



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Versuche zur Begrünung von
Gebäudefassadenpaneelen mit Moosen“

verfasst von / submitted by

Judith Gätz

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 445 456

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Biologie und Umweltkunde
und Geographie und Wirtschaftskunde

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Doz. Mag. Dr. Harald G. Zechmeister



„Wenn ich alles Große genau betrachte, so sehe ich, daß es aus lauter Kleinigkeiten zusammengesetzt ist, und wenn ich ganz genau hinsehe, erkenne ich, daß es so etwas wie eine Kleinigkeit gar nicht gibt.“
(Michelangelo)



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, am 26. November 2016

Danksagung

Zuerst möchte ich Dank und Anerkennung an meine Eltern aussprechen, nicht nur deswegen, weil sie von Beginn meines Lebens an meine Begeisterung für die Natur geweckt und gefördert haben, sondern auch weil sie mit mir einiges durchmachen mussten und mich trotzdem bis heute bei allem unterstützen und immer für mich da sind.

Freddy, Peter, Mara und Oliver die mir nicht nur in arbeitsintensiven Phasen bei den leicht mühsamen Bepflanzungen mit der Pinzette geholfen haben, sondern die durch ihre Existenz zeitweise mein Leben um einiges schöner und spannender gemacht haben, möchte ich hier besonders erwähnen, ebenso all jene, die diese und andere von mir verfasste Arbeiten korrektur gelesen und Verbesserungen vorgeschlagen haben.

Außerdem möchte ich mich bei meinen Freundinnen Diana, Valerie, Isis und Katrin bedanken, die mich so lange schon in meinem Leben begleiten, meiner lieben Patentante Geli, die keine Minute wartet um mir bei allen möglichen, vor allem technischen Problemen weiterzuhelfen und vor allem meinem Bruder Gabriel und meiner Freundin Cornelia, die für mich da sind, mich dabei stets herausfordern, unheimlich inspirieren und motivieren. Und Jürgen möchte ich dafür danken, dass er mich davon abgehalten hat, diese Diplomarbeit im Sommer zu schreiben und mit dem ich stattdessen so viel erlebt hab.

Harald Zechmeister, der mich nicht nur wunderbar betreut, sondern auch mit dieser Bryophilie angesteckt und mir eine Welt gezeigt hat, die mir vorher verborgen war, gilt zuletzt der meiste Dank: Durch ihn habe ich eine Leidenschaft entdeckt, die mich so schnell wohl nicht mehr loslassen wird.

Anmerkung:

Grundlage der Diplomarbeit bildet weitgehend (und sofern von der Autorin verfasst) der Endbericht zum Projekt „Sondierung für die Entwicklung von moosbewachsenen Gebäudefassadenpaneelen“ (Kurztitel BE-MO-FA) unter Leitung von Univ.-Doz. Mag. Dr. Harald Zechmeister.

Gefördert wurde das Projekt von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG (Projektnummer 845132). Es geschah in Kooperation mit der Technischen Universität Wien (Projektleitung) und der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn.

Verzeichnungen der Abkürzungen

- SA ... Sanoplant
- ST ... Stockosorb
- GH... Geohumus
- LT... Lehm/Ton
- BPM... Bepflanzungsmethode
- VF... Versuchsfläche
- Abb. ... Abbildung
- Tab. ... Tabelle
- E. H. ... Ernst Heiduk

