscht ist. Hier hat der Pflanzenfachmann und Wandbegrüner Möglichkeiten und Grenzen aufzuzeigen. Gleichzeitig wird die Nutzung des Gebäudes durch den Architekten und die Bautechniker von Innen nach Außen entwickelt. Bei diesen gegenläufigen Betrachtungen können gemeinsame Herausforderungen zu kreativen Lösungen führen.

Die Tab. 5.1 nennt für die zur Verfügung stehende Auswahl die Vor- und Nachteile. Die Tragfähigkeit der Wände ist ein wesentliches Auswahlkriterium. Grundsätzlich sind mit allen Varianten auch freie Begrünungsformen möglich. Technische Möglichkeiten und Designwünsche sind abzustimmen.

Es ist zu erwarten, dass auch die WB zukünftig eine Zulassung als Gesamtbaulement ähnlich der jetzt vorhandenen Zulassungen der Dachbegrünungen „DIBT Kits for Green roofs“ nach EU Normen CE ETA-13/0668 benötigen. Das wird die Planungssicherheit für die Entscheider weiter erhöhen. Die nachfolgende Tab 5.2 geht von den Anforderungen an WB aus und nennt die jeweils empfehlenswerten Bauweisen der WB.

Tab. 5.2: Checkliste, Anforderungen an WB.

Anforderungen	Beschreibung	Anforderung	Vorzugsweise WB
1: Flächenwirkung	Akzentsetzung an der Wand	Punktuelle Verankerung	Gabionentyp, Wandmodule
	Flächige Begrünung	Flächige Verankerung	Geovliese, Wandmodule
	Freie - organische Gestaltungsform	Flächige Verankerung	Geovliese
2: Gewicht	Welche zusätzliche Last ist an der Wand zulässig, Flächen- oder Punktlasten	Hohe Lastreserven	Gabionentyp
		Geringe Lastreserven	Geovliese
3: Pflanzenwirkung	Saisonale Bepflanzung	Gute Austauschbarkeit der Pflanzen	Horizontalkübel
	Dauerhafte Bepflanzung	Gute Verankerung der Pflanzen im Substrat	In allen WB möglich
4: Einfach zu bedienende Bewässerung	Robuste, langlebige Bewässerungssteuerung, einfache Programmierung. Gesicherte regelmäßige Überwachung, entweder durch Vor-Ort Betreuung oder Fernüberwachung	-Robuste, sekundengenau programmierbare Ventile, -Verdeckt eingebaute, wartungsarme Bewässerungsleitungen	Gilt für alle, Gabionentyp geringste Bewässerungsfrequenz
5: Erreichbarkeit zur Pflege	Arbeitssicherheit	Standsichere Arbeit in geringer Entfernung	Für alle WB zwingende Voraussetzung
6: Gute winterliche Wirkung	Harmonische Anpassung an die bestehende Architektur	Trägermodule müssen auch ohne Bepflanzung gut wirken	Oberflächenstruktur mit Metalloptik, Horizontalgefäße im Metall
	Flächeneffekt durch winterliches Pflanzbild	Mehrere Möglichkeiten: -Saisonaler Wechselflor, - Moosteppich, -geeignete immergrüne Bodendecker, -immergrüne Akzentpflanzen	In allen WB möglich
7: Ausschluss zusätzlicher Brandlasten	Auswahl nicht brennbarer Materialien	-Nicht brennbare Module, - Substratwahl, -dauerhaft funktionsfähige Bewässerung, -Richtige Pflanzenwahl	Vorzugsweise Metallbasierte WB mit abgesicherter Pflege
8: Substratwahl	Dauerhaftigkeit	Formstabilität Flächig gleichmäßige Durchfeuchtung, gute Durchwurzelbarkeit	In allen WB möglich
9: Sonstige Fakten	Frei von Schimmelbildung	Richtige Bewässerung, Belüftung	In allen WB möglich

## 5.1 Kosten/Lebensdauer

Ungeachtet der Faszination von WB, ist die Frage nach den Kosten von WB ein wichtiges Entscheidungskriterium. Im Rahmen der Arbeit wurde eine Recherche bei entsprechenden Marktanbietern eingeholt. Die Verkaufspreise liegen entsprechend über den in Kap. 4 ausschließlich verwendeten Materialpreisen. In diesem bisher kleinen, aber wachsenden Marktsegment ist viel Dynamik. Am Beispiel der Tab. 5.4 und Abb. 5.2 sind Kosten für die erforderliche Bewässerungssteuerung genannt. Die Bewässerungsanlagen sind ein Grund für große Unterschiede bei den Varianten. Obwohl die Kosten mit der Projektgröße fallen, sind Faustwerte zur Erstkalkulation auf der Basis eines Quadratmeters eine häufig gestellte Frage. Die ermittelten Angaben sind als Streubreite in der Abb. 5.6 aufgetragen. Der Kostenrahmen variiert entsprechend der Anforderungen, Größe und Lage zwischen im Minimum mit etwa 300€/m<sup>2</sup> und im Maximum bis zu 2000€/m<sup>2</sup> für sehr ausgefallene Projekte. Als Beispiel einer hochpreisigen Variante bietet das Foto Abb. 5.4 einen Eindruck. Die typischen Investitionskosten liegen eher zwischen 500 und etwa 1000€/m<sup>2</sup>. Für die Einfügung einer Mittelwertlinie als Durchschnittspreis in Abb. 5.6 erschien es den Autoren aktuell noch zu früh.

Die Kosten bei einer WB als Ganzes, sind nur seriös abschätzbar, wenn die Anfangsinvestition mit den regelmäßig anfallenden Kosten verknüpft wird. Dazu liefert die Tab. 5.3 Anhaltspunkte.

Tab. 5.3: Durchschnittliche Haltbarkeit von WB – Bauteilen.

Haltbarkeit:	Bauteile
Langfristig haltbar: 5-10-25-45 Jahre	Tragende Konstruktionsteile, Rahmen
Regelmäßiger Austausch, Wartungsintervalle etwa alle fünf Jahre -	Bewässerungssteuerung, Magnetventile,
Kurzfristige Haltbarkeit – Pflege – mehrmals jährlich	Pflege von Pflanzenarten, je nach Auswahl mehrmals im Jahr – bis selten.

Die Erstinvestition schließt folgende Kosten ein:

- Dauerhafte Unterkonstruktion,
- Austauschbare Pflanzelemente,
- Austauschbare Bewässerungselemente,
- Erstbepflanzung: Faustwert: 30 Stauden (Stück/ pro Quadratmeter).

Für die Betriebsdauer sollten geregelt sein:

- Tägliche visuelle Inspektion,
- Wöchentliche einfache Sichtprüfung auf grobe Auffälligkeiten,
- Regelmäßige Pflege der Bepflanzung (zwischen einem Mal und im Durchschnitt 3-4x pro Jahr. Ohne Pflege geht es nicht. Ein Pflegegang ist mindestens erforderlich. Bei aufwändigen Bepflanzungen sind vier und mehr angeraten.
- Nachpflanzungen: Je nach Bauweise ist hier die Bandbreite von „fast keiner Nachpflanzung“ bis hin zu etwa 1/3. Etwa 10 Pflanzen pro Quadratmeter sind noch als typisch und nicht als Ausfall zu verbuchen.
- Rückschnitt, Entfernen von totem Pflanzmaterial und gärtnerische Arbeiten.
- Wartung, Austausch der druckkompensierten Bewässerungsschläuche, je nach WB nach 2-5 Jahren,
- Austausch, Instandsetzung nach mittlerer Nutzungsdauer von 5, 10, 25 oder 45 Jahren. Kriterium von voller Recycelfähigkeit oder Nachnutzung, etwa nach den Cradle2Cradle (<http://www.c2ccertified.org/>) Prinzipien oder verwandten Anforderungen auszulegen. Diese Kriterien sind in der Entscheidungstabelle 5.7 zur Kostenermittlung als Entscheidungsschritt genannt.

### 5.1.1 Kosten der Bewässerungsanlagen bei WB

In der Tab. 5.4 wird für drei Größenklassen von WB mit 1, 10, 100 und 1000 m<sup>2</sup> der Bedarf an der erforderlichen Infrastruktur für die Bewässerungssteuerung aus eigenen Projekterfahrungen und aus der Recherche bei Anbietern ermittelt. Die Kosten entstehen für Magnetventile, deren Anzahl nicht proportional mit der Flächengröße wächst. Die Kosten zwischen hochwertigen und dauerhaften Magnetventilen, die für WB dringend zu empfehlen sind und den preisgünstigen, die aber im Schadensfall ein ganzes Projekt in Frage stellen können, nur marginal unterschiedlich.

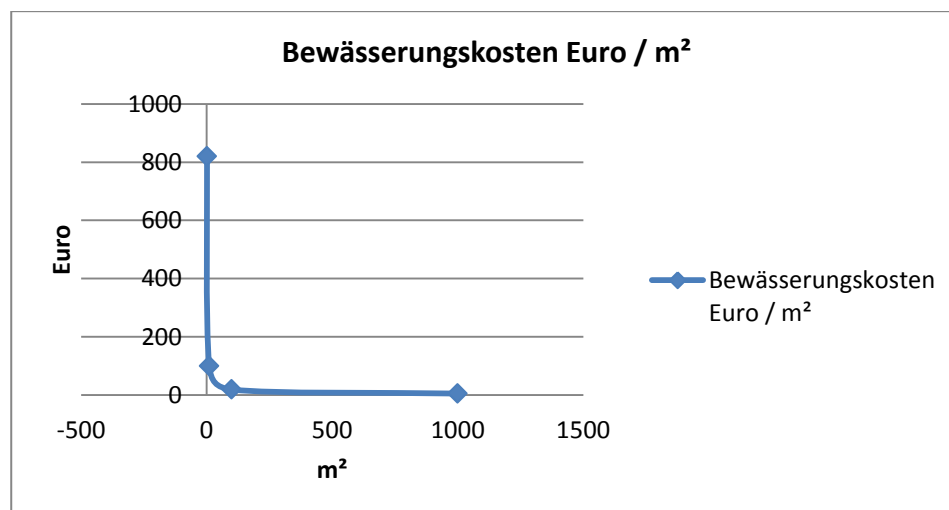
Tab. 5.4: Kosten für die automatisierte Bewässerungssteuerung in Abhängigkeit von der Größe der Begrünung – vereinfacht, n= Anzahl, K= Kosten in €.

Größe	Magnetventil		Rücklauf-Verhinderer		Druckregulator		Filter		Düngerbeimischer		Steuer-einheiten		Verbrauchsmaterial		Bewässerungskosten (€/m <sup>2</sup> )
	m <sup>2</sup>	n	K	n	K	n	K	n	K	n	K	n	K	Verbrauchsmaterial/m <sup>2</sup>	
1	2	80	1	30	1	30	1	30	1	600	1	40	10	820	820
10	3	120	1	60	1	40	1	40	1	600	1	60	8	1000	100
100	5	200	1	150	1	100	1	100	1	600	1	250	5	1900	19
1000	20	800	1	300	1	200	1	250	2	600	1	1000	2	5150	5,15

Es ist jeweils nur eine Steuerungseinheit, allerdings mit modifizierter Ausstattung erforderlich. Generelle Bauteile, wie Rücklaufschutz, Druckregulatoren und Düngerbeimischer sind auch bei wachsender Größe jeweils nur einmal pro Projekt notwendig. Auch die Kosten für Verbrauchsmaterialien beim Aufbau der Bewässerung, wie Schläuche, Verteiler, Düsen wächst bei zunehmender Größe nur unwesentlich. Diese Angaben lassen sich in einer beeindruckenden Flächen-Kostengraphik (Abb. 5.2) zusammenführen. Diese relativ gering ansteigenden Kosten sind ein gutes Argument für Projekte mit mehr begrünter Fläche.

Je nach Wasserhärte ist bei kalkhaltigem Wasser ein frühzeitigerer Austausch von Bewässerungsbauteilen erforderlich. Für eine WB wird der Anschluss an Regenwasserzisternen empfohlen. Diese Kosten sind hier nicht mit berücksichtigt.

Abb. 5.2: Kosten der automatischen Bewässerung (€/m<sup>2</sup>) in Abhängigkeit zur Größe der WB in m<sup>2</sup>.



## 5.2 Erreichbarkeit der WB für Pflege und Wartung

Voraussetzung für die erforderliche gärtnerische Pflege und technische Wartung der WB ist die sichere Erreichbarkeit der begrünten Flächen sowie der dahinter liegenden Bewässerungsleitungen und Befestigungen. Leitern kommen nur für kleine Objekte in Frage. Mobile Arbeitsbühnen bedeuten immer hohen Aufwand für Aufstellgenehmigungen und Sperrungen im angrenzenden Straßenraum, was zusätzliche und regelmäßige Kosten verursacht. Auf die Nutzungsdauer des Gebäudes bezogen sind diese zeitweise nutzbaren Arbeitshilfen nicht preisgünstiger, als gebäudeintegrierte Aufstiegsmöglichkeiten. Bewährt haben sich fest installierte Laufstege vor den Fassaden, die gleichzeitig als Teil des Befestigungssystems der WB in die Fassade integriert sind. Die Praxis zeigt allerdings häufig, dass derartige Laufstege zu weit auseinander liegen und dann noch zusätzlich mobile Leitern erforderlich werden, die ein weiteres Sicherheitsrisiko beinhalten.

Beste Lösungen bieten gebäudeintegrierte Fahrgondeln, die gleichzeitig für das Putzen der Fenster als auch für die Inspektion der WB genutzt werden können. Bei voluminös wachsenden Begrünungen ist hier ein Abstand einzuhalten, der die endgültige Wuchsausdehnung der WB berücksichtigt und den Betrieb der Gondeln langfristig störungsfrei ermöglicht. Der hier Planungsaufwand „Erreichbarkeit der Wandbegrünung“ ist eine Fassadenbau-Architektenleistung, die für den späteren Erfolg der Begrünung von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Baukletterer, die sich spektakulär abseilen, können für zusätzliche Installationsarbeiten erforderlich werden. Es ist aber schwierig, so die Wand flächig überall gleich gut erreichen zu können. Die damit verbundenen Kosten und die temporären Sicherheitsmaßnahmen können die Kosten der erforderlichen gärtnerischen Arbeitsleistung deutlich übersteigen. Es ist ein Idealfall, wenn der Gerüstkletterer auch gleichzeitig versierter Gärtner ist.

Abb. 5.3: Gerüstkletterer bei der Installation einer Wandbegrünung in Paris (Oktober, 2013, Foto von F.Lassalle,Vivagreen).





## 5.3 Pflege

Ein Musterleistungsverzeichnis für die Pflege von WB gibt es bisher noch nicht. Die Sicherung der Erreichbarkeit der vertikalen Gärtnerflächen überlagert in Zeitaufwand und Kosten häufig die eigentlichen gärtnerischen Arbeitskosten. Diese müssen als erforderliche „Rüstzeiten“ am jeweiligen Objekt definiert werden. Einsparungen wären durch die im vorherigen Punkt beschriebenen Fassadengondeln an der Fassade möglich und können sonst regelmäßig wiederkehrende Kosten reduzieren.

Die üblichen Rüstzeiten pro Pflegegang (Anreise, Vorbereitung) sind weitgehend unabhängig von der Größe der Begrünung und fallen regelmäßig an. Auch das spricht für eine Mindestgröße von WB. Die Basiszahlen der Kostenkalkulation resultieren aus der Entfernung zur Baustelle. Ist die Arbeit ausschließlich von einer Spezialfirma durchführbar, ist eine höhere Anfahrtspauschale unerlässlich. Folgende eigene Erfahrungen mit Pflegekosten an Fassaden standen zur Verfügung:

### **Bodengebundene Begrünung mit Wisteria an der HS Neubrandenburg**

Die Kosten für die ca. 650 m<sup>2</sup> große Begrünung der Südfassade der Hochschule NB, Lehrgebäude 3 kommt ohne Bewässerung aus. Die maximal zweimal im Jahr ausgeführten Schnitt- und Bindearbeiten werden über die fest montierten Laufstege vor der Fassade realisiert. Die tatsächlichen Pflegegänge beschränken sich umgerechnet auf wenige Minuten pro m<sup>2</sup>. Diese sind mit einem Jahresvertrag von jährlich ca. 2 €/m<sup>2</sup> mit einer Fachfirma abgesichert. Es handelt sich nur um eine Pflanzenart, das macht die Arbeit einfach. Die Kletterhilfen sind massive Vollprofil-Edelstahlstangen, die sich zwar unter Belastung etwas biegen, aber keine weitere Wartung benötigen.

### **Pflege- und Wartungskosten: Großflächige Kübelbegrünung mit Kletterpflanzen und Unterpflanzung mit Stauden bei automatisierter Bewässerung.**

Im Bericht Reichmann et al. (2010) ist für die 153 wandgebundenen Pflanzkübel am Physikgebäude der HU Berlin in Berlin-Adlershof eine Abschätzung aus den realen Pflege- und Wartungsarbeiten abgeleitet worden. Besonderheit dieses Objektes ist es, das sich diese Pflanzkübel auf 5 Höfe über drei Stockwerke verteilen. Die meisten sind gut über feste Laufkonstruktionen erreichbar. In jedem dieser Kübel wachsen zwei Kletterpflanzen, zusätzlich kommen noch ebenerdig etwa 40 Kletterpflanzen, die ebenfalls gepflegt werden müssen. Pauschal geht es hier etwa um 1000m<sup>2</sup> Vertikalgartenfläche.

Für dieses Objekt sind vier Termine veranschlagt, der im April mit der Inbetriebnahme der Bewässerung beginnt, was die Prüfung aller Leitungen einschließt. Im November ist die Entleerung des Bewässerungssystems erforderlich. Die beiden Termine zur gärtnerischen Pflege im Juni/Juli sowie September mit Schnittaufgaben schließt die Prüfung der Bewässerung mit ein. Reinigung von Schwimmerschaltern, Prüfen von Undichtigkeiten an Magnetventilen und Leitungen und eine Vielzahl kleinerer Herausforderungen sind pflanzenspezifisch zu begegnen. Bei den Kletterpflanzen ist die Entspannung der Seile bei starkem Pflanzenwachstum mit jährlich 8 Stunden eingeschlossen. Die geschätzte Gesamtzeit für dieses Objekt sind 140 Std. davon entfallen ca. 40 Stunden auf die Bewässerungsanlage, 10 Stunden auf die Nachpflanzung sowie 40 Stunden auf die Beikrautbekämpfung in den Pflanzkübeln.

Bei dieser etwa 1000 m<sup>2</sup> großen Begrünung sind das pro m<sup>2</sup>: ca. 8,4 Minuten jährlicher Pflegeaufwand pro m<sup>2</sup> komplett; davon entfallen 2,4 Minuten auf die Bewässerung, 2,4 Minuten auf die Beikrautbekämpfung. Trotz dieses vergleichsweise kleinen Aufwandes für die beeindruckende Begrünung, fällt es nicht leicht, diese Kosten bei der Verwaltung für eine entsprechende Fachfirma bereitzustellen.

### **Zeitaufwand für den gärtnerischen Pflegeaufwand**

Die Wartung der Bewässerungssteuerung ist für alle getesteten Module im Kap. 2.8 zusammenfassend beschrieben. Der gärtnerische Pflegeaufwand der WB in Neubrandenburg ist nach den eigenen Erfahrungen mit den hier installierten Varianten

abgeschätzt und in der nachfolgenden Tab.5.5 zusammengefasst. Der gärtnerische Pflegeaufwand ist erstaunlich niedrig, ähnlich den aktuellen Hochstaudenpflanzungen (siehe FLL, 2014). Unterschiedlicher Arbeitsaufwand resultiert aus der unterschiedlichen Schwierigkeit beim Einsetzen der Nachpflanzung. Das enge Maschenraster bei den Gabionen lässt nur sehr kleine Wurzelballen zerstörungsfrei nachzupflanzen. Die Geovliese erfordern eine besondere Form der Befestigung der Nachpflanzung mit „Tackern“. Einfach hingegen ist die Nachpflanzung immer dort, wo genormte Topfpflanzen eingesetzt werden können.

Tab. 5.5: Pflegeaufwand in Minuten, Erfahrungen mit den Wandinstallationen in Neubrandenburg, geschätzt pro m<sup>2</sup> auf ein Jahr bezogen, Zeitraum 2011- 2014, alle erforderlichen Pflegegänge zusammen genommen (Bearbeiter: Daniel Kaiser).

Gabionentyp	Bestandskontrolle	5 min
	Wartung der Bewässerungsanlage	15 min
	Düngereinspeisung	1 min
	Schnittmaßnahmen	2 min
	Nachpflanzungen	30 min
	Pflanzenschutz	0 min
	Entfernung von Wildkräutern	1 min
	<b>Summe:</b>	<b>54 Minuten</b>
Kleine Kübel	Bestandskontrolle	5 min
	Wartung der Bewässerungsanlage	15 min
	Düngereinspeisung	1 min
	Schnittmaßnahmen	0 min
	Nachpflanzungen	0 min
	Pflanzenschutz	0 min
	Entfernung von Wildkräutern	1 min
	<b>Summe:</b>	<b>22 Minuten</b>
Wandgebundene Module	Bestandskontrolle	5 min
	Wartung der Bewässerungsanlage	15 min
	Düngereinspeisung	1 min
	Schnittmaßnahmen	0 min
	Nachpflanzungen	0 min
	Pflanzenschutz	0 min
	Entfernung von Wildkräutern	1 min
	<b>Summe</b>	<b>22 – 30 Minuten</b>
Geovliesvarianten	Bestandskontrolle	5 min
	Wartung der Bewässerungsanlage	15 min
	Düngereinspeisung	1 min
	Schnittmaßnahmen	3 min
	Nachpflanzungen	3 min
	Pflanzenschutz	0 min
	Entfernung von Wildkräutern	2 min
	<b>Summe</b>	<b>24 Minuten</b>



Ohne ein Gespür und den rechtzeitigen Eingriff in die manchmal sensible Bewässerungstechnik kann bei WB kein dauerhafter Erfolg erzielt werden. Bei kümmerlichem Wuchs von Pflanzen wird häufig zu schnell an mangelnde Wasserversorgung gedacht. Es kann vorkommen, dass sich innerhalb der Module Wassergerinne herausbilden, die Wasser an bestimmten Wurzelballen vorbeiführen. Viel häufiger ist aber der Fall, dass es zu einer Überversorgung im unteren Bereich der Pflanzungen kommt und die Wurzeln abfaulen und das später als „Wassermangel“ fehlinterpretiert wird.

Aus den eigenen Messungen zur Wasserversorgung (Kap 2.8), kann für die einzelnen Varianten nachfolgend ein Näherungswert der erforderlichen täglichen Wassermenge pro m<sup>2</sup> als Spalte angefügt werden. Dieser Wert ist die erforderliche Wassermenge aus den am Standort Neubrandenburg ermittelten Wassermengen. Ist eine besonders hohe Wasserverdunstung bei einem Projekt gefordert, dann kann durch den Einbau von kaskadenartigen Verdunstungsstreifen, bei denen Wasser direkt von der Oberfläche des WB-Materials verdunstet, erheblich zu steigern.

Die Tabelle 5.6 schließt die beiden zur gleichen Zeit begonnenen Innenraumbegrünungen hinsichtlich der Arbeitszeitabschätzung ein. Die vertikale Struktur in Hydrobauweise benötigte in diesem Zeitraum eine wöchentliche Kontrolle und Nachfüllung des Wasserstandes gemäß der Schwimmeranzeige. Gelegentliches Düngen mit Flüssig-Volldünger hat einen geringen Zeitaufwand.

Tab. 5.6: Pflege (Schnitt, Nachpflanzung) der unterschiedlichen Begrünungstypen, hochgerechnet aus der eigenen mehrjährigen Erfahrung auf jeweils einen m<sup>2</sup> (Ohne Rüstzeiten), vereinfachte Abschätzung der Bewässerungshäufigkeit.

Typ	Anzahl der Pflegegänge	Minuten /Durchgang und m <sup>2</sup>	Minuten / m <sup>2</sup> * Jahr	Art der Bewässerung
Bodengebunden – Wisteria*	1	1	1	ohne
Gabionen	3	18	54	Automatisch, wöchentlich 1x
Kübel groß**	4	2	2	Automatisch, im Sommer täglich 1x
Kübel klein – außen Vertiss	2	11	22	Automatisch, im Sommer täglich 1x
Module, A – Vivagreen	2	11	22	Automatisch, im Sommer täglich 2x
Module, B Optigruen	3	10	30	Automatisch, im Sommer täglich 2x
Module, C Sempergreen	2	12	24	Automatisch, im Sommer täglich 2x
Module, D 90Degreen	3	8	28	Automatisch, im Sommer täglich 2x
Module, E Cultilene	3	8	24	Automatisch, im Sommer täglich 2x
Geovlies – Vertiko	3	8	24	Automatisch, im Sommer täglich 2x
Nur Innen:				
Geovlies	4	10	40	Automatisch, im Sommer täglich 8 x, Im Winter 8 x mal täglich
Hydrokultur	4	5	20	Manuell, 1x wöchentlich
*Erfahrungen in Neubrandenburg, Jährlich ein beauftragter Rückschnitt der 650 m <sup>2</sup> großen Begrünung				
** Berlin – Adlershof, Reichmann et al. 2010; Auswertung der Jahre 2002-2010				

## 5.4 Entscheidungsbaum bei der Auswahl des geeigneten vertikalen Begrünungstyps

Aus dem vorangegangenen Kapitel ist die nachfolgende Tabelle 5.6 als Entscheidungsmodell entwickelt worden. Innerhalb der genannten Begrünungstypen gibt es Querverknüpfungen mit Verwendung sehr unterschiedlicher Materialien, gemäß den individuellen projektspezifischen Anforderungen. Zum Verständnis dieser Tabelle 5.7: Zunächst Größe des Projektes auswählen; die Größe der zu begrünenden Fläche hat wesentlichen Einfluss auf die Kostengestaltung. Nach der Größe kann eine Entscheidung für die bevorzugte WB-Bauweise getroffen werden. Die nächste Spalte klärt die Fragen nach dem Ausführungstyp, zwischen „hochwertig“ und „kostengünstig“ kann eine Entscheidung gefällt werden. Der zukünftige Pflegeaufwand ist in drei Kategorien genannt; zwischen Null= ohne Pflegevertrag; mittel = 1-3 Durchgänge, bzw. häufig: mit vier oder mehr jährlichen Pflegegängen. Weitere Kriterien sind die Austauschbarkeit, die projizierte Haltbarkeit, zwischen kurzfristig, etwa für eine Ausstellung oder langfristig haltbar. Die Recyclefähigkeit des Aufbaues kann mit dem Begriff C2C beschrieben werden. Die Entscheidung ist zu klären, ob die Wiederverwertung ein Planungsargument bei der Materialauswahl ist. Bei der Frage nach Sicherheitseinrichtungen sind grundsätzlich keine Kompromisse möglich. Aus der Beantwortung der genannten Fragen kann ein entsprechender Anbieter eine Kostenschätzung vorlegen.

Tab. 5.7: Übersicht/Matrix der Entscheidungen; Erläuterungen: Ausführungstyp: \* H: Hochwertig-Dauerhaft; K: Kostengünstig – eher für temporäre Begrünung geeignet; Geplante Anzahl der Pflegegänge (0: keine; M= mittel 1-3; H: häufig: mehr als vier Pflegegänge).

Größenkategorien in m <sup>2</sup>	Bauweise	Ausführungstyp*	Pflege	Austauschbarkeit	Haltbarkeit	C2C	Sicherheitseinrichtungen	Kosten /m <sup>2</sup>
1	Bodengebunden Kletterhilfen	H	0 M	Gering	Gering	Gering	J	
		K	H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1	Gabionen	H	0 M	Gering	Gering	Gering	J	
		K	H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1	Kübel	H	0 M	Gering	Gering	Gering	J	
		K	H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1	Modul einfach	H	0 M	Gering	Gering	Gering	J	
		K	H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1	Modul hohe Qualität in „Edelstahl-	H	0 M	Gering	Gering	Gering	J	
		K	H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1	Geovlies	H	0 M	Gering	Gering	Gering	J	
		K	H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1	Moos	H	0 M	Gering	Gering	Gering	J	
		K	H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
10	Bodengebunden Kletterhilfen	H	0 M	Gering	Gering	Gering	J	
		K	H	Hoch	Hoch	Hoch	N	

Größen- Kategorien in m <sup>2</sup>	Bau- weise	Ausführungs- typ*	Pflege	Austausch- barkeit	Haltbar- keit	C2C	Sicher- heits- einrich- tungen	Kosten /m <sup>2</sup>
10	Gabionen	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
10	Kübel	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
10	Modul einfach	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
10	Modul hohe Qualität in „Edelstahl-“	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
10	Geovlies	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
10	Moos	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
100	Boden- gebunden Kletterhilfen	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
100	Gabionen	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
100	Kübel	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
100	Modul einfach	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
100	Modul hohe Qualität in „Edelstahl-“	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
100	Geovlies	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
100	Moos	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1000	Boden- gebunden Kletterhilfen	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1000	Gabionen	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1000	Kübel	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1000	Modul einfach	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M P1-n	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1000	Modul hohe Qualität in „Edelstahl-“	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	
1000	Geovlies	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	

Größen- Kategorien in m <sup>2</sup>	Bau- weise	Ausführungs- typ*	Pflege	Austausch- barkeit	Haltbar- keit	C2C	Sicher- heits- einrich- tungen	Kosten /m <sup>2</sup>
1000	Moos	H	0	Gering	Gering	Gering	J	
		K	M H	Hoch	Hoch	Hoch	N	

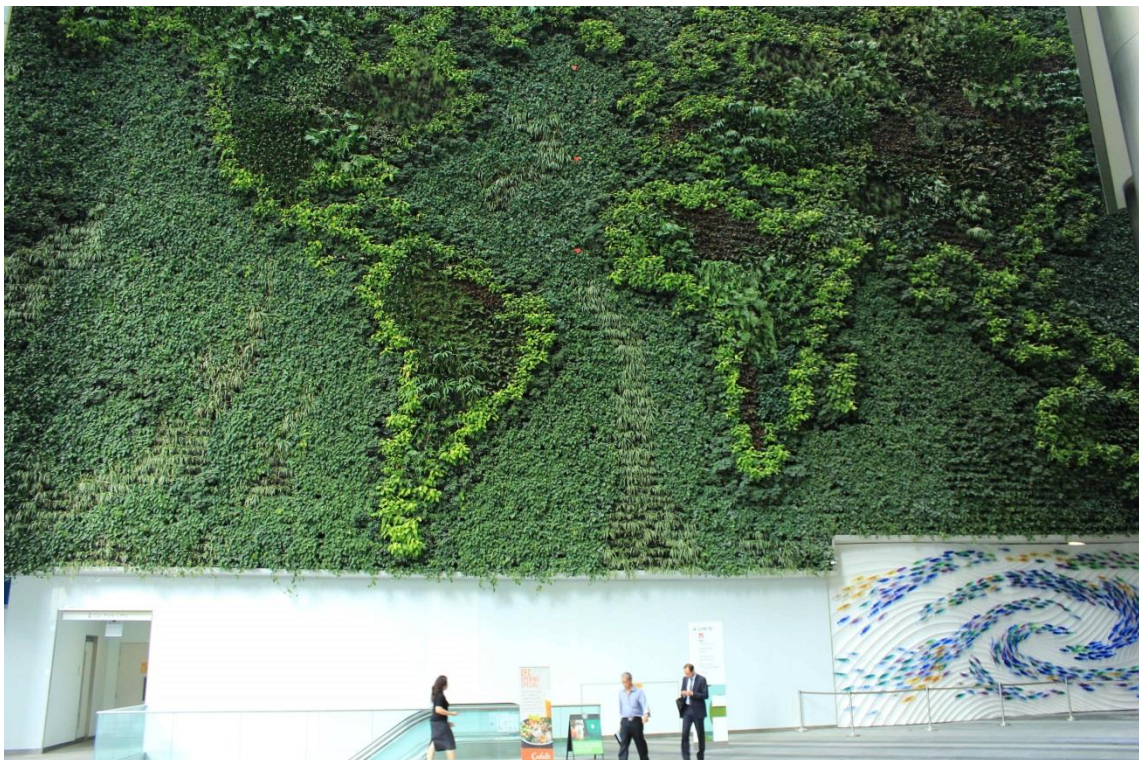
Aus der vorangehenden Tabelle lassen sich Planungsbeispiele ableiten. Ausgehend von der Größe der WB über die Qualitätsstufen lassen sich die Kosten zu erwartenden Kosten abschätzen.

Als Beispiel sei hier vorgestellt:

Größe; Wahl des Systems, der besonderen Anforderungen, die zwischen einer minimalgepflegten bis hin zu einem herausragenden gärtnerisch gepflegten Vertikalgarten variieren kann, bei dem etwa mit der Textur der Pflanzen Wandbilder, etwa Landkarten nachgebildet werden. Solche Gestaltungen, wie etwa die in Abb. 5.4 in Singapur, ein Wandbild das die Topographie des Stadtstaates repräsentiert. Hier wäre in unserem Klima mit Sicherheit häufiger als alle vier Jahre eine Nachpflanzung erforderlich.

Auch für die Entwicklung von Wandgärten in Richtung „heimische Pflanzenauswahl“ ist wahrscheinlich viermal jährlich ein Pflegedurchgang erforderlich. Wildpflanzen geprägte WB stehen in Mitteleuropa erst am Anfang der Entwicklung.

Abb. 5.4: Beispiel eines WB, als Weltkarten gestaltet ist –nur mit häufigem Nachpflanzen in dieser Qualität zu erhalten. (Singapur im November 2013).





## 5.5 Vergleich WB, Fassadenbegrünung, Jalousien

Nachfolgend ein Anwendungsbeispiel zur Auswahl einer WB als Verschattungsmaßnahme. Üblicherweise werden bei groß dimensionierten Fensterfronten Jalousien aus Metall oder außenliegenden Textilrollos verwendet. Mittels Kletterpflanzen oder mobilen WB vor Fensterfronten stehen Alternativen zum Sonnenschutz zur Verfügung, die bisher wenig genutzt werden. Dieser Abschnitt dient als Anregung, zukünftige mehr Kletterpflanzen oder WB zur Verschattung einzusetzen.

In der Abb. 5.5 sind Details eines neu installierten außenliegenden metallischen Jalousiesystems zu sehen. Dieses bietet mittels eines Lichtsensors eine automatisierte Schließfunktion bei Sonneneinstrahlung. Es befindet sich in einem ausreichend weit gewählten Abstand zum Gebäude, damit dahinter eine Querlüftung als auch ein Zugang zur Wartung vorhanden ist. Diese Systeme sind zu vergleichen mit pflanzlichen Verschattungselementen, wie sie ebenfalls an einem Hochschulgebäude der Hochschule Neubrandenburg installiert sind.

Ohne eine Verschattung ist das Arbeiten in den nach Süden orientierten Räumen erheblich beeinträchtigt. Die Nachrüstung eines Gebäudes (Haus 2 hatte ein Investitionsvolumen von ca. 151.000 €, für ca. 672 m<sup>2</sup> Fensterflächen (ca. 256 €/m<sup>2</sup>). Die jährlichen Wartungskosten belaufen sich auf ca. 1.758 € (gemäß Wartungsvertrag (ca. 2,6 /m<sup>2</sup>xJahr). Dieser umfasst die Funktionsprüfungen der Raffstores und die Neueinstellung entsprechender Sensoren.

Abb. 5.5: Beispiel für technisches Jalousiesystem zur Verschattung sowie Wisteria als Alternative (Hochschule Neubrandenburg).



Die Jalousien im Haus 3 der Hochschule erwiesen sich im Sommer 2013 als effektiv gegen die sommerliche Aufheizung. Auf dem Teppichboden gemessene Raumtemperaturen in den Mittagsstunden zeigen einen Effekt zwischen verschatteten und unverschatteten Büroräumen von etwa 5K (eigene Messung mittels IR-Thermometer).

Eine ähnliche Größenordnung erzielte die Fassadenbegrünung mit großflächigen Kletterpflanzen, etwa Wisteria, im Vergleichsgebäude der Hochschule, Haus 2, ebenfalls. Die pflegetechnische Herausforderung ist hierbei, dass Neutriebe flächig vor der Glasfläche an

Kletterstrukturen fixiert und regelmäßig weiter gelenkt werden müssen. Die hiermit verbundenen aktuellen Wartungskosten und der Schnitt wären mit 2€/m<sup>2</sup> gut honoriert. Das entspricht der Pauschale, die für die technische Überprüfung der Jalousien als Vertragsvertrag erforderlich ist. Die Kostenübersicht ist in Tab. 5.7 zu finden.

Wartungsanfällig beim Jalousiesystem ist die automatisierte Steuerung, sie ist empfindlich gegenüber starken Winden und kann bei winterlichen Frosttemperaturen festfrieren.

Bei dem technischen System ist spätestens nach 25 Jahren ein umfassender Austausch von Lamellen, Steuerung usw. erforderlich. Besondere Sturmbelastungen können schon früher zu Schäden führen.

Als Alternative stehen für anderen Himmelsrichtungen an Gebäuden weitere Kletterpflanzenarten, wie etwa Pfeifenwinde (*Aristolochia macrophylla*) alternativ zur Verfügung. Diese Pflanzen kann bis zur Höhe von 10 m auch eine gute Flächenbedeckung erreichen.

Tab. 5.8: Vergleich Technisches Verschattungssystem versus pflanzlichem System.

	Technisches Jalousiesystem	Bodengebundene Begrünung mit Wisteria	Wandgebundene Begrünung
Installierungskosten in €/m <sup>2</sup>	Ca. 250	120	450 - 2000
Jährliche Unterhaltungskosten in €/m <sup>2</sup>	2*	1-2*	5- 25**
Lebenserwartung in Jahren	15-20	50 und mehr möglich, abhängig von der Pflege	25-40

\*Datengrundlage der Tabelle; mdl. Biotekt Brandwein ([www.biotekt.de](http://www.biotekt.de)), Bauverwaltung BBL – MV, Hochschule NB; Herr Dietrich; Hochschule Neubrandenburg. Jalousiesystem 650m<sup>2</sup>.

\*\*Eigene Erhebung.

Abb. 5.6: Vereinfachte Darstellung der Anfangskosten einer mittelgroßen WB im Vergleich zu bodengebundenen Begrünungen mit Kletterpflanzen und dem Jalousiesystem. Quelle: eigene Recherche unter entsprechenden Anbietern, 2014.

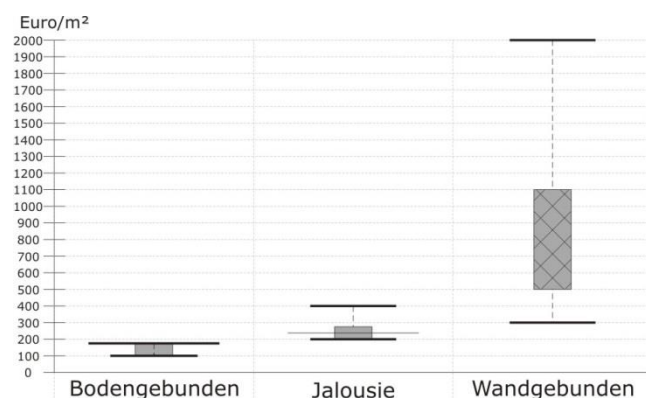




Abb. 5.7: Mittlere jährliche Unterhaltungskosten für bodengebundene Kletterpflanzenbegrünung, Jalousiesystem und den WB. Quelle: eigene Erhebung unter entsprechenden Anbietern, 2014.

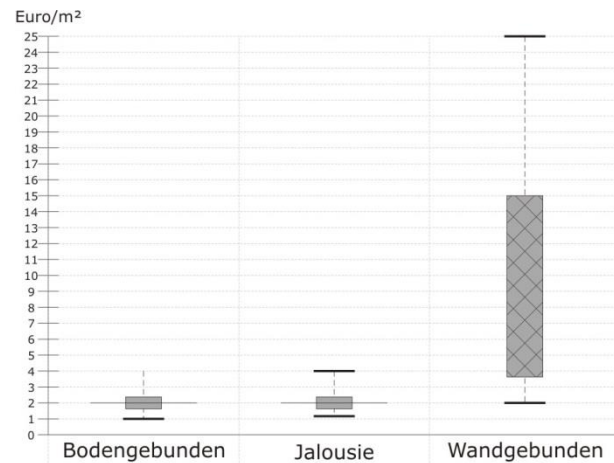
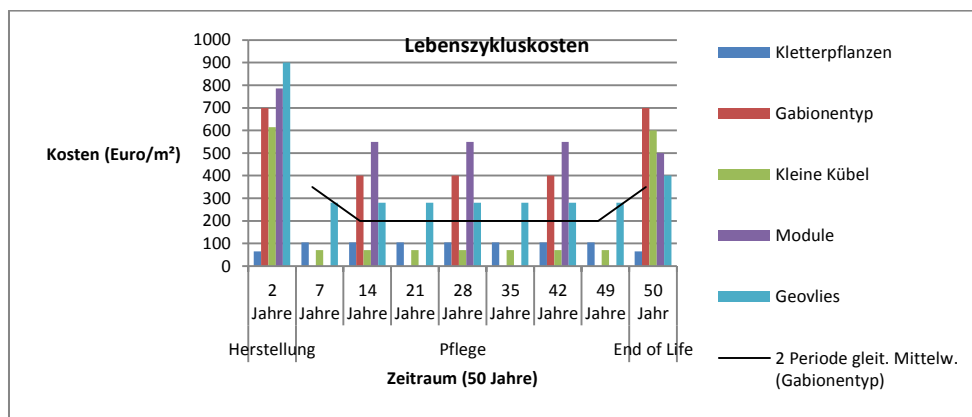


Abb. 5.8: Beispielfotos für Wisteria als bekannte Art der bodengebundenen Kletterpflanzen, Jalousie und WB.



In den Abb. 5.6 sind die Anschaffungskosten für bodengebundene Wandbegrünung (Kletterpflanzen), WB und Jalousie-Systeme zur Verschattung von Fensterfronten miteinander verglichen worden. Die Grundlagen für diese Preise sind aus der Recherche von WB-Anbietern. Die jährlichen Unterhaltungskosten, sind ebenfalls aus der Befragung von Anbietern von Kletterhilfen und Wandbegrünungen, sowie eigener Recherchen bei Anbietern von Jalousiesystemen. Die bodengebundenen Begrünungen sind durchweg in der Anschaffung am preisgünstigsten. Bei den WB ist die Preisspanne der aktuell handelsüblichen Produkte als Basis genommen, ein Mittelwert ist noch nicht über die Varianten zu legen, dazu ist die Anzahl der Angebote noch zu gering. Gleiches gilt für die anzusetzenden jährlichen Pflegekosten (Abb. 5.7) auch hier sind noch mehr Einzeldaten erforderlich für eine verlässliche Mittelwertbildung. Was jetzt schon deutlich wird, die typischen Kletterpflanzenbegrünungen als bodengebundene Variante, wie sie als Abb. 5.8 mit dem Beispiel Blauregen (Wisteria) abgebildet ist, ist bei dieser Übersicht unschlagbar günstig. Die Einbindung von Kletterpflanzen in bauliche Verschattungskonzepte wäre ein über dieses Projekt hinausgehender Gedanke, den es im Rahmen einer vergleichbaren Arbeit zu vertiefen lohnt. Im Nachfolgenden Kapitel 5 wird die Kostensituation zur Pflege von WB weiter ausgeführt. Ohne eine Minimalpflege geht es nicht, nach oben hin ist bei der Bepflanzung und der Pflege vieles möglich. Ein Beispiel hierfür ist in Abb. 5.4 zu sehen, bei dem eine WB als Wandrelief einer Landkarte unterhalten wird. Das ist nur durch erheblichen Kostenaufwand und Pflegeeinsätze alle zwei Wochen auch im tropischen Klima nur zu realisieren.