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung.....	1
1.1.	Charakterisierung der Versuchsorganismen: Moose.....	1
1.1.1.	Systematik und Evolution der Bryophyta.....	1
1.1.2.	Anatomie, Morphologie und Wuchsformen der Bryophytina.....	4
1.1.3.	Lebenszyklus und Lebensformen der Laubmoose.....	9
1.1.4.	Ökophysiologie der Laubmoose.....	12
1.1.4.1.	Wasser.....	12
1.1.4.2.	Temperatur.....	17
1.1.4.3.	Licht und CO ₂	18
1.1.5.	Nährstoffe.....	20
1.1.6.	„Bryotope“ – Die Lebensräume der Moose.....	21
1.1.7.	Ökologische Bedeutung der Moose.....	24
1.1.8.	Moos und Mensch.....	26
1.2.	Green up the city! Take moss!.....	28
1.3.	Einführung in die Projektidee und ihre Zielsetzungen.....	31
2.	Material und Methodik.....	32
2.1.	Durchführungszeitraum.....	32
2.2.	Fassadenpaneele.....	32
2.2.1.	Trägerplatten.....	33
2.2.2.	Füllsubstrate.....	38
2.3.	Moose.....	42
2.3.1.	Arten und Charakteristik.....	42
2.3.2.	Aufsammlung und Standorte.....	48
2.3.3.	Lagerung.....	49
2.4.	Plattenmuster.....	50
2.5.	Bepflanzungsmethoden.....	51
2.5.1.	BPM 1: Sprosse.....	51
2.5.1.1.	Beschreibung der Methode.....	51
2.5.1.2.	Bepflanzungsmuster.....	52
2.5.2.	BPM 2: Fragmente – Kleister – Mischung.....	55
2.5.3.	BPM 3: Polster.....	58
2.6.	Anlage der Versuchsflächen.....	59
3.	Ergebnisse.....	61
3.1.	BPM 1: Sprosse.....	61
3.2.	BPM 2: Fragmente – Kleister – Mischung.....	67
3.3.	BPM 3: Polster.....	70
3.4.	Spezielle Paneele.....	71
4.	Diskussion.....	72
4.1.	Moose.....	72
4.2.	BPM 1 und 3.....	75
4.3.	BPM 2.....	76
4.4.	Trägerplatten.....	78
4.5.	Füllsubstrate.....	80
4.6.	Versuchsbedingungen.....	82
5.	Conclusio und Ausblick.....	83
6.	Verzeichnisse.....	85

1. Einleitung

Fassadenbegrünung mit Moosen hat sich bis jetzt noch nicht in der Architektur etabliert. Einerseits fehlen geeignete Fassadenbegrünungssysteme, andererseits sind Kultivierungs- und Bepflanzungserfahrungen mit Moosen noch relativ begrenzt. Zwar gibt es inzwischen viele theoretische Erkenntnisse über die Ökophysiologie der Moose, doch noch scheiterte die Verknüpfung dieses Wissens mit dem praktischen Nutzen für Begrünungen.

Im Rahmen des hinter dieser Diplomarbeit stehenden Projektes (Eckdaten dazu siehe Kapitel 1.3.) sollte diese Verknüpfung auf interuniversitären und interdisziplinären Weise geschehen. Ziel war Zusammenhänge zwischen dem architektonischen Bestandteil von Begrünungen nämlich der Fassaden (Kapitel 1.2.) und dem biologischen Bestandteil: den Moosen (Kapitel 1.1) zu finden.

1.1. Charakterisierung der Versuchsorganismen: Moose

Klein, grün, manchmal feucht, manchmal flauschig. „Moose“ sind auf den ersten Blick meist leicht als solche zu erkennen und mit freiem Auge oft schwer voneinander zu unterscheiden. Sie blühen nicht, bilden aber in der Pflanzenwelt einzigartige Sporogone aus. Moose wachsen als flächige Rasen oder kleine Polster. Ihre Größe ist meist gering, die Kleinsten erreichen nur einen halben Millimeter Höhe und nur wenige werden über einen halben Meter hoch (RICHARDSON 1981).

In diesem einleitenden Kapitel werden Eigenschaften der Moose allgemein, sowie der Laubmoose im Speziellen vorgestellt. Dabei werden in besonderen Fällen vor allem die im Projekt verwendeten Moose beispielhaft herangezogen. In meiner Nomenklatur beziehe ich mich auf die Artnamen der Checkliste der Moose Österreichs (KÖCKINGER et al. 2016).

1.1.1. Systematik und Evolution der Bryophyta

Unter dem nicht systematischen Begriff Moose oder Bryophyta wird eine para- und polyphyletische Gruppe von Landpflanzen zusammengefasst, die sich getrennt voneinander aus Algen entwickelt haben. Gemeinsam ist ihnen die Zugehörigkeit zu dem Organisationstyp der Embryophyten, da sie einen mehrzelligen Embryo entwickeln. Sie sind jedoch alle noch keine echten Gefäßpflanzen (Tracheophyten), da ihnen richtige Leitbündel fehlen (BRESINSKY et al. 2008). Außerdem dominiert im Gegensatz zu den Gefäßpflanzen bei fast allen Moosen der haploide Gametophyt im Lebenszyklus, wohingegen der diploide Sporophyt nur temporär auftritt und in seiner Ernährung vom Gametophyten abhängig ist (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Die Moose entwickelten sich getrennt von den Gefäßpflanzen aus den Grünalgen und besiedeln vermutlich seit dem Ordovizium terrestrische Gebiete. Sie gelten als die ersten richtigen Landpflanzen. Aufgrund ihrer Anatomie gibt es eindeutig als Bryophyten zu identifizierende Fossilien erst seit dem

Oberkarbon (GOFFINET et al. 2009). Einen Überblick über die verwandtschaftlichen Verhältnisse bietet Abbildung 1.