Abb.5.9: Zusammenfassende Übersicht zu Lebenszykluskosten von WB.



Mit der Abb. 5.9 ist eine synthetische Darstellung gewählt worden, die alle Informationen über einen Zeitraum von etwa 50 Jahren visualisiert. Es wurde versucht, etwas vereinfacht für eine mittelgroße WB alle Daten darzustellen.

WB sind, wie in diesem Bericht beschrieben, als Innen- oder Außenwandbegrünung möglich. In kalten Regionen mit Winterhärtezonen (WHZ) ab 7 (siehe Karte 2.8 S. 37) ist eine ganzjährige Bewässerung schwierig oder nicht möglich. Lange Frostphase und Winterruhe der Pflanzen machen die WB saisonal unterschiedlich attraktiv. Gärtnern ist diese Tatsache bewusst, potentiellen Begrünungskunden sollte dieser Umstand nachdrücklich erklärt werden um Erwartungen an die Pflanzung realistisch einzuschätzen. Eine WB ist ein Alleinstellungsmerkmal an einem Gebäude. Sie kann als weithin sichtbarer Marketingträger für Unternehmen eingesetzt werden, der ökologisch sinnvoll ist, aber ständige Aufmerksamkeit ähnlich wie ein ebenerdiger Garten erfordert.

Die als Innenraumbegrünung vorgestellten WB sind beim Vorliegen entsprechender technischer Voraussetzungen von Bewässerung, Belichtung und Wartung in nahezu jedem Bereich eines Gebäudes in alle Klimazonen möglich und im Grunde einfacher als Außenbegrünungen. Wenn Innenraum-WB keine Fluchtwege innerhalb des Gebäudes einzuschränken und Hinweise des Brandschutzes beachtet sind, steckt hierin ebenfalls ein viel zu wenig genutztes Begrünungspotential.

## **6 Chancen zur Vertikalbegrünung**

## 6 Chancen zur Vertikalbegrünung

Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 6.1a-i) bieten eine graphische Kurzanalyse zum Begrünungspotential unterschiedlicher Bau- und Siedlungsformen. Die Gebäudebegrünung mittels WB kann an nahezu allen Varianten von Baustilen in fast jedem Klima gebaut werden.

Aus den beschriebenen fünf Grundtypen zur WB sind eine Vielzahl von Kombinationen möglich, so dass für jedes Bauvorhaben eine individuell angepasste Begrünung gefunden werden kann, vgl. auch die Übersichten zu den Begrünungsvarianten bei Pfoser et al. (2014). WB bieten eine visuelle Alleinstellung für Gebäude. Der Begriff Vertikalgarten für die Bauform der WB unterstreicht, dass es zunächst um eine dekorative Anreicherung eines Gebäudes handelt. Der Begriff „Garten“ betont den Charakter einer solchen Pflanzung, Gärten benötigen immer eine gewisse regelmäßige Pflege.

WB bieten aber mehr, mit ihnen sind eine Vielzahl von Ökosystemdienstleistungen verknüpft, die sich günstig auf den lokalen Wasserhaushalt, die Verbesserung der Gebäudedämmung als auch auf die Erhöhung der Biodiversität auswirken können. Diese Größen sind im Rahmen der Arbeit gemessen worden. Die tägliche Verdunstungsleistung lässt sich zwischen 0,5 und 8,5L/m<sup>2</sup> beziffern, es gibt eine gewisse Dämmwirkung die sich in der reduzierten Tagesgangamplitude, verglichen hinter einer Begrünung und vor der unbegrünten Wand nachweisen lässt, das sind immerhin einige Grad Celsius Differenz. Wie groß der Dämmeffekt für das Gebäude ist, hängt vom jeweiligen Gesamtaufbau der Wand ab. Auch kleine Effekte summieren sich über die Gesamtnutzungsdauer der Gebäude.

Die Liste der geeigneten Pflanzen in den genannten Varianten ist lang, allein am Standort Neubrandenburg sind aus der eigenen Arbeit 10 Arten mit sehr gut geeignet und 32 Arten mit gut bewertet worden. In milden Winterhärtezonen ist die Liste der erfolgreichen Arten entsprechend länger. Bei vielen dieser Arten gibt es weitere Sorten und Züchtungen, die das Spektrum erheblich erweitern.

In dieser Arbeit ist ein Beispiel für die Fensterverschattung hervorgehoben worden. Es zeigte sich, dass pflanzliche Elemente der typischen Jalousietechnik zumindest ebenbürtig sein können.

Wie können die WB in den genannten Beispielen sinnvoll eingesetzt werden? In den Abb. 6.1a-i ist hierzu eine Darstellung, die mit dem amerikanischen als auch in Deutschland noch dominierenden Traum vom alleinstehenden Haus beginnt. Es geht weiter über die kompakte verdichtete Reihenhausbauweise, wie sie von England ausgehend, auch in Deutschland seit der Industrialisierung Verbreitung fand. Das Projekt „Laher Wiesen“ in Hannover ist ein Beispiel der 1980er Jahre, für eine ökologische und stark durchgrünte Version im verdichteten Baustil. Die Begrünungen in den 1980er Jahren umfassten zunächst extensive Dachbegrünungen und Wandbegrünungen überwiegend mit selbstklimmenden Pflanzenarten. WB – wie hier in der Arbeit beschrieben, erweitern die Möglichkeiten erheblich.

Die typischen Punkthäuser der 1960er Jahre (Abb. 6.1c, d) boten für Dachbegrünungen wenig Fläche, das Potential Fassadenbegrünung wurde bei Sanierungsvorhaben meist nur punktuell genutzt. In Deutschland werden bisher im Vergleich etwa zum tropischen Singapur überwiegend bodengebunden Kletterpflanzenbegrünungen eingesetzt, die nur in wenigen Fällen erfolgreich zu einer großflächigen Begrünung führten (Tan, 2013).

Dieser Bericht und auch neuere Literatur (Köhler et al., 2012) zeigen Chancen auf, die in der Gebäudebegrünung stecken. Lösungen für Neubauten sind offenkundig einfacher zu realisieren, da die baulichen Erfordernisse der Gebäudetechnik in der Neubauphase berücksichtigt werden können (Abb. 6.1e).

Eine kompakte verdichtete Bauweise mit einer Nutzung der kompletten fachlichen Breite von Begrünungsmöglichkeiten kann in einem europäischen „Grünen Baustil“ münden. Dieser sollte einerseits flächenschonend als auch individuell sein. Das Begrünungspotential von Hinterhöfen, Dachterrassen und Wänden ist ein essentieller Bestandteil, der bei zunehmend hohen Grundstückspreisen eine höhere bauliche Verdichtung erträglich macht und in



bezahlbaren Lösungen mündet. Die verschiedenen Begrünungselemente sind so etwas wie eine Toolbox, aus der situationsbedingt gewählt werden kann (6.1f).

Im Leitbild der kompakten Stadt ist es eine Notwendigkeit, weg von einer Gründekoration zu kommen und etwa die WB als Instrumente der „Grünen Infrastruktur“ zu begreifen, die Ökosystemdienstleistungen, etwa Verschattung, Verdunstungskühle aber auch Lebensraum für zahlreiche Organismen bieten.

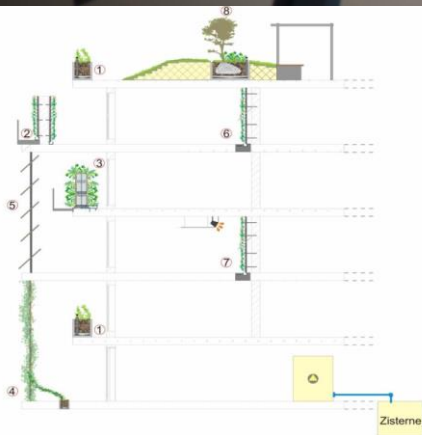
Neue Möglichkeiten sind etwa vertikale Wildpflanzengärten oder als weiterer Trend „Vertikale urbaner Nutzgärten“ Auch hier gibt es funktionierende Vorbilder, etwa die Modellhäuser an dem ehemaligen BUGA 1985–Gelände in Berlin (Abb. 6.1i) (Kuievda, 2015), die mehr Nachahmer benötigen. Der Traum der „begrünten kompakten Stadtvilla“ ist, wie es die Diskussion in Singapur im November 2013 zeigte (CUGE – Skyrise Greenery Conference), eine europäische Lösung. Derartige Bauweisen sind für tropische Mega-Cities tendenziell auch möglich, bleiben aber wegen des hohen Grundflächenbedarfes, nur oberen Einkommenschichten vorbehalten.

Grüne Infrastruktur lässt sich aber auch in die Höhe bauen, sofern entsprechende Sicherheitsvorrichtungen vorhanden sind. Die Prinzip-Skizze für Hochhäuser (Abb 6.1h) kombiniert verschiedene Möglichkeiten. Vielbeachtete Einzelbeispiele gibt es bereits, entsprechende Projekte werden vielfach beachtet. In Europa ist hier mit dem „Bosco verticale“ von Stefano Boeri in Mailand ein Projekt gelungen, das bei der Expo 2015 auf das Potential der „Grünen Infrastruktur“ aufmerksam machen kann. Solche Begrünungen verbinden gehobene Wohnqualität mit ökologischen Vorteilen und verhelfen auch der WB zu noch mehr Beachtung.

Abb. 6.1. a,b,c,d: Von der amerikanische „Single home solution“, mit Begrünung als dekorative Bereicherung hin zur Grünen Infrastruktur mit Wohlfühlfaktor. Großes, wenig genutztes Potential für vertikales Grün an Punkthäusern.



Abb. 6 e, f, g, h, i: Vorschläge für die Integration von Dach- und WB in Neubauvorhaben (e,f,g). Die vielfältigen Möglichkeiten (6f) lassen sich beliebig auf für bei Hochhäusern kombinieren (6h). Interessante Beispiele von 1985 früher Integration von Gebäudebegrünung- das Beispiel der Grünen Häuser der BUGA 1985 in Berlin.





## 6.1 Zusammenfassung und Ausblick

Seit wenigen Jahren werden „wandgebundene Begrünungen“, kurz WB, immer beliebter. Aktuell gibt es etwa 50 Anbieter weltweit (vgl. Köhler et al. 2012). Diese teilen sich auf vier wesentliche Bauprinzipien auf, die in diesem Bericht näher untersucht wurden: Gabionentyp, horizontale Wandkübel, modulare flächige Begrünung sowie flächige Geovliesvarianten.

Der Markt der Begrünung mit Kletterpflanzen hat weiterhin seine Bedeutung, auch hier gibt es Innovationen, etwa in der alternativen Verwendung zu textilen Verschattungselementen. Dem aktuell großen Interesse an WB stehen bisher, wenige verallgemeinerbare Erfahrungswerte gegenüber.

Ziel dieses Projektes war es, am Beispiel bestehender Firmenprodukte und zusätzlichen Tests einige allgemeine Grundsätze zur Eignung der WB abzuleiten, die für die aktuelle Richtlinienarbeit dienlich sind.

Das Forschungsprojekt umfasste zwei Arbeitspakete; zum einen Laboruntersuchungen, zum anderen Messungen an Begrünungsmodulen; folgende Fragen standen im Mittelpunkt und wurden beantwortet:

- Sind diese Begrünungen auch in Gegenden mit winterlichem Frost einsetzbar?
- Welche Pflanzenarten eignen sich besonders für Vertikalbegrünungen?
- Angaben zur Pflege: wieviel muss bewässert werden; Höhe des gärtnerischen Pflegeaufwandes, wie häufig sind Wartungsarbeiten erforderlich?
- Welche Aussagen sind in Bezug auf Brandschutz und Life-Cycle-Kosten zu treffen?
- Leisten die Begrünungsvarianten einen Beitrag zur Wärmedämmung oder der sommerlichen Gebäudeklimatisierung?
- Gibt es Präferenzen für den Einsatz der unterschiedlichen Bauvarianten?

Folgende Fragen wurden in diesem Bericht bearbeitet

- Das saisonal unterschiedliche Aussehen ist ein Charakteristikum von WB. Bis zu einem Drittel Nachpflanzung im Frühjahr kann als normal angesehen werden. Bei den Pflanzenarten sind langsam wachsende Arten, in einer Mischung aus sommergrünen und immergrünen Arten empfehlenswert. Es wurde eine Liste mit empfehlenswerten Pflanzenarten aus diesem Projekt abgeleitet.
- Die Untersuchung bestätigte, dass es eine breite Auswahl an technischen Materialien gibt, in die gepflanzt werden kann. Entscheidend für die Eignung ist eine Formstabilität, Reißfestigkeit und eine langfristige, gleichmäßige Wasserverteilung in den Materialien. Es ist eine Frage der persönlichen Präferenzen, ob dieses Trägermaterial auf Erdölbasis oder auf der Basis anderer Ausgangsstoffe verwendet wird. Leichte, weniger haltbare Materialien durchwurzeln zunächst besser, hochwertige Gewirke stabile Materialien durchwurzeln in der Regel schlechter. Hier ist in der Regel die Sandwichsbauweise unterschiedlicher Materialien die richtige Entscheidung. Der Austauschbarkeit von Pflanzen- / Pflanzmodulen ist eine besondere Bedeutung beizumessen. Nachpflanzungen sind in allen Varianten erforderlich – aber nicht in allen Systemen einfach möglich.
- Jede Variante benötigt eine zusätzliche Bewässerung. In den zwei Jahren konnten sehr unterschiedliche Bewässerungsbedarfe ermittelt werden, die sommerlich zwischen 0,5 bis 8,5 Liter / m<sup>2</sup> am Tag schwanken können.
- Ohne eine regelmäßige Betreuung, die bei einer tägliche Sichtkontrolle beginnt, ist eine langfristige Erhaltung schwierig. Professionelle Pflege und rechtzeitiger Austausch etwa von Magnetventilen sind wesentliche Arbeiten. Die relativen Kosten einer Begrünung nehmen mit der Größe erheblich ab.
- Die Frage nach einer möglichen Brandlast wird als gering eingeschätzt. Konstruktive Baumaßnahmen, etwa, die Anlage von „Brandriegeln“ sind ergänzende Details zur

Erhöhung der Sicherheit. Jeder Anbieter von WB hat eine Aussage zum möglichen Brandverhalten seines Produktes zu geben.

- Kalkulationen zur LCA der WB zeigen auf, dass es innerhalb der unterschiedlichen Bauweisen Optimierungen geben kann, wenn auf einzelne Aspekte wie Dämmfunktion, Verdunstungsleistung oder Biodiversität besonderer Wert gelegt wird.
- Messungen über Wochen zum Thema Temperatur und Luftfeuchtigkeit vor und hinter den Begrünungen zeigten, dass die WB einen Einfluss auf die Gebäudeoberfläche haben. Der Effekt beträgt im Mittel etwa ein Grad Kelvin Reduktion der Maximaltemperaturen sowie ein Grad Kelvin Dämpfung hinter der Begrünung. Schon Ottele (2011) berechnete hieraus einen relativen Dämmeffekt, der größer ist, sofern die Wand schlechter gedämmt ist. Bei modernen hochgedämmten Wänden ist dieser Effekt in einer Größenordnung von etwa 1-2% zusätzliche Dämmung einzuschätzen, wie Ottele, 2011 ermittelte. Je nachdem wie gut diese Begrünungen in die Gebäudeoberfläche integriert sind, ergibt sich ein kleiner aber rechenbarer Effekt.
- Bei den vorgestellten vier Bauvarianten gibt es klare Favoriten für bestimmte Architekturformen. WB bieten viele Zwischenstufen, die individuelle Lösungen ermöglichen und damit Gebäude unverwechselbar machen können.
- Wandbegrünungen sind eine neues Arbeitsfeld, das in die Wärmedämmung eines Gebäudes eingreift. Den Pflanzen kommt eine hohe Bedeutung zu. Diese können aber nur die Aufgaben erfüllen, wenn sie für regelmäßige Pflege einfach zu erreichen sind. Wandbegrünungen erfordern eine neue Form handwerklicher Spezialisierung zwischen Bautechnik und Garten -und Landschaftsbau stehend. Die hierfür erforderlichen Normen und Richtlinien sind jetzt erst im Entstehen. Die Begrünung bietet eine Vielzahl von positiven Eigenschaften, die bei der Gebäudeklimatisierung beginnen und bei der Gebäudeästhetik fortfahren. Es bleibt abzuwarten, wie weit auf diese neue Begrünungsform zukünftig zurückgegriffen wird.

### **Fazit**

Es sollten Fakten zur Eignung von WB ermittelt werden. Ergebnis der Materialtests ist, es kann in nahezu jedem Material erfolgreich gepflanzt werden. Es sind aber dauerhafte Pflege und Wartung sicherzustellen.

### **Ausblick / zukünftiger Forschungsbedarf**

Im Rahmen der Bearbeitung haben sich folgende Fragen zur weiteren Vertiefung herausgestellt:

- Wie lassen sich die modularen Wandbegrünungen technisch weiter vereinfachen, damit sie kostengünstiger werden?
- Was sind die minimalen Anforderungen an die Bewässerungstechnik?
- Entwicklung leichtgewichtiger Wandbegrünungen auf der Basis von Moosen und Flechten, die möglichst ohne Zusatzbewässerung auskommen.
- Weitere Vertiefung zur idealen Pflanzenauswahl, auch unter den Aspekt der Erhöhung regionaler Biodiversität.
- Vertiefende Untersuchungen zur langfristigen Haltbarkeit.
- Vertiefender Funktionsvergleich textiler Verschattungssysteme mit dem sommerlichen Wärmeschutz durch Kletterpflanzen/oder wandgebundener Begrünungen.
- Verallgemeinerungen der Erfahrungen zur Entwicklung einer europaweit anwendbaren Begrünungsrichtlinie.

## **6.2 Summary**

The technology of living walls, "mur vegetal" or vertical gardens is becoming fashion all around the globe since a couple of years. Four basic principles, such as: vegetated gabions, small horizontal containers, vertical modules on tray racks, or felt systems were tested. The fifth principles are vertical moss elements for direct mounting on walls and finally typical

vertical greenery on facades by climbers. Between these principles lots of variations are possible in a design process.

The reason for the project was; there is a huge interest by many architects but very little comparing knowledge independent from the delivering companies. This project will prepare some information to be integrated into the FLL- work on a related guideline.

Aims were to collect detailed and brand independent information about Living walls and their environmental performance. Also detailed researches on materials used in living walls were investigated.

Measurement of the performance of living wall modules helped for a better understanding of the environmental performance. The result of the research is a data set on performance of living wall modules. Yes there is a little amount on energy savings. There is also information about the best performing plant species under frost conditions.

For the four principles of living walls, information about LCA and needed maintenances will be delivered.

The research were divided in two parts, measurements on materials, and research on installed demonstration modules – the reason was, to get brand independent basic information about the following aspects:

- Are these installations suitable also in regions with low winter temperatures?
- Which plant species are the fittest to establish fully vegetation covered modules?
- Detailed information about the required maintenance; such as watering, garden works, and technical support on the irrigation infrastructure?
- Technical information to avoid fire risk; Life Cycle cost analysis and running costs.
- Can living walls deliver an additional thermal winter or summer insulation – do these systems support acclimatization of a building?
- Technical information about the life span of the different types of construction.

#### **Some results of the two research years:**

There is a number of successful plant species also in winter cold regions. Within these about 250 tested plants about 10 species performed excellent and 32 good in this Northeast German climate. Similar to gardens, the seasons are visible within the living walls. Up to 1/3 of plants in such structures must be changed each year – as regular gardening work.

From the wide range of tested technical materials, lots of these layers are suitable as vegetation layer to keep root systems. The requirements of such structural materials are a need to distribute water in an equal way to all roots. As a result; the more light materials are better for the penetration by the root systems, but the longer lasting materials are different. So in many cases, best choices are a material mixture of several layers – depending on the aim of the greenery. It is important, that the plants can be easily removed and replanted from these materials.

- The amount of daily water demands varies between 0.5 to 8.5 Liter / m<sup>2</sup> x day.
- The frequency of garden work is related to the level of quality of the greenery.
- The costs of a larger installation are relatively lower than for a smaller one.
- Fire risk protection is a serious open question, the right choice of not burning materials is important.
- LCA stated the eco-footprint on the different types.
- Measurements over weeks in all seasons during the two years delivered numbers about the thermal performance of the installed modules. Same with the numbers about relative humidity. The effects on Living walls are about; one degree reduction of the maximum heat in summer and around one degree K as number of the insulation effect. Following the calculation of Ottele (2011), this will be an insulation effect – depending of the wall insulation of around 1-2 %. This is a small countable additional benefit.

## **7 Anhang**

**Literatur, weitere Quellen,  
Abbildungen, Tabellen**

## Literatur

- Bärtels, A. 2001: Enzyklopädie der Gartengehölze, Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BMVBS / BBR (Hrsg.) 2008: Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland, BBR-Online-Publikation 10/2008. urn:nbn:de:0093-ON1008R229.
- Brander, M., Davis, G., 2012: Greenhouse Gases, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>e, and Carbon: What Do All These Terms Mean?. Ecometrica, online: <http://ecometrica.com/white-papers/greenhouse-gases-co2-co2e-and-carbon-what-do-all-these-terms-mean/>.
- Bravo, G. Gonzalez, E. 2013: Thermal comfort in naturally ventilated spaces and under indirect evaporative passive cooling conditions in hot–humid climate. *Energy and Buildings* 63: 79–86.
- Cameron, R.W.F., Taylor J.E., Emmett, M.R. 2014: What’s ‘cool’ in the world of green facades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment* 73: 198-207.
- Chen, Q., Li, B., Liu, X. 2013: An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. *Energy and Buildings* 61: 298–307.
- Department for Communities and Local Government 2013: Fire Performance of Green Roofs and Walls. Available on website at [www.gov.uk/dclg](http://www.gov.uk/dclg).
- DIBT (Deutsches Institut für Bautechnik, Hrsg.) 2014: Bauregelliste A, B und C, download: [https://www.dibt.de/de/Geschaeftsfelder/Data/BRL\\_2014\\_2.pdf](https://www.dibt.de/de/Geschaeftsfelder/Data/BRL_2014_2.pdf), letzte Abfrage 4.Jan.2015.
- Doya, M., Bozonnet, E., Allard, F. 2012: Experimental measurement of cool facades’ performance in a dense urban environment. *Energy and Buildings* 55: 42–50.
- Francis, R.A., Lorimer, J. 2011: Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management* 92: 1429-1437.
- Feng, H., Hewage, K. 2014: Lifecycle Assessment of Living Walls: Air Purification and Energy Performance, *Journal of Cleaner Production*, 69: 91-99.
- FLL (Hrsg.) 2010: Empfehlungen für die Planung, Installation und Instandhaltung von Bewässerungsanlagen in Vegetationsflächen. Bonn. 50 S.
- FLL (Hrsg.) 2008: Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Bonn 118 S. Bonn.
- FLL (Hrsg.) 2000 (2015 in Überarbeitung): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- Fassadenbegrünungen, Bonn.
- FLL (Hrsg.) 2014: Fachbericht Staudenverwendung im öffentlichen Grün. Bonn 172 S.
- Hendarti, R. 2013: The influence of the evapotranspiration process of green roof tops on pv-Modules in the tropics. Promotionsschrift, NUS, Singapur.
- Heinze, W., Schreiber, D. 1984: Winterhärtezonenkarten, Mitt. Dt.Dendr. Ges. 75: In: Bärtels, Gartengehölze, 1991, Ulmer, Stuttgart.
- Kaiser, D. 2013: Untersuchungen an einer wandgebundenen Innenraumbegrünung. Masterarbeit, Hochschule Neubrandenburg.
- Köhler M., Porsche U. 2003: Life Cycle Costs of Green Roofs – A comparison of Germany, USA, and Brazil. In: Rio3.com: Proc. Krauter (ed.): World Climate & Energy Event. 1. – 5. Dez. 2003 in Rio de Janeiro: 461 – 467.

- Köhler, M., Ansel, W., Appl, R. Betzler, F., Mann, G., Ottelé M., Wünschmann, S. 2012: Handbuch Bauwerksbegrünung. R. Müller Verlag, Köln, 250 S.
- Kotthoff, I. MFPA Leipzig, 2008: Ausführungsvarianten zum „Brandriegel“ für schwerentflammbare WDVS mit einer Dämmung aus schwerentflammbarem Polystyrol-Hartschaum (DIN 4102-B1) mit Dämmstoffdicken > 100 mm bis ≤ 300 mm. Online: [www.sto.de/88538\\_DE-Broschueren\\_PDFs\\_Sto\\_de\\_neu-Leitfaden](http://www.sto.de/88538_DE-Broschueren_PDFs_Sto_de_neu-Leitfaden).
- Koyama, T., Yoshinaga, M., Hayashi, H., Maeda, K., Yamauchi, A. 2013: Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. *Building and Environment* 66: 96-103.
- Krolkiewicz, H.J. 2010: Brandschutz bei hinterlüfteten Fassadenkonstruktionen. *Wohnungswirtschaft –heute-Technik*. Oktoberheft.
- Kuievda, N., 2015: Masterthesis; Innenraumbegrünung, HS-Neubrandenburg.
- Kumar, A., Suman, B.M. 2013: Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate. *Building and Environment* 59: 635-643.
- LBO, 2010: Allg. Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und –teilen. Komm. Z. LBO, 3.Aufl. 36. Lfg. September 2010. <http://www.landesrecht-bw.de/jportal/jsessionid=295D91425AC2E0687E5B625072CB1E39.jpb4?quelle=jlink&query=BauO+BW&max=true&aiz=true#jlr-BauOBW2010pP26> .
- Ludwig, F. 2012: Botanische Grundlagen der Baubotanik und deren Anwendung im Entwurf. Diss, Uni Stuttgart. 300 S.
- Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, P.M., Bastioni, S. 2013: Experimental investigation on the energy performance of LivingWalls in a temperate climate. *Building and Environment* 64: 57-66.
- NPARC, S. 2013: A concise guide to save practices for Vertical greenery. NParc, Singapore, 14S, online: <http://www.skyrisegreenery.com/index.php/home/guidelines>
- VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates.
- Ottele, M., Perini, K., Fraji, A., Haas, E.M. Raiteri, E. 2011: Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems *Energy and Buildings* 43: 3419-3429.
- Ottele, M. 2011: Green Building Envelope, TU Delft, Dissertation.
- Pérez, G., Coma, J., Martorell, I.Cabeza, L. 2014: Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings. A review. *Renewable and Sustainable Energy Rev.* 39: 139–165.
- Perini, K., Rosasco, P. 2013: Cost benefits analysis for green façades and living wall systems *Building and Environment* 70: 110-121.
- Pfoser, N., Jennner, N., Henrich, J., Heusinger, J., Weber, S. 2013: Gebäude – Begrünung – Energie. Forschungsvorhaben des BBSR – Abschlußbericht, 305 S.
- Pfoser, N., Jennner, N., Henrich, J., Heusinger, J., Weber, S. 2014: Gebäude – Begrünung – Energie, FLL- Schriftenreihe Forschungsvorhaben FV 2014/01, 305 S.
- Pitha, U. Scharf, B., Enzi, V., Oberharzer, S., Hanvencl, G., Wenk, D. 2013: Leitfaden Fassadenbegrünung. „ÖkoKauf Wien“, Arbeitsgruppe 25, Grün- und Freiräume Arbeitsgruppenleiter: Jürgen Preiss/Wiener Umweltschutzabteilung – MA 22. 101 S.



- Reichmann, B., Köhler, M., Schmidt, M., 2010: Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung. Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, 66 S.
- Seitz, B., Ristow, M., Prasse, R., Machatzi, B., Klemm, G., Böcker, R., Sukopp, H. 2012: Der Berliner Florenatlas, Natur+Text, Rangsdorf, 533 S.
- Sieber, S. 2013: Energetische Quartiersplanung. Stadt und Grün 3: 15-18.
- Silvestre, J.D, Brito, J., Pinheiro, M.D., (2013):From the new European Standards to an environmental, energy and economic assessment of building assemblies from cradle-to-cradle(3E-C2C). Energy and Buildings 64 (2013) 199–208
- Suklje, T.; Medved, S., Arkar, C. 2013: An Experimental Study on a Microclimatic Layer of a Bionic Façade Inspired by Vertical Greenery. Journal of Bionic Engineering 10: 177–185.
- Susca, T. Gaffin, S.R., Delli'Osso, G.R. 2011: Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. Environmental Pollution 159: 2119-2126.
- Susorova, I.; Angulo, M., Bahrami, P. Stephens, B. 2013: A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance. Building and Environment 67: 1-13.
- Tan, P.Y, 2013: Vertical Garden City. Strait times Press, Singapur. 191 S.
- Thönnessen, M. 2002: Elementdynamik in fassadenbegrünendem Wilden Wein, Kölner Geograph. Arbeiten, Heft 78. 1-110.
- Wetterstation Neubrandenburg/ Trollenhagen – Proplant (2014): expert classic die besondere Pflanzenschutzberatung proPlant Gesellschaft für Agrar und Umwelt informatik mbH, Alberecht – Thaer - Straße 34, 48147 Münster.
- Wong, N.H. Tay, S.F., Wong, R., Ong, S.L., Sia, A. 2003: Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. Building and Environment 38: 499 – 509.
- Yung, P. Lam, K.C., Yu, C. 2013: An audit of life cycle energy analyses of buildings. Habitat International 39: 43-54.

## Allg. zitierte Internetquellen – Aurufe letztmalig überprüft Nov. 2014.

<http://www.biotekt.de/>  
<http://www.biotope-city.net/article/fassadenbegrueung-als-moeglicher-einsparungsfaktor>  
<http://www.biotope-city.net/gallery/edible-office-concept>  
<https://www.c2c-verein.de/>  
<http://extension.oregonstate.edu/gardening/fight-fire-plants-you-bet>  
<http://www.hornbach.de/shop/Trennwandplatte-Rockwool-Sonorock/3894153/artikel.html>  
849).  
<http://www.it-recht-kanzlei.de/Thema/eu-bauproduktenverordnung.html>  
<http://www.london.gov.uk/sites/default/files/living-roofs.pdf>  
<http://www.nachhaltigesbauen.de/de/baustoff-und-gebaeuedaten/epd.html>  
Department for Communities and Local Government 2013: Fire performance of Green roofs and Walls. Download:  
[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/230510/130819\\_SW3529R\\_-\\_Issue\\_3\\_-\\_Green\\_Roofs\\_and\\_Walls\\_Project\\_web\\_version\\_v3.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/230510/130819_SW3529R_-_Issue_3_-_Green_Roofs_and_Walls_Project_web_version_v3.pdf)  
[http://www.rio6.com/rio3/proceedings/RIO3\\_461\\_U\\_Porsche.pdf](http://www.rio6.com/rio3/proceedings/RIO3_461_U_Porsche.pdf)  
<http://www.ulffc.com/de/leistungen/pruefverfahren/mechanische.html>  
<http://www.ulffc.com/de/leistungen/pruefverfahren/thermische-alterung.html>  
<http://www.ulffc.com/de/leistungen/pruefverfahren/kuenstliche-bewitterung.htm>  
<http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>

## Internetlinks: Brandverhalten:

<https://baufuesick.wordpress.com/2012/04/09>  
<http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/waermedaemmung-an-haeusern-erhoehte-brandgefahr-durch-styropor-a-1001121.html>,  
<http://www.baunetzwissen.de/>  
[http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/zukunftbau\\_node.html](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/zukunftbau_node.html)  
<http://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>

## LCA – Quellen (Nummern nach Zitaten im LCA-Kapitel).

- (1) <http://www.vertiss.net/de/vertiss-produkte/begruente-wand-vertiss-compact>.
- (2) <http://www.materiel-mur-vegetal.fr/feutre-mur-vegetal/33-aquanappe-900g-m2-100cm-x5m.html>.
- (3) Haibo Feng, Kasun Hewage, 2014: Lifecycle Assessment of Living Walls: Air Purification and Energy Performance, Journal of Cleaner Productions.
- (4) <http://www.lowtechmagazine.com/what-is-the-embodied-energy-of-materials.html>.
- (5) Timothy G. Gutowski,1 Julian M. Allwood,3 Christoph Herrmann,4 and Sahil Sahni2, A Global Assessment of Manufacturing: Economic Development, Energy Use, Carbon Emissions, and the Potential for Energy Efficiency and Materials Recycling .
- (6) [http://www.nrdc.org/international/cleanbydesign/files/CBD\\_FiberFacts\\_Polyester.pdf](http://www.nrdc.org/international/cleanbydesign/files/CBD_FiberFacts_Polyester.pdf).
- (7) <http://www.galvanizeit.org/sustainable-development-and-hot-dip-galvanizing/environmental-performance-of-hdg-steel/complete-lca>.
- (8) <http://makeitwood.org/documents/doc-692-timber-as-a-sustainable-material.pdf>.
- (10) <http://www.bauteile-shop.eu/sechskantbolzen/abstandsbolzen-metall/aussen-innen-gewinde-m3-sw55.html>.
- (11) <http://www.svb.de/de/niro-bolzen-mit-splintloch.html>.
- (12) [http://www.fassadengruen.de/shop/product\\_info.php?products\\_id=61&cPath=1\\_2&XCsid=bb95b927941bacd933652ed1242248a4](http://www.fassadengruen.de/shop/product_info.php?products_id=61&cPath=1_2&XCsid=bb95b927941bacd933652ed1242248a4).
- (14) <http://www.geven-holzhandel.de/produktgruppe/4-tropenholz/produkt/1171200-sagerautanimbuca-fsc-33x155mm>.
- (16) [http://www.wickert.net/uploads/media/Lagerprogramm\\_Massive\\_Launholzplatten.pdf](http://www.wickert.net/uploads/media/Lagerprogramm_Massive_Launholzplatten.pdf).

- (17) <http://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/34/149/Blauregen-Glyzine-Wisterie-Chinesischer-Blauregen.html>.
- (18) <http://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/30/113/Gemeiner-Efeu.html>.
- (19) <http://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/34/151/Selbstklimmender-Mauerwein-Engelmännii.html>.
- (20) [http://www.steidelegmbh.de/medien/Preisliste/Preisliste\\_Transportbeton.pdf](http://www.steidelegmbh.de/medien/Preisliste/Preisliste_Transportbeton.pdf).
- (21) <http://www.feld-eitorf.de/blechabkantungen/stahl-verzinkt/glattes-blech/l-profil-auf-massgekantet/blech-stahl-vz-starke-1-0-mm>.
- (22) <http://www.wasserundsteine.de/findlinge/Trenn-und-Schutzfolie-MyPex.html>.
- (23) <http://www.kovac.com/stahl/DEU/pdf/preislisten/Allgemeines.pdf>.
- (24) <http://gaerten-von-rapp.de/leistungen/bew%C3%A4sserungsanlagen/>.
- (25) [http://www.pflanzenversand-gaissmayer.de/-group\\_view,Grosse+Farne,AD8B53B301E747DBA6A84C2D8E68B616,de.html](http://www.pflanzenversand-gaissmayer.de/-group_view,Grosse+Farne,AD8B53B301E747DBA6A84C2D8E68B616,de.html)
- (29) [http://www.kalzip.com/PDF/eur/EUR-Kalzip\\_Pricelist.pdf](http://www.kalzip.com/PDF/eur/EUR-Kalzip_Pricelist.pdf).
- (30) [http://www.aluminium-online-shop.de/de/shop-aluminium-kleinstmengen/Winkel-\\_15/index.html](http://www.aluminium-online-shop.de/de/shop-aluminium-kleinstmengen/Winkel-_15/index.html).
- (32) [http://www.ebay.fr/itm/like/390657469199?clk\\_rvr\\_id=647689913299&crp=1\\_262571&mt\\_id=639&sdc\\_id=1402407947z997561z50073b0a4085zz&mid=461165&fitem=390657469199&linkin\\_id=7000614&kw=%7Bquery%7D&crdt=0&sortbid=28](http://www.ebay.fr/itm/like/390657469199?clk_rvr_id=647689913299&crp=1_262571&mt_id=639&sdc_id=1402407947z997561z50073b0a4085zz&mid=461165&fitem=390657469199&linkin_id=7000614&kw=%7Bquery%7D&crdt=0&sortbid=28).
- (33) [www.clip-o-flex.at A\\_Produkt-und%20Preisbrosch%C3%BCre\\_Clipoflex2a%20\(1\).pdf](http://www.clip-o-flex.at/A_Produkt-und%20Preisbrosch%C3%BCre_Clipoflex2a%20(1).pdf).
- (34) [http://www.rockwool.de/files/RW-D\\_files/5\\_DOWNLOADS/Mega\\_Menu\\_Download/Neue\\_Artikelnummern/Preisliste\\_Hochbau\\_Preise\\_ab\\_200812\\_Neue\\_Artikelnummern\\_ab\\_030912.pdf](http://www.rockwool.de/files/RW-D_files/5_DOWNLOADS/Mega_Menu_Download/Neue_Artikelnummern/Preisliste_Hochbau_Preise_ab_200812_Neue_Artikelnummern_ab_030912.pdf).
- (35) <http://www.materiel-mur-vegetal.fr/feutre-mur-vegetal/32-aquanappe-900g-m2-100cm-au-metre-lineaire.html>.
- (36) <http://www.firstbond.de/>.
- (37) Municipal plastic waste: alternatives for recycling with profit; Ana C. Eulalio, et al.2000; <http://sperecycling.org/sites/sperecycling.org/files/gpec/GPEC2002/papers/0805.PDF>.
- (38) [http://www.isocell.at/uploads/media/IC\\_Prospekt\\_EN.pdf](http://www.isocell.at/uploads/media/IC_Prospekt_EN.pdf).
- (39) [http://pdf.joergkueper.de/alucobond\\_brandschutz\\_plus\\_a2.pdf](http://pdf.joergkueper.de/alucobond_brandschutz_plus_a2.pdf).
- (40) Hesselbach J., Herrmann C.I.; Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing; [http://books.google.de/books?id=ZE9\\_BXSVoTwC&pg=PA331&lpg=PA331&dq=steel+sheet+production+kj/kg&source=bl&ots=xN6uyDdxos&sig=3W-ZV08CTKjqj6E5o5DL7J3v2F0&hl=en&sa=X&ei=BR\\_3U9L5JMed0AW3uYCwDg&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q=steel%20sheet%20production%20kj%2Fkg&f=false](http://books.google.de/books?id=ZE9_BXSVoTwC&pg=PA331&lpg=PA331&dq=steel+sheet+production+kj/kg&source=bl&ots=xN6uyDdxos&sig=3W-ZV08CTKjqj6E5o5DL7J3v2F0&hl=en&sa=X&ei=BR_3U9L5JMed0AW3uYCwDg&ved=0CDAQ6AEwAA#v=onepage&q=steel%20sheet%20production%20kj%2Fkg&f=false).
- (41) [http://www.goltz-seile.de/Katalog2006/Edelstahlseile\\_Zubehoer\\_182\\_228.pdf](http://www.goltz-seile.de/Katalog2006/Edelstahlseile_Zubehoer_182_228.pdf).
- (42) <http://www.feld-eitorf.de/blech-stahl-vz-starke-1-0-mm#plate>.
- (43) <http://www.duengerexperte.de/substrate/perlhumusr.html>.
- (44) [http://www.pronagard.de/Endverbraucherpreisliste2013\\_A4.pdf](http://www.pronagard.de/Endverbraucherpreisliste2013_A4.pdf).
- (45) <https://www.stegplattenshop.com/bleche2/trapezbleche/trapezbleche-35207-ral-9002.html>.
- (48) <http://www.calculator.net/concrete-calculator.html?slablength=100&slablengthunit=centimeter&slabwidth=100&slabwidthunit=centimeter&slabthick=1&slabthickunit=centimeter&slabquantity=1&slabcal=Calculate&holediameter=2.5&holediameterunit=foot&holedepth=6&holedepthunit=foot&holequantity=1&tubediameter=5&tubediameterunit=foot&tubeindiameter=4&tubeindiameterunit=foot&tubedepth=6&tubedepthunit=inch&tubequantity=1>.
- (49) <http://www.hornbach.de/shop/Trennwandplatte-Rockwool-Sonorock/3894153/artikel.html>.
- (50) <https://www.gemmel-metalle.de/edelstahl/bleche/1.4301/1.html>.
- (52) <http://www.thyssenkruppaerospace.com/materials/aluminium/aluminium-sheet/weight-calculations.html>.
- (53) [www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html](http://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint-database.html).
- (54) Sustainable Textiles: Life Cycle and Environmental Impact edited by R.S. Blackburn.
- (55) [http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/Rockwool\\_v2.2\\_2012.pdf](http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/Rockwool_v2.2_2012.pdf).

Abb. 1.1: Charakterisierung der im Test befindlichen WB.	11
Abb. 1.2: Vereinfachte Darstellung des Versuchsaufbaus an der Hochschule Neubrandenburg; Versuchsinstitutionen und Bewässerung der Systeme.	13
Abb. 1.3: Beispiel eines neuen WB aus Italien.	13
Abb.2.a: Prinzipieller Aufbau von WB mit „Brandschutz-Barrieren“.	25
Abb. 2.1: Selbstbau 2010 – Installationen – Drei – Jahres-Versuch.	27
Abb. 2.2: Prozentsatz der Feinpartikel „Sand“ in den Substraten (kleiner 2 mm).	30
Abb. 2.3: Prozentsatz der Kiespartikel (größer 2 mm).	30
Abb. 2.4: Geschwindigkeit der Wasserinfiltration.	30
Abb. 2.5: Die Bewässerung der unterschiedlichen Module im Jahr 2011.	33
Abb. 2.6: Aufbau und Entwicklung der Innenraumbegrünungswand, April 2012bis November 2013.	35
Abb. 2.7: Wasserverbrauch der begrüneten Innenwand im Jahr 2013 (Wasserstand im Vorratsbehälter).	36
Abb. 2.8: Winterhärtezonenkarte (aus: Heinze u.Schreiber, 1984, Bärtels 2001).	37
Abb. 2.9: Maximale und durchschnittliche Zahl an Eistagen in den Wintermonaten, Werte aus 17 Jahren.	38
Abb. 2.10: Installation der Log 32-Datenlogger.	42
Abb. 2.11: Exemplarische Temperaturwerte eines Sommertags 25.07.2012.	43
Abb. 2.12: Exemplarischen Tageswerte der relativen Luftfeuchtigkeit, Beispiel des Tagesgang eines Sommertages vom 25.07.2012.	43
Abb. 2.13: Winterwerte 06.02.2012 Temperatur.	44
Abb. 2.14: Winterwerte 06.02.2012 Relative Luftfeuchtigkeit.	45
Abb. 2.15: Temperaturdiagramm 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage.	45
Abb. 2.16: Relative Luftfeuchtigkeit 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage.	47
Abb. 2.17: Temperaturdiagramm 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage.	48
Abb. 2.18: Relative Luftfeuchtigkeit 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage.	49
Abb. 2.19: Temperaturdiagramm 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage.	50
Abb. 2.20: Relative Luftfeuchtigkeit 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage.	51
Abb. 2.21: Positionen der Log-32 Sensoren vor der Wandbegrünung und vor den unbegrüneten Vergleichswand.	52
Abb. 2.22: Temperaturdiagramm 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage.	53
Abb. 2.23: Beispielhafter Einzeltagesgang vom 30.01.2014 mit besonders niedrigen Temperaturen (Module flächig -Vivagrün).	55
Abb. 2.24: Relative Luftfeuchtigkeit 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage, Module flächig (Vivagrün).	55
Abb. 2.25: Taupunkt 29.01.2014 – 24.02.2014, für 26 Tage, Module flächig (Vivagrün).	56
Abb. 2.26: Temperaturdiagramm 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage.	58
Abb. 2.27: 07.03.2014 Minimaltemperatur für die Sempergreen Module flächig (Sempergreen 2011).	58
Abb. 2.28: 10.03.2014 Maximal Temperatur für Module flächig (Sempergreen 2011).	59
Abb. 2.29: Relative Luftfeuchtigkeit 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage.	60
Abb. 2.30: Taupunkt 03.03.2014 – 11.03.2014, für 8 Tage.	61
Abb. 2.31: Temperaturdiagramm 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage.	63
Abb. 2.32: Tagesgang der 12.03.2014 Minimaltemperatur für Module flächig (Sempergreen 2013).	63
Abb. 2.33: Relative Luftfeuchtigkeit 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage.	65
Abb. 2.34: Taupunkt 11.03.2014 – 19.03.2014, für 8 Tage	66

Abb. 2.35: Sommerliche Temperatur, zwischen dem 01.08.2013. – 31.08.2013	68
Abb. 2.36: Relative Luftfeuchtigkeit– Tagesgang Diagramm 01.08.2013. – 31.08.2013	68
Abb. 2.37: Taupunkt – 01.08.2013. – 31.08.2013, für 31 Tage	69
Abb. 2.38: Temperatur – Trendlinie- Diagramm 01.08.2013. – 31.08.2013, für 31 Tage.	70
Abb. 2.39: Relative Luftfeuchtigkeit – Trendlinie – Tagesgang Diagramm 01.08.2013. – 31.08.2013, 31 Tage.	71
Abb. 2.40: Taupunkt – Trendlinie 01.08.2013. – 31.08.2013, für 31 Tage.	71
Abb. 2.41: Infrarot-Tagesfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, die flächigen Module (Optigrün und 90DeGreen).	75
Abb. 2.41.a: Ansicht der Untersuchungswand.	75
Abb. 2.42: Infrarot-Nachtfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, die flächigen Module (Optigrün und 90DeGreen).	76
Abb. 2.43: Infrarot-Tagesfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Gabionen-Modul (Schadenberg).	76
Abb. 2.44: Infrarot-Nachtfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Gabionen-Modul (Schadenberg).	76
Abb. 2.45: Infrarot-Tagesfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Modul Sempergreen Nordfassade.	77
Abb. 2.46: Infrarot-Nachtfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Modul Sempergreen Nordfassade.	77
Abb. 2.47: Infrarot-Tagesfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Modul Sempergreen Südfassade.	77
Abb. 2.48: Infrarot-Nachtfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Modul Sempergreen Südfassade.	78
Abb. 2.49: Infrarot-Tagesfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Geovlies-Modul. (Vertiko).	78
Abb. 2.50: Infrarot-Nachtfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Geovlies-Modul (Vertiko).	78
Abb. 2.51: Infrarot-Tagesfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Modul Vivagreen.	79
Abb. 2.52: Infrarot-Nachtfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, Modul Vivagreen.	79
Abb. 2.53: Infrarot-Tagesfoto mit “Infratec-Varioscan” Kamera, links: Vertikalboxen (Vertiss), rechts Horizontalmodul Cultilene.	79
Abb. 2.54: Infrarotnachtfoto mit “Infratec Varioscan” Kamera, links: Vertikalboxen (Vertiss), rechts Horizontalmodul Cultilene	80
Abb. 3.1: Exemplarische Auswertung des Untersuchungsjahres 2012	91
Abb. 3.2: Mittlerer Multiplikationswert (Länge x Höhe) für jeweils eine Pflanze der entsprechenden Arten in den Untersuchungsjahren 2011 – 2014	99
Abb. 3.3: Deckungsgrade der Höheren Pflanzen.	99
Abb. 3.3.a: Ausgewählte Bilder zur visuellen Qualität der gabionenartigen WB.	100
Abb. 3.4: Modulare WB Typ „Kleine horizontale Kübel“ in Wien in Metallausführung, Detailsicht.	101
Abb. 3.5: Modulare WB aus Kunststoff an einem Gebäude in Frankreich.	101
Abb. 3.6: Modulare WB Typ „Kleine horizontale Kübel“ in Neubrandenburg 2011 – 2014.	102
Abb. 3.7 : Kenndaten zur Jahresentwicklung der „Kleinen Kübel“ mit durchgängig über 80% Vegetationsdeckung.	103
Abb. 3.8: Pflanzdetail Schnittlauch.	104
Abb. 3.9: Flächige Vertikalmodule, Beispiel A (Vivagrün“) in Neubrandenburg zwischen 2011 und 2014.	105
Abb. 3.10: Vegetationsbedeckung (Höhere Pflanzen und Moose in %) Termin (Oktober, August, Juli) Linke Reihe (5 Module).	106
Abb. 3.11: Vegetationsbedeckung (Höhere Pflanzen und Moose in %) Termin (Oktober, August, Juli) Mittlere Reihe (5 Module).	107

Abb. 3.12: Vegetationsbedeckung (Höhere Pflanzen und Moose in %) Termin (Oktober, August, Juli) Rechte Reihe (5 Module).	107
Abb. 3.13: WB Vivagreen, gepflanzte Pflanzenindividuen und deren Überleben .	108
Abb. 3.14: Flächiges Modul B: „Aluminiumkassetten“ mit differenziertem Substrataufbau aus Lava sowie inliegendem Geovlies.	109
Abb. 3.15: Anzahl der überlebenden Individuen der Erstbepflanzung aller verwendeten Arten in den vier Untersuchungsjahren 2011-2014.	111
Abb. 3.16: Entwicklung des Deckungsgrades in den vier Untersuchungsjahren.	112
Abb. 3.17: Entwicklung der 18 Arten in den zehn Pflanzboxen über vier Jahren.	115
Abb. 3.18: Visuelle Qualität WB C 2011-2014.	117
Abb. 3.19: Deckungsgrad höherer Pflanzen in den 8 Pflanzboxen Nord.	119
Abb. 3.20: Deckungsgrad höherer Pflanzen in Prozent der vier Reihen Pflanzenboxen im Vergleich der vier Untersuchungsjahre.	120
Abb. 3.21: Gibt es einen Unterschied in der Entwicklung des Deckungsgrades zwischen den Positionen innerhalb der WB?	121
Abb. 3.22: Prozentuale Bedeckung mit Höheren Pflanzen und Moosen in den Untersuchungsjahren 2013 und 2014 auf den acht Süd-exponiert montierten Modulen von Sempergreen.	122
Abb. 3.23: Südfassade, die ersten zwei Jahre 2013 und 2014; Werte aller acht Sempergreen Module zusammen.	123
Abb. 3.24: Visuelle Qualität der WB D, Steinwollemoduls (90degreeen).	125
Abb. 3.25: WB D „90degreeen“; Entwicklung des prozentualen Deckungsgrades.	126
Abb. 3.26: Visuelle Qualität der WB E 2012-2014.	128
Abb. 3.27: WB E: Anzahl und Deckungsgrad nur der der erstgepflanzten Arten.	129
Abb. 3.28: Beispiel einer Bauweise mit Geovlies und Dominanz von Moosen.	130
Abb. 3.29: Moos-Dominierter Geovlies – Aufbau.	131
Abb. 3.30: Vertikale Innenraumbegrünung eines Anbieters für vertikale Hydrokulturpflanzen im langfristigen Vergleich.	132
Abb. 3.31: WB Geovlies-Eigenbau - Innenraum – Wandmodul.	133
Abb. 3.32: Innenraum WB für Küchenkräuter.	134
Abb. 3.33a: Impressionen zu einzelnen Pflanzen von den Versuchswänden während der letzten zwei Jahre, Teil 1.	141
Abb. 3.33.b: Impressionen zu einzelnen Pflanzen von den Versuchswänden während der letzten zwei Jahre, Teil 2.	142
Abb. 4.1: Schematische Darstellung – Kosten-Nutzen-Abschätzung, Beispiel Simon v. Utrecht Str. (aus: Betzler 2012).	145
Abb. 4.2: Herstellung Energieverbrauch für alle Beispiele, für ein kg in KJ.	159
Abb. 4.3: Energiebedarf für die Herstellung eines Quadratmeters der WB in KJ/m <sup>2</sup> .	159
Abb. 4.4: Energie als eingebundenes Kohlenstoff Äquivalent, Embodied Carbon (CO <sub>2</sub> e/Kg).	160
Abb. 4.5: Gebundener Kohlenstoff /m <sup>2</sup> , Embodied Carbon/m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> ).	160
Abb. 4.6: Preis für alle WB, Beispiele.	161
Abb. 4.7: Wiederverwendung (KJ/Kg), Energieverbrauch für alle Beispiele beim Recycling.	161
Abb. 5.1: Wandaufbau und Entscheidung für eine Begrünungsweise.	164
Abb. 5.2: Kosten der automatischen Bewässerung in Abhängigkeit zur Größe der WB.	168
Abb. 5.3: Gerüstkletterer bei der Installation einer Wandbegrünung in Paris (Oktober, 2013, Foto von F.Lassalle, Vivagreen).	169
Abb. 5.4: Beispiel eines WB, als Weltkarten gestaltet ist – nur mit häufigem Nachpflanzen in dieser Qualität zu erhalten. (Singapur im November 2013).	175
Abb. 5.5: Beispiel für technisches Jalousiesystem zur Verschattung sowie Wisteria als Alternative.	176
Abb. 5.6: Vereinfachte Darstellung der Anfangskosten einer WB.	178
Abb. 5.7: Mittlere jährliche Unterhaltungskosten Abb.	178



Abb. 5.8: Beispielfotos für Bodengebunden, Jalousie, WB.	178
Abb. 5.9: Zusammenfassende Übersicht zu Lebenszykluskosten von WB.	179
Abb. 6.1. a i: Von der amerikanische „Single home solution“, vielleicht mit Begrünung als „Green washing“ bis hin zur Grünen Infrastruktur mit Wohlfühlfaktor.	182
Abb. A1: Arbeitsplan.	199
Abb. A.2: Boden-Sieblinien.	200
Abb. A.3: Vertiss Korngrößen.	200
Abb. A.4: Schadenberg Korngrößen.	200
Abb. A.5: Ulopor Korngrößen.	200
Abb. A.6: Sabarroof Korngrößen.	200
Abb. A.7: Optigrün Korngrößen.	201
Abb. A.8: Zeobon Korngrößen.	201
Abb. A.9: Vivagreen Korngrößen.	201
Abb. A.10: Klima.	202
Abb. A10.1: Log-32-Dateien, Messzeiträume.	202

### Tabellen:

Tab. 2.1: Mögliche Untersuchungen an Materialien.	17
Tab. 2.2: Beispielhafte Verfahren und deren Vorschriften zu Untersuchungen an Materialien der WB.	18
Tab. 2.3.a: Ergebnisse der thermogravimetrischen Analysen an Vlies- und Dämmstoffen sowie einem Kunststoffbehälter.	20
Tab. 2.3.b: Untersuchte Materialien AG Malorny.	21
Tab. 2.3.c: Ergebnisse der Messungen von Höchstzugkraft und Dehnung bei Höchstzugkraft emäß DIN EN 29073: Prüfverfahren für Vliesstoffe, Teil 3.	21
Tab. 2.4: Test von fünf kommerziellen WBs-Systemen, die in England verfügbar sind.	23
Tab. 2.5: Beispielhafte Übersicht zu Brandschutz –Prüfverfahren, die auch für Materialien der WB in Frage kommen.	24
Tab. 2.6: Normen für die simulierte Bewitterung von Kunststoffen.	26
Tab. 2.7: Zusammenfassung der prozentualen Verteilung der Größenklassen von Sand- und Kiesanteilen in ausgewählten Substraten von WB.	28
Tab. 2.8: Neue Substrate und Zuschlagstoffe für den Test 2014.	28
Tab.2.8.a: Max. Wasserkapazität, Infiltrationsgeschwindigkeit, PH-Wert und Leitfähigkeit.	28
Tab. 2.9: Bandbreite der Verdunstungsleistungen aus Trägermaterialien von WB. Angaben in Liter/m <sup>2</sup> x cm Material – jeweils sommerliche Tageswerte.	29
Tab. 2.10: Exemplarische Verdunstungswerte –Sommerwerte im Juli - verschiedener Geovliese, die bei WB verwendet werden.	29
Tab. 2.11: Geschwindigkeit der Wasserinfiltration (nach der FLL- Dachbegrünungsrichtlinie von 2008).	30
Tab. 2.12: Elektrische Leitfähigkeit und pH-Werte unterschiedlicher Substrate.	31
Tab. 2.13: Maximale sommerliche Lichtversorgung an den Fassaden (23.Juli:11:30) in PAR	32
Tab. 2.14: Bewässerungstabelle 2012/2013 als ungefähre Angaben in Liter/Tag x m <sup>2</sup> (Test am 23.07.2013).	
Tab. 2.14: Bewässerungstabelle 2012/2013, Tageswert 23.07.2013.	34
Tab. 2.15: Bewässerungstabelle 2014 als Angaben in Liter/Tag x m <sup>2</sup> (Sommerlaufzeit).	34
Tab. 2.16: Bewässerungstabelle 2012/2013 als Angaben in Liter/Tag x m <sup>2</sup> (Herbstlaufzeit).	34
Tab. 2.17: Düngertabelle Innenraumbegrünung.	35

Tab. 2.18: Wasserverbrauch der Innenwand.	36
Tab. 2.19: Anzahl der Eistage seit 1997, gemessen in 2m Höhe (Proplant-Daten vom Flughafen Neubrandenburg).	39
Tab. 2.20: Anzahl Frost und Eistage an den WB im Vergleich mit NB-Trollenhagen und dem Dach der Hochschule, exemplarisch für den Winter 2012/2013.	40
Tab. 2.21: Beschreibende Statistik für den Messzeitraum 29.01.2014 – 24.02.2014.	46
Tab. 2.22: Korrelationen der Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014.	46
Tab. 2.23: Beschreibenden Statistik, rel. Feuchte vom 29.01.2014 – 24.02.2014.	47
Tab. 2.24: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchtigkeit vom 29.01.2014 – 24.02.2014.	47
Tab. 2.25: Beschreibende Statistik für den Messzeitraum 03.03.2014 – 11.03.2014.	48
Tab. 2.26: Korrelationen der Temperaturen vom 03.03.2014 – 11.03.2014.	48
Tab. 2.27: Beschreibenden Statistik, rel. Feuchte vom 03.03.2014 – 11.03.2014.	49
Tab. 2.28: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchtigkeit vom 03.03.2014 – 11.03.2014.	49
Tab. 2.29: Beschreibende Statistik für den Messzeitraum 11.03.2014 – 13.03.2014.	50
Tab. 2.30: Korrelationen der Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014.	50
Tab. 2.31: Beschreibenden Statistik, rel. Feuchte vom 11.03.2014 – 13.03.2014.	51
Tab. 2.32: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchtigkeit vom 11.03.2014 – 13.03.2014.	51
Tab. 2.32: Beschreibende Statistik für den Messzeitraum 29.01.2014 – 24.02.2014.	53
Tab. 2.33: Korrelationen der Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014.	54
Tab. 2.34: Beschreibenden Statistik, rel. Feuchte vom 29.01.2014 – 24.02.2014.	55
Tab. 2.35: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchtigkeit von 29.01.2014 – 24.02.2014.	56
Tab. 2.36: Beschreibende Statistik, 29.01.2014 – 24.02.2014.	57
Tab. 2.37: Korrelationstabelle für alle Taupunkte vom 29.01.2014 – 24.02.2014.	57
Tab. 2.38: Beschreibende Statistik, von 03.03.2014 – 11.03.2014.	59
Tab. 2.39: Korrelationstabelle der Temperaturen vom 03.03.2014 – 11.03.2014.	59
Tab. 2.40: Beschreibende Statistik der relativen Feuchte vom 03.03.2014 – 11.03.2014.	61
Tab. 2.41: Korrelation der relativen Luftfeuchtigkeit vom 03.03.2014 – 11.03.2014.	61
Tab. 2.42: Beschreibende Statistik zum Taupunkt vom 03.03.2014 – 11.03.2014.	62
Tab. 2.43: Korrelationstabelle für den Taupunkt vom 03.03.2014 – 11.03.2014.	62
Tab. 2.44: Beschreibende Statistik 11.03.2014 – 19.03.2014.	64
Tab. 2.45: Korrelationstabelle für Temperaturen vom 11.03.2014 – 19.03.2014.	64
Tab. 2.46: Beschreibende Statistike relative Feuchtigkeit zwischen 11.03.2014 – 19.03.2014.	65
Tab. 2.47: Korrelationstabelle für relative Luftfeuchtigkeit vom 11.03.2014 – 19.03.2014.	66
Tab. 2.48: Beschreibende Statistik für den Taupunkt vom 11.03.2014 – 19.03.2014.	66
Tab. 2.49: Korrelationstabelle für den Taupunkt vom 11.03.2014 – 19.03.2014.	67
Tab. 2.50: Beschreibende Statistik vom 01.08.2013. – 31.08.2013.	67
Tab. 2.51: Korrelationstabelle für Temperaturen vom 01.08.2013. – 31.08.2013.	68
Tab. 2.52: Statistik der relative Feuchte vom 01.08.2013–31.08.2013.	68
Tab. 2.53: Korrelationstabelle für die relative Feuchte vom 01.08.2013–31.08.2013.	69
Tab. 2.54: Beschreibende Statistik des Taupunktes vom 01.08.2013. – 31.08.2013.	69
Tab. 2.55: Korrelationstabelle für den Taupunkt vom 01.08.2013. – 31.08.2013.	69
Tab. 2.56: Beschreibende Statistik der Temperatur vom 01.08.2013. – 31.08.2013.	70
Tab. 2.57: Korrelationstabelle für Temperaturen vom 01.08.2013. – 31.08.2013..	70
Tab. 2.58: Beschreibende Statistik der relative Luftfeuchte 01.08.2013. – 1.08.2013.	71
Tab. 2.59: Korrelationstabelle der relativen Luftfeuchte 01.08.2013. – 31.08.2013.	71
Tab. 2.60: Beschreibende Statistik des Taupunktes 01.08.2013. – 31.08.2013.	72
Tab. 2.61: Korrelationstabelle des Taupunktes 01.08.2013. – 31.08.2013.	72
Tab. 2.62: Infrarot-Temperaturdifferenzen im Sommer, (tropischer Tag;	74

23.07.2013, Werte mittags, Werte morgens, ca. 4:00).

Tab. 3.0: Wertungskategorien für die WB.	82
Tab. 3.1: Technische Daten ein WB-Gabionensystem (Beispiel Schadenberg).	85
Tab. 3.2: Technische Daten für die getesteten Kleinen Kübel (Beispiel: Vertiss).	85
Tab. 3.3: Technische Daten für Kleine Kübel (Beispiel: Selbstbau 2011).	86
Tab. 3.4: Technische Daten flächige Module (Beispiel: Optigrün).	86
Tab. 3.5: Technische Daten: flächige Module (Beispiel: Sempergreen).	86
Tab. 3.6: Technische Daten flächige Module (Beispiel: Vivagreen).	87
Tab. 3.7: Technische Daten flächige Module (Beispiel: Cultilene).	87
Tab. 3.8: Technische Daten für flächige Module (Beispiel: 90DeGreen).	87
Tab. 3.9: Technische Daten für flächige Module (Beispiel: Selbstbau 2010).	88
Tab. 3.10: Technische Daten für Geovlies (Beispiel: Vertiko).	88
Tab. 3.11: Technische Daten für Geovlies (Beispiel: Selbstbau Innenwand).	88
Tab. 3.12: Auswahlkriterien zum Bepflanzungsprinzip von WB.	89
Tab. 3.13: Entwicklung von Pflanzenarten in den unterschiedlichen WB.	92
Tab. 3.14: Beschreibung des Gabionentyp.	97
Tab. 3.15: Entwicklung der Pflanzenarten im Gabionentyp.	98
Tab. 3.16: Übersicht zum Gabionentyp.	101
Tab. 3.17: Übersicht zum Begrünungstyp „Kleine Kübel“.	103
Tab. 3.18: Übersicht „Kleine Kübel“, Bewertungskriterien.	104
Tab. 3.19: Übersicht zur flächigen WB A „Vivagreen“.	108
Tab. 3.20: WB A, Bewertungskriterien.	108
Tab. 3.21: Mittelwerte und Standardabweichung zwischen den Jahren.	111
Tab. 3.22: Regressionsanalyse der unterschiedlichen Jahre.	112
Tab. 3.23: Ähnlichkeit zwischen den zehn Boxen innerhalb der 4 Jahre.	113
Tab. 3.24: :Correlationsmatrix aller zehn Boxen in den vier Jahren.	113
Tab. 3.25: Übersicht zum flächigen Vertikalmodul B „Optigruen“.	115
Tab. 3.26: Entwicklung der Pflanzenarten nach dem ersten Sommer, 2011.	116
Tab. 3.27: Vertikalmodul B, Bewertungskriterien.	116
Tab. 3.28: Übersicht zum Vertikalmodul C, „Sempergreen“.	123
Tab. 3.29: Übersicht WB C, „Sempergreen“, Gesamteinschätzung.	124
Tab. 3.30: Übersicht WB D „90degreeen“ – Aufbau.	127
Tab. 3.31: Übersicht WB D „90degreeen“, Wertungskriterien.	127
Tab. 3.32: Übersicht zum Vertikalmodul E „Cultilene“ – Aufbau.	129
Tab. 3.33: Übersicht zum Vertikalmodul E „Cultilene“, Wertungskriterien.	129
Tab. 3.34: Übersicht zum Geovliesmodul „Vertiko“ – Aufbau.	131
Tab. 3.35: Geovliesvariante; Wertungskriterien.	131
Tab. 3.36: WB Innen, „Hydrokultur“.	132
Tab. 3.37: WB Innen Übersicht „Hydrokultur“.	133
Tab. 3.38: WB Innen, Geovliesvariante.	133
Tab. 3.39: WB Innen, Einschätzung Geovliesvariante.	134
Tab. 3.40: Übersicht zum vertikalen Modulsystem Innen.	134
Tab. 3.41: Einschätzung des vertikalen Modulsystem Innen.	135
Tab.3.42: Zusammenfassende Pflanzentabelle.	136
Tab. 4.1: Energetische Charakterisierung WB und bodengebundenen Begrünungen mit Kletterpflanzen.	149
Tab. 4.2: WB - Charakterisierung: Gabionensysteme.	150
Tab. 4.3: WB – Charakterisierung: Kleine Kübel Variante 1.	151
Tab. 4.4: WB – Charakterisierung: Kleine Kübel Variante 2.	152
Tab. 4.5: WB – Charakterisierung: Wandmodule Variante 1.	153
Tab. 4.6: WB – Charakterisierung: Wandmodule Variante 2.	154
Tab. 4.7: WB – Charakterisierung: Wandmodule Variante 3.	155
Tab. 4.8: WB – Charakterisierung: Wandmodule Variante 4.	156
Tab. 4.9: WB – Charakterisierung: Wandmodule Variante 5.	157
Tab. 4.10: WB – Charakterisierung: Geovlies.	158

Tab. 5.1: Übersicht der Vor- und Nachteile der vier beschriebenen WB.	164
Tab. 5.2: Checkliste, Anforderungen an WB.	165
Tab. 5.3: Durchschnittliche Haltbarkeit von WB - Bauteilen.	166
Tab. 5.4: Kosten für die automatisierte Bewässerungssteuerung.	167
Tab. 5.5: Pflegeaufwand in Minuten.	170
Tab. 5.6: Pflege (Schnitt, Nachpflanzung) der unterschiedlichen WB.	171
Tab. 5.7: Übersichtsmatrix der Entscheidungen..	172
Tab. 5.8: Vergleich Technisches Verschattungssystem versus pflanzlichem System.	176
Tab. A.10.2: Winter 2011 - 2013 Proplant.	202
Tab. A.10.3: Winter 2011 - 2013 Log32 Dach.	203
Tab. A.10.4: Sommer 2011 - 2013 Log32 Dach.	203
Tab. A.10.5: Winter 2011 - 2013 Log32 Holzwand.	203
Tab. A.10.6: Sommer 2011 - 2013 Log32 Holzwand.	203
Tab. A.10.7: Winter 2011 - 2013 Log32 Innenhof unbegrünt.	207
Tab. A.10.8: Sommer 2011 - 2013 Log32 Innenhof unbegrünt.	207
Tab. A.10.9: Winter 2011 - 2013 Log32 Vertiko Süd.	207
Tab. A.10.10: Sommer 2011 - 2013 Log32 Vertiko Süd.	207
Tab. A.10.11: Winter 2011 - 2013 Log32 Optigrün 60cm.	205
Tab. A.10.12: Sommer 2011 - 2013 Log32 Optigrün 60cm.	205
Tab. A.10.13: Sommer 2011 - 2013 Log32 Optigrün Vlies.	205
Tab. A.10.14: Winter 2011 - 2013 Log32 90Degreeen Hinten.	205
Tab. A.10.15: Sommer 2011 - 2013 Log32 90Degreeen Hinten.	206
Tab. A.10.16: 2013 Log32 Vivagreen Vorne.	206
Tab. A.10.17: 2013 Vivagreen Hinten.	206
Tab. A.2.32.a-o: Varianzanalyse (Anova). Temperaturen 9.01.2014-24.02.2014.	207
Tab. A 11: Pflanzenentwicklung WB 90degreeen 2011-2014.	209
Tab. A 12: Pflanzenentwicklung der WB Optigrün 2011-2014.	214
Tab. A13: Pflanzenentwicklung Sempergreen Süd, aufgebaut 2013.	215
Tab. A13a: Überlebenstab. Sempergreen Nord.	216
Tab. A.14: Pflanzenentwicklung Vertiko 2011-2014.	217
Tab. A.15: Pflanzenentwicklung Vertiss 2011-2014 einschl.Nachpflanzung.	219
Tab. A.16: Pflanzenentwicklung Sempergreen Nordfassade, Teilmodul 8.	220

Arbeitsplan:

Abb. A1: Arbeitspakete und Meilensteine

Hochschule  
Neubrandenburg

Arbeitspakete und Meilensteine		Mona t	20	2013												2014															
			12	Q1			Q2			Q3			Q4			Q1		Q2			Q3		Q4								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
<b>AP 1</b>	<b>Laboruntersuchungen</b>																														
1.1	Kick Off Veranstaltung	M2																													
1.2	Testverfahren Geovliese/Trägermaterialien	M2-M13																													
1.3	Testverfahren Substrate	M2-M13																													
1.4	Testsystem Geovliese/Substrate	M8-M16																													
M S1	FBB-Seminar-Zwischenergebnisse & Konsultationen	M9																													
M S2	Arbeitsgruppensitzung	M11																													
<b>AP 2</b>	<b>Untersuchungen und Messungen an installierten Wänden</b>																														
2.1	Montage/Überarbeitung Testsysteme	M1-M4																													
2.2	Testverfahren Pflanzenarten	M3-M19																													
2.3	Wasserverbrauch der Testfassaden	M3-M19																													
2.4	Bauphysikalische Messungen/Berechnungen	M3-M19																													
2.5	Lifecycle Analyse	M8-M19																													
2.6	Erarbeitung von Empfehlungen für den Einbau von Living Walls in die Gebäudehülle	M19-M24																													
2.7	Erarbeitung von Empfehlungen für die FLL-Richtlinie	M19-M24																													
M S3	Abschlussbericht	M24																													

Abb. A2: Boden-Sieblinien (eigene Labormessungen).

Abb. A.3: Vertiss Korngrößen.

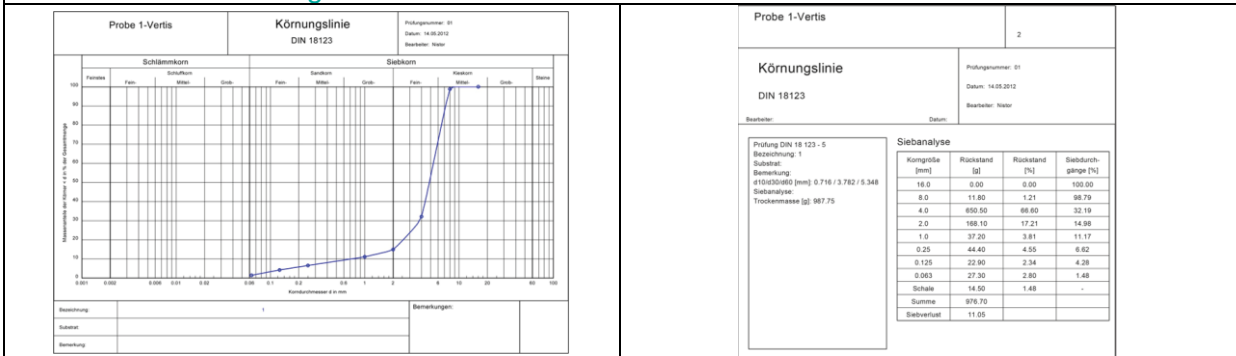


Abb. A.4: Schadenberg Korngrößen.

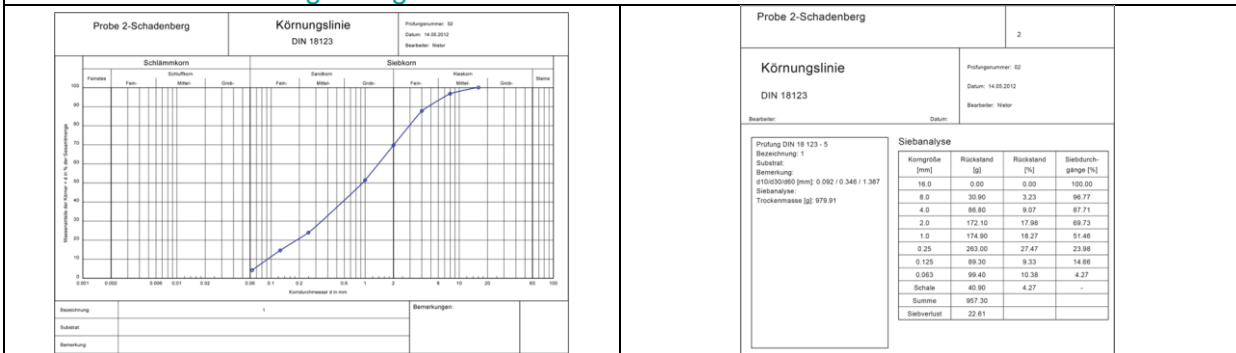


Abb. A.5: Ulopor Korngrößen.

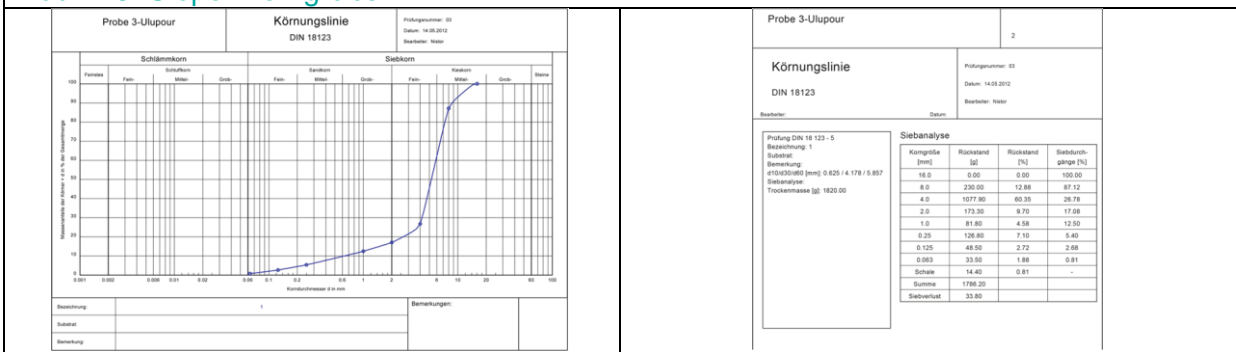


Abb. A.6: Sabarhof Korngrößen.

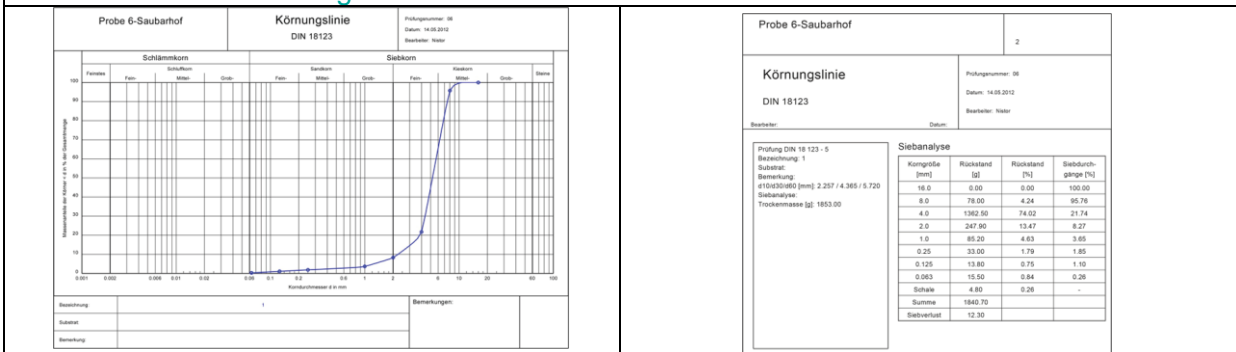




Abb. A.7: Optigrün Korngrößen.

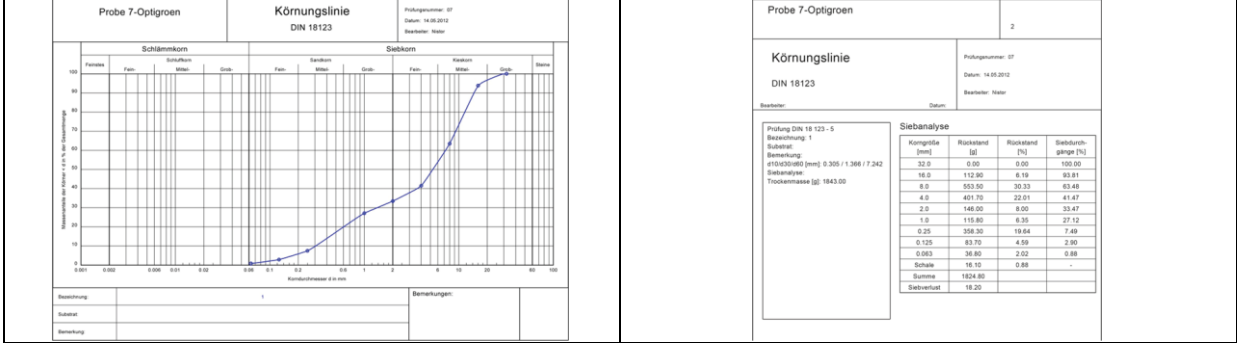


Abb. A.8: Zeobon Korngrößen.

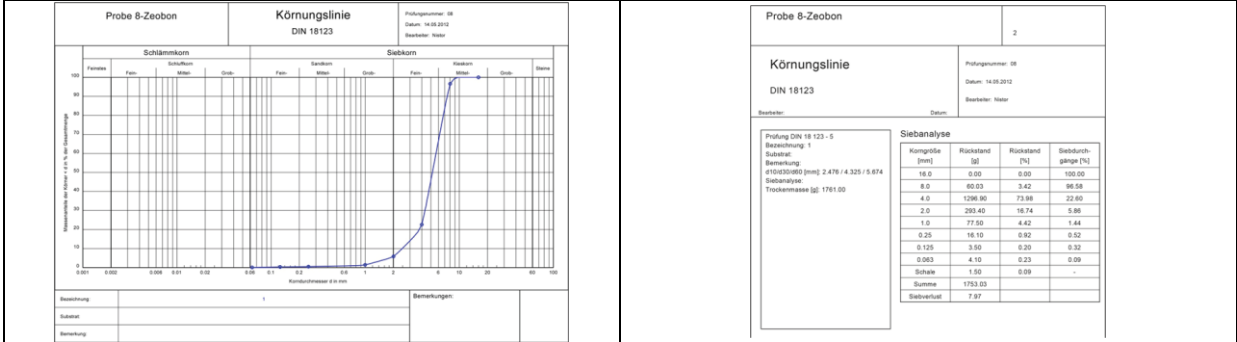


Abb. A.9: Vivagreen Korngrößen.

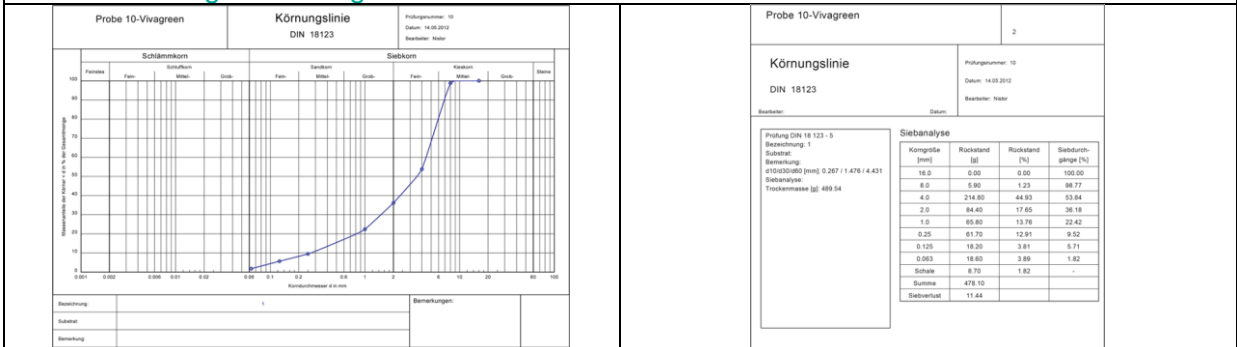


Abb. A.10: Klima.

Abb. A.10.1: Log-32-Dateien, Messzeiträume

Ablesedatum:
>>VON: <b>20.01.2012</b> 13:56:04 BIS: <b>21.03.2012</b> 10:26:04
>>VON: <b>21.03.2012</b> 10:53:15 BIS: <b>23.05.2012</b> 10:53:15
>>VON: <b>23.05.2012</b> 12:54:24 BIS: <b>08.08.2012</b> 13:24:24
>>VON: <b>08.08.2012</b> 13:58:19 BIS: <b>05.12.2012</b> 15:28:19
>>VON: <b>05.12.2012</b> 15:00:29 BIS: <b>04.03.2013</b> 10:30:29
>>VON: <b>04.03.2013</b> 10:53:43 BIS: <b>24.04.2013</b> 10:53:43
>>VON: <b>24.04.2013</b> 12:02:07 BIS: <b>02.07.2013</b> 10:02:07
>>VON: <b>02.07.2013</b> 11:00:55 BIS: <b>04.09.2013</b> 12:00:55

Einige bemerkenswerte Einzeldaten aus dieser Zeit:

Max. Temperatur von 23,5°C im April 2012.

Min. Temperatur -21 °C im Februar 2012.

April 2012: Max. Sonnenscheindauer betrug 11,5 Stunden.

März 2012: 27 Tage mit Sonnenschein.

Dezember 2011: 25 Tage Regen.

Februar 2012: extrem Trocken, Rel. Luftfeuchtigkeit 29,5%.

Tab. A.10.2: Winter 2011 - 2013 Proplant.

Winter 2011- 2013 Proplant	2011		2012				2013					
	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr	Nov	Dez	Jan	Feb	März	Apr
Maximaltemp.	15. 6	12	11.4	10.5	17.8	<b>23.5</b>	11.8	9.2	11.8	6.3	10.9	21. 9
Minimaltemp.	-4.8	-0.7	- 10.5	<b>- 21.1</b>	-4.7	-3.5	-3	-18	- 12.1	-5.9	-12.7	-5.4
Sonnenschein- dauer max	8.6	3.2	7.7	9.2	11	<b>11.5</b>	7.8	6.5	5.7	9.3	10.7	12. 7
Tage mit Sonnenschein	19	20	17	22	<b>27</b>	24	13	10	16	15	24	28
Tage mit Niederschlag	3	<b>25</b>	16	18	7	12	19	19	19	16	13	6
Niederschlag max	0.8	6.3	8	2.8	3.6	8	<b>10.3</b>	8.6	17.4	5.9	4.1	13. 1
Luftfeuchte max	<b>100</b>	<b>100</b>	96.7	95.1	88.4	91.8	<b>100</b>	<b>100</b>	99.3	97.8	93.1	96
Luftfeuchte min	66. 8	72.1	35.1	<b>29.5</b>	38.1	34.9	61.6	70.6	69.5	60.2	36.3	35. 6
<b>Anzahl Frosttage</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>0</b>
Taupunkt max							8.1	8.7	11	5.2	3.1	13. 8

Tab. A.10.3: Winter 2011 - 2013 Log32 Dach.

Winter 2011-2013 Log 32 dach	2011		2012				2013					
	Nov-	Dezember	20 Jan	Feb	März	Apr	Nov	Dezember	Jan	Feb	März	Apr
Maximal temp.	13.3	12.2	5.05	11.35	20.45	29.25	<b>31.6</b>	9.6	11.4	8	15	23.8
Minimal temp.	-4.2	-0.5	-9.95	<b>-21.5</b>	-3.8	-3.65	4.6	-12.2	-9.2	-9.25	-13.5	-8.1
Taupunkt med			-5.4	<b>-6.45</b>	0.7	4.5	10.65	-0.82	-0.83	-0.9	-4.84	2.61
Luftfeuchte max	89.3	87.2	98.9	<b>100</b>	<b>100</b>	99.9	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	97.9	<b>100</b>
Luftfeuchte min	9.1	<b>2.2</b>	37.7	35.25	35.7	30.8	35.4	66.65	60.5	58.95	33	22.9
<b>Anzahl Frosttage</b>			<b>5</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

Tab. A.10.4: Sommer 2011 - 2013 Log32 Dach.

Sommer 2012-2013 Log 32 dach	2012						2013					
	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Mai	Jun	July	Aug	September	Oktober
Maximal temp.	31.2	34.1	36.65	35.8	31.1	23.9	28.3	33.8	<b>39.3</b>	36.3		
Minimal temp.	2.15	4.95	10.7	7.25	4.75	<b>-2.15</b>	3.1	4	8.4	8.8		
Taupunkt med	7.53	69.05	<b>13.74</b>	13.72	10.66	<b>7.06</b>	10.2	11.9	14.24	13.64		
Luftfeuchte max	98.3	98.7	<b>100</b>	<b>100</b>	99.75	99.9	<b>100</b>	99.7	99.6	<b>100</b>		
Luftfeuchte min	22.05	30.3	<b>21.1</b>	34.35	35.95	47.05	30.3	30.9	22.7	32.2		

Tab. A.10.5: Winter 2011 - 2013 Log32 Holzwand.

Winter 2011-2013 Log 32 H3 Holzwand unbegrünt	2011		2012				2013					
	Nov-11	Dezember 2011	20 Jan 2012	Feb-12	März 2012	Apr-12	Nov-12	Dezember 2012	Jan-13	Feb-13	März 2013	Apr-13
Maximal temp.				11.9	22.4	<b>28.7</b>	12.4	9.6	11.1	8.4	14	21.7
Minimal temp.				<b>-19.1</b>	-2.6	-2.2	-1.9	-10.7	-8.3	-7.2	-11.6	-5.7
Taupunkt med				<b>-3.7</b>	2.8	3.2	4.11	-1.0	<b>0.99</b>	-1.0	-4.9	2.7
Luftfeuchte max				97.6	96.3	95.9	96.8	98.4	<b>99.3</b>	96.9	90.6	98.3
Luftfeuchte min				33.2	33.9	<b>28.5</b>	62	66.1	58.6	61.3	36.4	29.3
<b>Anzahl Frosttage</b>				<b>11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

Tab. A.10.6: Sommer 2011 - 2013 Log32 Holzwand.

Sommer 2012-2013 Log 32 H3 Holzwand unbegrünt	2012						2013					
	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept.	Okt.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
Maximal temp.	35.9	32.3	39.7	36.2	29.5	22.4	31.8	39.7	<b>45.4</b>	41.2		
Minimal temp.	3.8	5.8	11.9	9	6.1	<b>-0.95</b>	2.5	6	10.4	10.5		
Taupunkt	7.5	10.1	13.6	13.5	10.3	<b>6.76</b>	8.8	11.6	14.3	13.4		
Luftfeuchte max.	94.3	94.9	96.35	<b>96.6</b>	95.6	96.8	95.2	94.4	94.8	95		
Luftfeuchte min	17.6	<b>1.15</b>	22.3	26.7	38.3	40.5	17.3	12.8	15.2	24.1		

Tab. A.10.7: Winter 2011 - 2013 Log32 Innenhof unbegrünt.

Winter 2011-2013 Log 32 Innenhof unbegrünt NH2	2011		2012						2013			
	Nov-11	Dezember 2011	20 Jan 2012	Feb-12	März 2012	Apr-12	Nov-12	Dezember 2012	Jan-13	Feb-13	März 2013	Apr-13
Maximal temp.				11.35	16.95	26.35	11.35	9.1	10.45	6.3	9.8	24
Minimal temp.				-18.85	-2.05	-2.1	-1.15	-10.2	-7.5	-7.3	-11.5	-5.7
Taupunkt				-3.45	3.2	3.56	4.7	-0.579	-0.573	-0.66	-4.51	3.44
Luftfeuchte max				99	98.2	96.4	98.45	99.75	100	98.85	95.5	98.3
Luftfeuchte min				40.4	44.1	33.75	68.4	72.45	63.3	64.45	48.3	28.5
Anzahl Frosttage				12	0	0	0	9	13	2	4	0

Tab. A.10.8: Sommer 2011 - 2013 Log32 Innenhof unbegrünt.

Sommer 2012-2013 Log 32 Innenhof unbegrünt NH2	2012						2013					
	Mai	Juni	July	August	Sept.	Okt.	Mai	Juni	July	August	Sept.	Okt.
Maximal temp.	34.1	37.8	38.8	35.5	24.6	18.1	34.1	37.7	42.4	39.5		
Minimal temp.	4.1	6.1	11.8	8.5	6.2	-1.45	2.7	6.2	10.4	10.1		
Taupunkt	7.6	10.3	14	13.9	10.8	7.21	9.2	11.7	14.1	13.6		
Luftfeuchte max	94.4	96.7	98.3	98.3	97.6	98.7	98	97.4	97.5	97.9		
Luftfeuchte min	21.6	23.5	24.8	30.8	47.7	58.5	23.9	21.2	17.8	29.1		

Tab. A.10.9: Winter 2011 - 2013 Log32 Vertiko Süd.

Winter 2011-2013 Log 32 Vertiko Süd H2	2011		2012						2013			
	Nov-11	Dezember 2011	20 Jan 2012	Feb-12	März 2012	Apr-12	Nov-12	Dezember 2012	Jan-13	Feb-13	März 2013	Apr-13
Maximal temp.				11.95	17.2	25.4	11.8	9.9	11.1	6.7	11.3	22.6
Minimal temp.				-19.1	-2.3	-2.3	-1.5	-10.6	-7.5	-7.5	-11.7	-6.1
Taupunkt				-2.9	3.6	4.0	5.3	0.2	0.01	-0.19	-4.0	3.87
Luftfeuchte max				98.8	97.7	97.2	99.3	100	100	99.2	95.6	98.6
Luftfeuchte min				41.5	44.3	34.8	71.7	76.2	63.5	62.3	44.7	29.4
Anzahl Frosttage				12	0	0	0	8	12	0	3	0

Tab. A.10.10: Sommer 2011 - 2013 Log32 Vertiko Süd.

Sommer 2012-2013 Log 32 Vertiko Süd H2	2012						2013					
	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oktober	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oktober
Maximal temp.	30.75	32.2	35.3	31.3	25.2	18.5	29.6	36.1	34	36.7		
Minimal temp.	3.6	5.8	11.6	8.55	5.9	-1.9	2.1	5.4	9.5	9.9		
Taupunkt	7.9	10.73	14.3	14.21	11.3	7.79	9.55	12.2	14.49	13.9		
Luftfeuchte max	95.6	96.6	98.1	98.1	98.1	99.5	97.9	97.3	98.2	97.5		
Luftfeuchte min	27.7	26.6	28.2	37.0	50.0	59.6	27	24.6	27.5	33.8		

Tab. A.10.11: Winter 2011 - 2013 Log32 Optigrün 60cm.

Winter 2011-2013 Log 32 Optigrün 60cm H3	2011		2012						2013			
	Nov-11	Dezember 2011	20 Jan 2012	Feb-12	März 2012	Apr-12	Nov-12	Dezember 2012	Jan-13	Feb-13	März 2013	Apr-13
Maximal temp.				13.1	24.4	28.9	12.6	10.4	10.8	9.5	16.5	24.5
Minimal temp.				-19.6	-3.2	-2.9	-2.6	-11.2	-8.5	-7.3	-12.1	-6.7
Taupunkt				-3.5	2.9	3.2	4.3	-0.7	-0.7	-0.7	-4.2	1.31
Luftfeuchte max				98.9	97.8	98	96.6	97.4	98.0	98.5	97.2	99.9
Luftfeuchte min				31.4	29.1	25.4	67.6	72.8	70.2	57.9	29.9	22.8
Anzahl Frosttage				11	0	0	0	8	11	1	1	1

Tab. A.10.12: Sommer 2011 - 2013 Log32 Optigrün 60cm.

Sommer 2012-2013 Log 32 Optigrün 60cm H3	2012						2013					
	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Oktober	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.
Maximal temp.	35.3	34.3	36.8	34.6	30.3	23.9			38.5	37.3		
Minimal temp.	2.7	5.5	11.1	8.3	5.3	-1.65			9.3	9.1		
Taupunkt	7.4	10.1	13.6	13.6	10.5	6.93			14.4	13.5		
Luftfeuchte max	97	97.6	98.55	96.6	93.4	95.1			98.9	99		
Luftfeuchte min	16.5	27.2	22.55	39.1	44.6	51.2			17.7	28.9		

Tab. A.10.13: Sommer 2011 - 2013 Log32 Optigrün Vlies.

Sommer 2012-2013 Log 32 Optigrün Vlies H3	2013						
	24 April 2013	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
Maximal temp.	28.6	33.3	34.9	39.1	37.8		
Minimal temp.	5.4	3	6.3	10.4	10		
Taupunkt	7.07	10.07	12.4	15.2	14.1		
Luftfeuchte max	96.2	98.3	97.7	97.8	97		
Luftfeuchte min	30.1	17.9	28.1	23.8	30.3		

Tab. A.10.14: Winter 2011 - 2013 Log32 90degreeen Hinten.

Winter 2011-2013 Log 32 90Degreeen Hinten H2	2011		2012						2013			
	Nov-11	Dezember 2011	20 Jan 2012	Feb-12	März 2012	Apr-12	Nov-12	Dezember 2012	Jan-13	Feb-13	März 2013	Apr-13
Maximal temp.				11.5	19.8	28.0	11.9	10.2	11.2	7.8	13	22.5
Minimal temp.				-17.9	-0.8	-0.4	0.15	-8.4	-6.6	-5.7	-8.8	-3.5
Taupunkt				-3.1	3.4	3.8	4.95	-0.1	-0.1	0.03	-3.21	3.9
Luftfeuchte max				98.1	95.7	98.9	98.4	98.9	99.8	99.4	94.5	98.2
Luftfeuchte min				36	39.2	30.5	64.7	66.6	62.8	66.8	43.1	26.2
Anzahl Frosttage				11	0	0	0	6	10	1	3	0

Tab. A.10.15: Sommer 2011 - 2013 Log32 90degreen Hinten.

Sommer 2012-2013 Log 32 90Degreen Hinten H2	2012						2013					
	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Mai	Juni	July	August	Sep.	Okt.
Maximal temp.	31.7	29.9	33.7	32.4	27.6	20.8	27.6	31.8	35.1	35.3		
Minimal temp.	4.6	6.4	12.6	10.2	7	0.45	4.6	7.8	11.8	11.8		
Taupunkt	8.04	10.7	14.2	14.3	11.1	7.6	9.8	12.75	15.04	14.2		
Luftfeuchte max	97.2	98	99.7	99.9	98.2	99.1	100	100	100	99.4		
Luftfeuchte min	25.2	34.8	30.9	43.1	45.1	52.4	29.3	28.4	28.5	38.1		

Tab. A.10.16: 2013 Log32 Vivagreen Vorne – vor der Begrünung.

2013 Log 32 Vivagreen Vorne H2	2013					
	März 2013	Apr-13	Mai	Juni	Juli	August
Maximal temp.	23.3	21.9	25.6	28.8	30.4	29.6
Minimal temp.	-12.7	-6	1.9	6	10	10.6
Taupunkt	-5.92	3.5	9.6	13.0	15.11	14.6
Luftfeuchte max	91.6	98	97.4	99.3	99.6	98.4
Luftfeuchte min	27.9	34	39.3	48.3	40	51.6
Anzahl Frosttage	2	0				

Tab. A.10.17: 2013 Vivagreen Hinten – hinter der Begrünung.

2013 Log 32 Vivagreen Hinten H2	2013					
	März 2013	Apr-13	Mai	Juni	Juli	August
Maximal temp.	10.1	19.3	23.9	27.4	28.1	27.8
Minimal temp.	-10.1	-3.2	4.5	8.6	12.9	12.5
Taupunkt	-4.9	4.1	10.1	13.1	15.6	15.1
Luftfeuchte max	87.7	96	95.2	94.7	96.8	97.5
Luftfeuchte min	49.6	42.4	46.6	54.1	47.4	57.9
Anzahl Frosttage	7	0				



Tab.2.32.a: Varianzanalyse (Anova) für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB1

ANOVA Table							
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 1	Between Groups	(Combined)	107962,682	145	744,570	378,893	,000
	Within Groups		14380,731	7318	1,965		
Total			122343,413	7463			

Tab.2.32.b: Varianzanalyse (Anova) für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB2

ANOVA Table							
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 2	Between Groups	(Combined)	113067,207	171	661,212	519,777	,000
	Within Groups		9276,206	7292	1,272		
Total			122343,413	7463			

Tab.2.32.c: Varianzanalyse (Anova) für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen zwischen Dach\_H2 und WB2

Measures of Association			
		Eta	Eta Squared
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 2		,961	,924

Tab.2.32.d: Varianzanalyse (Anova) für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen zwischen Dach\_H2 und WB3

ANOVA Table							
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 3	Between Groups	(Combined)	115707,136	178	650,040	713,584	,000
	Within Groups		6636,278	7285	,911		
Total			122343,413	7463			

Tab.2.32.e: Varianzanalyse für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB3

Measures of Association			
		Eta	Eta Squared
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 3		,973	,946

Tab.2.32.f: Varianzanalyse für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB4

ANOVA Table							
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 4	Between Groups	(Combined)	115783,520	179	646,835	718,236	,000
	Within Groups		6559,893	7284	,901		
Total			122343,413	7463			

Tab.2.32.g: Varianzanalyse Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB4

Measures of Association			
		Eta	Eta Squared
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 4		,973	,946

Tab.2.32.h: Varianzanalyse für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB5

ANOVA Table							
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 5	Between Groups	(Combined)	115442,179	178	648,552	684,616	,000
	Within Groups		6901,234	7285	,947		
Total			122343,413	7463			

Tab.2.32.i: Varianzanalyse für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB5

Measures of Association			
		Eta	Eta Squared
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 5		,971	,944

Tab.2.32.j: Varianzanalyse Anova für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB6

ANOVA Table							
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 6	Between Groups	(Combined)	116063,942	177	655,728	760,834	,000
	Within Groups		6279,472	7286	,862		
	Total		122343,413	7463			

Tab.2.32.k: Varianzanalyse für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB6

Measures of Association			
		Eta	Eta Squared
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 6		,974	,949

Tab.2.32.l: Varianzanalyse Anova für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB7

ANOVA Table							
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 7	Between Groups	(Combined)	116397,369	180	646,652	792,050	,000
	Within Groups		5946,044	7283	,816		
	Total		122343,413	7463			

Tab.2.32.m: Varianzanalysen für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB7

Measures of Association			
		Eta	Eta Squared
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 7		,975	,951

Tab.2.32.n: Varianzanalyse Anova für Temperaturen von 29.01.2014 – 24.02.2014 zwischen Dach\_H2 und WB8

ANOVA Table							
			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TEMP._Dach H2 * TEMP._WB 8	Between Groups	(Combined)	116537,955	177	658,407	826,317	,000
	Within Groups		5805,459	7286	,797		
	Total		122343,413	7463			

90DeGreen 2011	Nachpflanzungen		2011			2012						2013						2014					
			September			Juli		Neupflanzung 2012			August			Neu			Juli						
			Hö	Länge	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Länge	Summe	Hö	Breite	Summe	Hö	Länge	Summe	Hö	Brei	Summe
<b>Cotoneaster microphyllus</b>			19	52	988	16	31	496				0				0							
<b>Cotoneaster microphyllus</b>			14	24	336	18	29	522				0				0							
	<b>Vinca minor</b>	1 Jul 12												12	25	300							
	<b>Vinca minor</b>	1 Jul 12												8	35	280							
<b>Pachysandra terminalis</b>			15	17	255	16	15	240				14	15	210				14	3	42			
<b>Pachysandra terminalis</b>			18	18	324	10	5	50															
	<b>Heuchera microphylla</b>	1 Nov 12							12	30	360				17	37	629				3	5	15
<b>Pachysandra terminalis</b>			15	20	300	16	16	256				16	14	224				14	13	182			
<b>Carex morrowii</b>			20	30	600	13	23	299				17	32	544				20	26	520			
<b>Carex morrowii</b>			15	20	300	12	13	156				18	24	432				9	8	72			
<b>Carex morrowii</b>			16	26	416	13	20	260				22	32	704				15	21	315			
<b>Cotoneaster microphyllus</b>			26	47	1222	43	19	817															
	<b>Pieris japonica</b>	1 Jul 12							23	24	552				14	17	238				9	14	126
<b>Cotoneaster microphyllus</b>			25	30	750	28	21	tot															
	<b>Vinca minor</b>	1 Jul 12							18	28	504				10	26	260				0		
	<b>Heuchera microphylla</b>	1 Jul 14																			2	6	12
<b>Pachysandra terminalis</b>			15	15	225	13	15	195	tot														
	<b>Heuchera microphylla</b>	1 Jul 13													20	28	560				0		
<b>Pachysandra terminalis</b>			16	12	192	16	10	160				10	7	70									
	<b>Thymus x citrodorus</b>	1 Jul 12							25	25	625				32	25	800				25	25	625
<b>Cerastium tomentosum</b>			10	35	350	23	15	345															
	<b>Waldsteinia ternata</b>	1 Nov 12							15	20	300				22	28	616				0		
<b>Carex morrowii</b>			14	23	322	20	20	400															
	<b>Waldsteinia ternata</b>	1 Apr 13													10	14	140				0		
<b>Carex morrowii</b>			18	27	486	18	26	468				20	30	600				10	19				
<b>Heuchera mircophylla "purple palace"</b>			10	19	190																		
	<b>Ajuga reptans</b>	1 Jul 12							10	20	200				10	24	240				5	16	80
<b>Cotoneaster microphyllus</b>			29	44	1276	0	0																

90DeGreen 2011	Nachpflanzungen			2011			2012			2013			2014											
				September			Juli		Neupflanzung 2012			August			Neu			Juli						
				Hö	Länge	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Länge	Summe	Hö	Breite	Summe	Hö	Länge	Summe	Hö	Brei	Summe
	Vinca minor	1	Jul 12						23	22	506				10	6	60							
Bergenia cordifolia				20	29	580	22	36	792				35	50	1750				15	34	510			
Pachysandra terminalis				19	21	399	4	12	48				0											
	Heuchera microphylla	1	Nov 12												18	18	324					0		
	Fragaria viridis	1	Jun 14																		6	2	12	
Cerastium tomentosum				12	44	528	13	16	208				0											
	Heuchera microphylla	1	Aug 13									17	39	663								0		
	Fragaria viridis	1	Jun 14																		5	8	40	
Cerastium tomentosum				16	35	560	12	31	372				0											
	Waldsteinia ternata	1	Nov 12						10	25	250				11	20	220					10	6	60
Sedum spurium "album"				8	13	104	10	20	200															
	Waldsteinia ternata	1	Nov 12												11	18	198					0		
	Fragaria viridis	1	Jun 14																		14	16	224	
Carex morrowii				26	34	884	12	17	204				10	18	180				5	10	50			
Heuchera mircophylla "purple palace"				7	17	119																		
	Bergenia cordifolia	1	Jul 12						20	28	560				21	22	462					16	30	480
Bergenia cordifolia				13	26	338	29	20	580				21	30	630				20	25	500			
Bergenia cordifolia				18,5	34	629	30	16	480				22	34	748				11	29	319			
Cerastium tomentosum				9	25	225																		
	Heuchera microphylla	1	Nov 12						12	25	300				17	29	493							
Cerastium tomentosum				21	35	735	20	11	220				15	10	150									
	Vinca minor	1	Jun 14																		11	18	198	
Actostaphyllus uva ursi				13	43	559	14	12	168															
	Waldsteinia ternata	1	Nov 12									8	8	64								0		
Sedum spurium "album"				9	21	189	23	8	184															
	Waldsteinia ternata	1	Nov 12						15	25	375				0									

90DeGreen 2011	Nachpflanzungen			2011			2012			2013			2014											
				September			Juli		Neupflanzung 2012			August			Neu			Juli			Summe	Hö	Brei	Summe
				Hö	Länge	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Länge	Summe	Hö	Breite	Summe	Hö	Länge				
	<b>Bergenia cordifolia</b>	1	Apr 13											16	35	560				10	34	340		
	<b>Buxus sempervirens</b>			12	13	156	8	13	104				11	15	165				9	15	135			
	<b>Heuchera mircophylla "purple palace"</b>			12	22	264	0																	
	<b>Bergenia cordifolia</b>	1	Jul 12											20	35	700				15	21	315		
	<b>Heuchera mircophylla "purple palace"</b>			8	17	136	0																	
	<b>Buxus sempervirens</b>	1	Jul 12						10	10	100				12	15	180				11	10	110	
	<b>Bergenia cordifolia</b>			25	31	775	20	20	400				25	23	575				23	25	575			
	<b>Cerastium tomentosum</b>			16	38	608	26	18	468															
	<b>Heuchera microphylla</b>	1	Nov 12						17	12	204				28	23	644				12	13	156	
	<b>Bergenia cordifolia</b>			16	37	592	29	23	667				29	40	1160				25	38	950			
	<b>Sedum spurium "album"</b>			14	24	336																		
	<b>Anemone huphensis</b>	1	Jul 12						34	23	782													
	<b>Heuchera microphylla</b>	1	Nov 12											2	2	4				2	2	4		
	<b>Sedum spurium "album"</b>			10	25	250	12	28	336				13	30	390				5	18	90			
	<b>Buxus sempervirens</b>			16	13	208	11	15	165				16	14	224				11	14	154			
	<b>Buxus sempervirens</b>			13	17	221	12	14	168				19	15	285				10	18	180			
	<b>Heuchera microphylla "purple palace"</b>			10	14	140	0																	
	<b>Waldsteinia ternata</b>	1	Mai 12						30	31	930				20	22	440				20	18	360	
	<b>Bergenia cordifolia</b>			20	28	560	26	23	598				27	40	1080				25	30	750			
	<b>Bergenia cordifolia</b>			14	30	420	21	32	672				28	28	784				17	20	340			
	<b>Teucrium chamaedrys</b>			40	25	1000	18	11	198				0											
	<b>Anemone huphensis</b>	1	Nov 12											0										
	<b>Lysimachia nummul.</b>	1	Apr 13											10	10	100				0				
	<b>Euonymus fortunei „Emerald Gaity"</b>			14	29	406	0																	
	<b>Sedum spurium</b>	1	Nov 12											0										
	<b>Hemerocallis spec</b>	1	Apr 13											33	18	594				24	25	600		

90DeGreen 2011	Nachpflanzungen			2011			2012					2013						2014					
				September			Juli		Neupflanzung 2012			August			Neu			Juli					
				Hö	Länge	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Länge	Summe	Hö	Breite	Summe	Hö	Länge	Summe	Hö	Brei
<b>Cerastium tomentosum</b>				10	58	580	tot																
	<b>Heuchera microphylla</b>	1	Nov 12						15	25	375				21	37	777				10	19	190
<b>Buxus sempervirens</b>				10	17	170	12	19	228				13	17	221				11	17	187		
<b>Heuchera microphylla "purple palace"</b>				10	13	130																	
	<b>Buxus sempervirens</b>	1	Jul 12						16	15	240				15	20	300				14	18	252
<b>Heuchera microphylla "purple palace"</b>				11	16	176																	
	<b>Buxus sempervirens</b>	1	Jul 12						18	11	198				16	16	256				18	13	234
<b>Heuchera microphylla "purple palace"</b>				15	17	255	tot																
	<b>Luzula sylvatica</b>	1	Jul 12						8	8	64				0								
<b>Bergenia cordifolia</b>				25	27	675	19	27	513				25	35	875				27	27	729		
<b>Gaultheria decumbens</b>				20	25	500	tot																
	<b>Lysimachia nummul.</b>	1	Nov 12						20	20	400												
	<b>Heuchera microphylla</b>	1	Jul 13												29	35	1015				19	22	418
<b>Gaultheria decumbens</b>				14	15	210	tot																
	<b>Heuchera microphylla</b>	1	Nov 12						20	20	400				29	30	870				17	26	442
<b>Cerastium tomentosum</b>																							
	<b>Heuchera microphylla</b>	1	Nov 12						20	21	420				20	35	700				18	14	252
<b>Sedum spectabile</b>				21	20	420																	
	<b>Heuchera microphylla</b>	1	Nov 12												22	23	506				25	28	700
<b>Sedum spectabile</b>				26	29	754	26	18	468				0										
	<b>Heuchera microphylla</b>	1	Apr 13												22	23	506				13	20	260
<b>Carex morrowii</b>				23	30	690	22	29	638				22	29	638				15	30	450		
<b>Heuchera microphylla "purple palace"</b>				14	25	350	20	39	780				20	36	720				13	14	182		
<b>Gaultheria decumbens</b>				17,5	20	350	tot																
	<b>Heuchera</b>	1	Nov						20	20	400				24	33	792	0					



90DeGreen 2011	Nachpflanzungen			2011			2012			2013			2014											
				September			Juli		Neupflanzung 2012			August			Neu			Juli			Summe			
				Hö	Länge	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Länge	Summe	Hö	Breite	Summe	Hö	Länge		Summe	Hö	Brei
	microphylla		12																					
	Hosta sieboldi	1	Apr 13											5	5	25					19	26	494	
	Cotoneaster microphyllus			25	34	850	tot																	
	Hosta sieboldi	1	Jul 12						20	33	660				25	20	500				10	12	120	
	Cerastium tomentosum			8	20	160	8	20	160															
	Heuchera microphylla	1	Nov 12						20	20	400				19	35	665				15	30	450	
	Sedum spectabile			18	22	396																		
	Dryopteris filix-femina	1	Nov 12												13	17	221				10	20	200	
	Sedum spectabile			28	22	616																		
	Phyllitis scolopendrium	1					12	15	180						9	9	81				10	10	100	
	Sedum spectabile			25	33	825	17	20	340			0												
	Luzula sylvatica	1	Nov 12												19	30	570				12	20	240	
	Sedum spectabile			25	43	1075	20	39	780															
	Luzula sylvatica	1	Nov 12						25	30	750				17	15	255				0			
	Heuchera microphylla "purple palace"			16	23	368	18	25	450				20	30	600			6	5	30				
	Cotoneaster microphyllus			39	64	2496																		
	Hosta sieboldi	1	Jul 12							25	25	625				26	40	1040				21	32	672
	Cotoneaster microphyllus			30	44	1320																		
	Hosta sieboldi	1	Jul 12							27	22	594				32	35	1120				22	25	550
	Summe Nachpflanzungen:																							
	Anzahl	5				67			45			27			27		41			22			33	
	Summe	5				33819			16433			11480			14686		18121			7262			8781	

Optigrün 2011	variables cases	Anzahl	2011 Sep.	2012 Juli	2013 August	2014 Juli	Erfolg Überleben größer 50%	Volumen				Wuchs-Faktor 2011-2014
								2011 l*b/x	2012 l*b/x	2013 l*b/x	2014 l*b/x	
Platz	Art Termin					n		Sep	Juli			
	Deckung ges %											*
R1-1	Arabis procumbens	blüht	10	6	6	6	***	51	24	133	200	4
R1-2	Aubretia „Hamburg Stadtspark	blüht	10	8	8	8	***	108	89	91,5	92	1
R1-3	Sedum spectabile	Neuaustrieb	10	9	8	1		131	168	210	28	
R2-1	Euonymus fortunei „Emerald Gaity		10	0	0	0		567	0	0	0	
R2-2	Hosta f. minima		10	4	1	0		201	80	66	0	
R2-3	Carex morrowii	blüht	10	8	7	7	***	1109	225	286	344	
R3-1	Geranium sanguineum	üppiges Blatt	10	5	2	2		327	439	25	25	
R3-2	Bergenia cordifolia	blüht	10	10	10	10	***	936	392	349	361	
R3-3	Potentilla neumanniana	treibt aus	10	9	8	7		272	287	173	113	
R4-1	Teucrium chamaedrys	wächst erneut	10	3	0	0		413	27	0	0	
R4-2	Euonymus fortunei „Emerald Gaity		10	0	0	0		450	0	0	0	
R4-3	Heuchera micrantha „Palace purple	wächst erneut	10	10	10	7	**	592	824	1244	276	
R5-1	Geranium macrorhizum	wächst erneut	10	10	10	10	***	664	1132	1236	732	
R5-2	Luzula sylvatica	wächst erneut	10	1	1	1		575	25	25	25	
R5-3	Nepeta fassenii	treibt aus	10	8	8	2		672	327	234	106	
R6-1	Coto. microphyllus „Steibs Findling	erholt sich vom Wi mit 50% brau	10	0	0	0		324	0	0	0	
R6-2	Fragaria vesca „Rügen	üppiges Blatt	10	2	2	1		601	204	258	20	
R6-3	Aster dumosus	treibt aus	10	1	3	1						
	<b>Summe</b>		<b>180</b>	<b>94</b>	<b>84</b>	<b>63</b>		<b>7993</b>	<b>4243</b>	<b>4331</b>	<b>2322</b>	
	<b>Summe</b>							<b>*Mittlere Größe einer Pflanze</b>				

Nachpflanzungen: Fragaria viridis, Heuchera microphylla, Cerastium semidecandrum, Geranium sanguineum

Corydalis lutea, Lonicera xylosteum, Alchemilla vulgaris, Heuchera microcarpus "purple palace", Houtounea spec.,

Fragaria viridis, Sedum spurium, Iberis sempervirens, \*Angaben nur bei positivem Zuwachs

1.Zahl: max. Ausdehnung über die Fläche

2. Zahl senkrechte, Höhe der Pflanzen, einschl. Hinweis auf Blüten u. Früchte.

Sempergreen Module 2013	1				5				8															
	05. Jun 13				13. Aug 13				05. Okt 13				23. Apr 14				18. Jul 14							
Arten Mittlere Größen	Anzahl ges	lebend	Hö	Läng	Sum	leb	Hö	Läng	Sum	leb	Hö	Läng	Sum	leb	Hö	Läng	Sum	leb	Hö	Läng	Sum			
<i>Euonymus fortunei</i>	12	12	14	11	154	10	13	16	208	10	19	17	323	2	20	6	120	1	21	9	189			
<i>Euonymus fortunei aurea</i>	10	10	12	12	144	10	13	13	169	10	13	15	195	10	5	5	25	0			0			
<i>Euonymus fortunei alba</i>	15	15	12	13	156	15	11	11	121	12	15	13	195	0	0	0	0	0			0			
<i>Pachysandra terminalis</i>	13	13	12	9	108	11	13	8	104	11	13	11	143	2	10	5	50	1	9	7	63			
<i>Bergenia cordifolia</i>	14	14	15	14	210	14	24	16	384	14	16	20	320	16	15	20	300	17	16	20	320			
<i>Festuca ovina glauca</i>	18	16	11	10	110	6	16	18	288	6	19	20	380	3	9	8	72	3	20	16	320			
<i>Geranium macrorhizum</i>	5	5	18	13	234	7	19	27	513	7	16	29	464	9	17	19	323	14	15	26	390			
<i>Lonicera pileata</i>	18	18	16	12	192	18	25	15	375	18	30	29	870	0	0	0	0	0			0			
<i>Tiarella weißblühend</i>	5	5	17	15	255	5	20	18	360	4	12	14	168	1	6	10	60	2	11	13	143			
<i>Heuchera macrophylla "purple palace"</i>	5	5	14	12	168	5	18	25	450	5	14	20	280	2	8	7	56	6	17	20	340			
<i>Alchemilla Frauenmantel macrophyllum</i>	6	6	16	13	208	6	20	23	460	6	16	14	224	3	8	10	80	1	12	12	144			
<i>Achillea millefolium</i>	3	3	12	14	168	3	20	15	300	3	12	8	96	0	0	0	0	0			0			
<i>Carex morrowii</i>	16	16	17	10	170	16	25	20	500	13	33	24	792	2	10	11	110	0			0			
<i>Carex morrowii alba</i>	7	7	12	13	156	7	22	24	528	5	26	30	780	4	17	9	153	4	13	12	156			
<i>Nepeta Katzenminze</i>	3	3	20	15	300	3	18	10	180	3	17	9	153	0	0	0	0	0			0			
<i>Waldsteinia ternata</i>	5	5	14	12	168	5	13	13	169	5	13	15	195	4	10	10	100	4	4	8	32			
<b>Summe</b>	155	153			2901	141			5109	132			5578	58			1449	53			2097			

Tab.A13: Pflanzenentwicklung Sempergreen Süd, aufgebaut 2013

Sempergreen 2011		2011																										
		Box 1			Box2			Box3			Box4			Box5			Box6			Box7			Box8					
	Name	n	leb	tot	n	leb	tot	n	leb	tot	n	leb	tot	n	leb	tot	n	leb	tot	n	leb	tot	n	leb	tot	n	leb	tot
1.	<i>Juniperus squarosus</i>	4	4	0	4	2	2	4	4	0	4	4	0	4	3	1	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0
2.	<i>Sagina procumbens</i>	3	0	3	2	1	1	2	0	2	2	1	1	2	0	2	2	1	1	2	0	2	2	0	2	2	1	1
3.	<i>Gaultheria procumbens</i>	2	2	0	2	1	1	2	2	0	2	1	1	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0
4.	<i>Heuchera microphylla</i>	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	3	1	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0	4	4	0
5.	<i>Pinus mugo</i>	2	2	0	2	0	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	0	2	2	0	2	2	0
6.	<i>Thymus pulegeoides</i>	2	2	0	1	1	0	2	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	2	2	0	1	1	0	1	1	0
7.	<i>Festuca ovina</i>	2	0	2	4	2	0	3	1	2	3	2	1	5	1	4	4	2	2	4	1	3	4	2	2	4	2	2
8.	<i>Waldsteinia geoides</i>	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0
9.	<i>Ilex crenata</i>	1	1	0	2	2	0	1	1	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0
10.	<i>Spiraea bumalda</i>	2	1	1	2	2	0	3	3	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	2	2	0	2	2	0	2	2	0
11.	<i>Vinca minor</i>	1	1	0	2	2	0	2	2	0	1	1	0	2	2	0	2	1	1	2	2	0	2	2	0	2	2	0
12.	<i>Potentilla fruticosa</i>	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>Summe</b>	26	20	6	28	20	6	27	21	5	25	19	6	27	19	8	26	21	5	28	23	5	27	24	3			

Tab.A13a: Überlebenstab. Sempergreen Nord

Bem. Anscheinend für *Festuca ovina* zu nass

Daten der Aufnahmetermine im Juni und September 2011

cm	Vertiko 2011		2011			2012			2013			2014		
			Sep			Nov			Okt			Juli		
			Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum
18	Nachpflanzung/Spontan	Datum	21	32	672		tot					tot		
	Poa nemoralis					20	20	400	26	47	1222	25	39	975
	Heuchera microphylla	Jul 14										29	49	1421
20			18	21	378							24	30	720
	Festuca ovina	Jul 12				25	25	625	26	30	780			
	Saxifraga cuneifolia spontan	Jul 14			0							2	9	18
15			11	22	242	30	30	900	22	45	990	29	41	1189
20			20	30	600				9	20	180	12	20	240
	Poa nemoralis	Nov 12				30	30	900	30	30	900	25	30	750
18			24	58	1392		tot							
	Heuchera microphylla	Nov 12				30	30	900	18	30	540	15	30	450
10			15	31	465	20	20	400	11	22	242	16	39	624
45			24	68	1632	30	30	900	17	41	697	10	8	80
15			4	14	56	7	10	70	3	6	18	8	15	120
25			32	54	1728									
	Heuchera microphylla	Apr 13				30	30	900	21	40	840	27	40	1080
15			21	44	924	30	20	600						
	Astilbe arendsii	Okt 13							1	7	7	25	33	825
20			14	24	336	4	3	12		tot				
10			15	24	360	30	30	900	28	50	1400	24	40	960
15			23	33	742,5	40	30	1200	15	30	450	tot		
40			37	55	2035	30	30	900		tot				
	Iberis sempervirens	Apr 13										11	23	253
					0									
20			22	33	726	5	5	25	5	5	25	22	27	594
20			24	28	672	20	10	200						
	Geranium macrorhizum	Apr 13			0				18	30	540	22	40	880
20			12	20	240									
	Cymbalaria muralis	Apr 12				30	30	900	25	25	625	20	20	400
	Hosta fortunei	Apr 13							14	20	280	10	12	120
25			20	43	860		tot							
	Heuchera microphylla	Apr 13							7	17	119	9	19	171
25			22	17	374	5	5	25	5	9	45	6	11	66
10			20	52	1040									
	Geranium macrorhizum	Apr 13				15	15	225	3	4	12	7	11	77

cm	Vertiko 2011		2011			2012			2013			2014		
			Sep			Nov			Okt			Juli		
	Nachpflanzung/Spontan	Datum	Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum
25			20	25	500		tot							
	Geranium macrorhizum	Apr 13							23	26	598	8	3	24
40			33	58	1914		30		23	20	460			
	Poa nemoralis				0	38	30	1140	30	25	750	30	28	840
	Fragaris viridis	Apr 14							3	4	12	5	5	25
20			17	40	680	5	5	25	5	5	25	5	5	25
	Geranium macrorhizum	Apr 13				20	25	500	20	24	480	20	25	500
25			19	42	798	5	5	25	30	60	1800	9	13	117
	Festuca rubra	Aug 13							20	40	800	24	38	912
25			18	19	342									
	Heuchera microphylla	Nov 12				20	30	600	19	23	437			
	Hosta fortunei	Apr 14										23	27	621
10			14	25	337,5		tot							
	Poa nemoralis	Apr 13							11	11	121	11	25	275
	Heuchera microphylla	Apr 13							15	15	225	18	28	504
25			26	53	1378			0						
	Cymbalaria muralis	Apr 12				30	30	900	17	30	510	18	25	450
10			16	13	208	20	20	400		tot				
	Geranium macrorhizum	Apr 14										35	62	2170
15			17	16	272									
	Heuchera microphylla	Apr 13				30	30	900	25	25	625	15	27	405
12			15	24	360		tot							
	Heuchera mircophylla	Apr 13				30	30	900	17	42	714	17	18	306
12			24	22	528	20	20	400		tot				
	Hosta fortunei	Aug 13							6	13	78	30	27	810
12			13	13	169									
	Cymbalaria muralis	Aug 12				20	20	400	15	30	450	25	30	750
	Heuchera microphylla	Aug 13										18	29	522
637					22961			17172			17997			21269
32		27			36			31			36			39



Vertiss 2011				2011			2012			2013			2014		
				Sep			Jul			Aug			Jul		
Art	Deutscher Name	Nachpflanzung/spontan	Datum	Hö	Brei	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Brei	Summe	Hö	Brei	Summe
Actostaphyllum ursi	Bärentraube			40	29	1160	6	30	180	20	30	600	5	23	115
		Festuca ovina										0			0
		Epilobium montanum							0	4	30	120			0
Luzula sylvatica	Waldsimse			31	49	1519	20	33	660	20	5	100	30	60	1800
Gaultheria decumbens	Traube			15	21	315	10	16	160	26	50	1300	6	20	120
		Geranium macrorhizum	Jun 13								20		30	60	1800
Buxus sempervirens	Buchs			22	30	660	25	24	600	24	40	960	25	23	575
Bergenia codifolia	Bergenie			29	35	1015	17	33	561	27	25	675	28	44	1232
Euonymus fortunei	Kletterspindel			28	22	616	17	11	187	18	40	720	5	2	10
		Geranium macrorhizum	Jun 13						0		8	0	20	50	1000
Buxus sempervirens	Buchs			23	30	690	22	26	572	23	43	989	30	30	900
Luzula sylvatica	Waldsimse			30	40	1200	19	33	627	26	33	858	30	60	1800
Euonymus fortunei				27	18	486	tot			26	53	1378	tot		
Heuchera microphylla				31	33	1023	22	35	770	tot			16	30	480
Buxus sempervirens	Buchs			21	27	567	22	23	506	20	48	960	28	28	784
Cotoneaster horizontalis	Cotoneaster			37	40	1480	6	38	228	24	25	600	13	30	390
Gaultheria decumbens	Traube			15	25	375	12	20	240	12	33	396	8	12	96

Tab. A.16: Pflanzenentwicklung Sempergreen Nordfassade, Teilmodul 8 (unten) 2011-2014

Sempergreen Modul 8					2011			2012			2013			2014		
					Sep			Jul			Aug			Jul		
Reihe	Pflanze	Name	Nachpflanzung	Nachpflanz-Datum	Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum	Hö	Brei	Sum
1	1.	Juniperus squarosus			16	26	<b>416</b>	35	27	<b>945</b>	22	25	<b>550</b>	33	36	<b>1188</b>
1	2.	Sagina procumbens				tot										
1	3.	Gaultheria decumbens														
			Heuchera microphylla	Apr 13				3	2	<b>6</b>	13	14	<b>182</b>	17	18	<b>306</b>
1	4.	Heuchera microphylla			14	22	<b>308</b>	11	9	<b>99</b>		tot				
1	5.	Pinus mugo			17	20	<b>340</b>									
1	6.	Thymus pulegoeoides			11	30	<b>330</b>	15	20	<b>300</b>	13	9	<b>117</b>	tot		
2	1.	Festuca ovina				tot										
2	2.	Waldsteinia geoides			17	21	<b>357</b>		tot							
2	3.	Ilex crenata			8	5	<b>40</b>									
2	4.	Festuca ovina			17	20	<b>340</b>	15	14	<b>210</b>		tot				
2	5.	Juniperus squarosus			10	14	<b>140</b>	10	10	<b>100</b>	19	10	<b>190</b>	14	16	<b>224</b>
2	6.	Ilex crenata			8	14	<b>112</b>	8	8	<b>64</b>	5	6	<b>30</b>	7	5	<b>35</b>
3	1.	Spiraea bumalda			24	22	<b>528</b>	30	20	<b>600</b>	26	20	<b>520</b>	30	24	<b>720</b>
3	2.	Ohne Pflanze														
3	3.	Heuchera microphylla			18	24	<b>432</b>	27	26	<b>702</b>	21	19	<b>399</b>	17	20	<b>340</b>
3	4.	Festuca ovina				tot										
3	5.	Gaultheria decumbens			9	12	<b>108</b>		tot							
3	6.	Spiraea bumalda			19	22	<b>418</b>	21	30	<b>630</b>	21	32	<b>672</b>	29	42	<b>1218</b>
4	1.	Vinca minor			13	1	<b>13</b>		tot							
4	2.	Juniperus squarosus			17	19	<b>323</b>	8	18	<b>144</b>	10	23	<b>230</b>	16	30	<b>480</b>
4	3.	Ilex crenata			12	13	<b>156</b>	8	5	<b>40</b>		tot				
4	4.	Waldsteinia geoides			11	15	<b>165</b>		tot							
4	5.	Heuchera microphylla			19	21	<b>399</b>	35	24	<b>840</b>	15	20	<b>300</b>	27	39	<b>1053</b>
4	6.	Spiraea bumalda			24	34	<b>816</b>	20	20	<b>400</b>	20	36	<b>720</b>	27	39	<b>1053</b>
5	1.	Heuchera microphylla			11	17	<b>187</b>		tot				<b>0</b>			
5	2.	Pinus mugo			15	16	<b>240</b>		tot				<b>0</b>			
5	3.	Festuca ovina			21	21	<b>441</b>		tot				<b>0</b>			
5	4.	Juniperus squarosus			18	17	<b>306</b>	15	17	<b>255</b>		tot				
5	5.	Vinca minor			10	42	<b>420</b>		tot							
5	6.	Sagina procumbens			3	10	<b>30</b>									
		Summe					<b>6949</b>			4390			<b>3360</b>			<b>5429</b>
		Anzahl					<b>24</b>			14			<b>13</b>			<b>9</b>