Die Moose werden in drei Unterabteilungen aufgeteilt:

- *Marchantiophytina*, Lebermoose
- *Bryophytina*, Laubmoose
- *Anthocerotophytina*, Hornmoose

In Tabelle 1 sind die Gemeinsamkeiten und Unterschiede einiger Eigenschaften der drei Moos-Gruppen dargestellt.

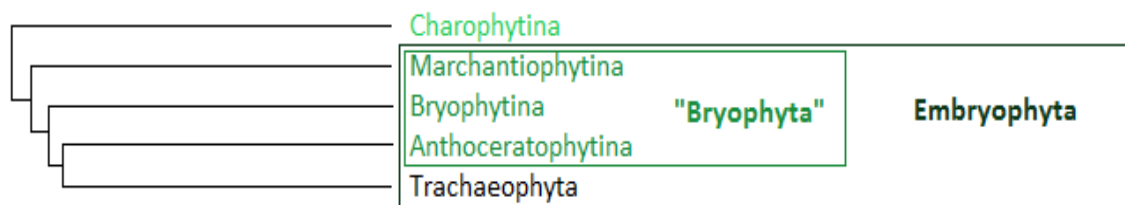


Abb. 1: Schematischer Überblick über die Verwandtschaftsverhältnisse von Moosen (MISHLER et al. 2009 und BRESINSKY et al. 2008).

Die Lebermoose werden in zwei sehr unterschiedliche Klassen eingeteilt: Die Marchantiopsida, die thallosen Lebermoose, welche einen flächigen Gewebethallus aufweisen und die Jungermanniopsida, die zu einem kleinen Teil ebenso thallose Formen aufweisen, zu einem überwiegenden Teil aber ebenso wie die Laubmoose einen Vegetationskörper aus Stämmchen und Blättchen besitzen (CRANDALL-STOTLER et al. 2009). Die Marchantiophytina sind die Schwestergruppe aller anderen Landpflanzen (MISHLER et al. 2009).

Die kleine und artenarme Gruppe der Hornmoose, enthält nur die Klasse der Anthocerotopsida und weist ebenfalls einen thallosen Gametophyten auf. Sie unterscheidet sich von den thallosen Formen der Lebermoose durch das Fehlen von Ölkörpern. Gemeinsam mit den Grünalgen ist ihnen das Vorhandensein oft nur eines einzigen Chloroplasten mit Pyrenoiden pro Zelle. Ebenso wie die Laubmoose weisen die Hornmoose bereits echte Spaltöffnungen auf dem Sporophyten auf, gemeinsam mit den Gefäßpflanzen ist ihnen das Vorhandensein von Spaltöffnungen auch am Gametophyten (RENZAGLIA et al. 2009). Die systematische Stellung der Hornmoose ist noch nicht restlos geklärt. Die Anthocerotophytina sind entweder die Schwestergruppe der Tracheophyten (RENZAGLIA et al. 2009) oder die aller anderen Landpflanzen (MISHLER et al. 2009).

Tab. 1: **Unterschiede von Lebermoosen, Laubmoosen und Hornmoosen**
(nach PROBST 1986:34f. und GOFFINET & SHAW 2009)

Merkmal		Lebermoos	Laubmoos	Hornmoos
G A M E T O P H Y T	Protonema	Reduziert, wenigzellig	Vielzellig, fädig, verzweigt	Wenigzellig, fädig, unverzweigt
	Vegetations-körper	Thallos oder folios mit dreizeiliger Beblätterung (2 Reihen Flanken-, 1 Reihe Unterblättchen)	Stämmchen mit Rhizoiden und Blättchen	Thallos
	Blättchen	- rund oder mehrzipfelig - keine Mittelrippe	- immer einzipfelig - Manchmal mit Mittelrippe	keine
	Rhizoiden	einzellig	Mehrzellig, mit schrägen Querwänden	Einzellig
	Ölkörper	vorhanden	fehlen	fehlen
	Spaltöffnungen	fehlen	fehlen	vorhanden
	Entwicklung	Kapsel entwickelt sich vor der Seta, diese streckt sich erst kurz vor der Sporenaussaat kurzlebig	Seta bereits fast vollständig ausgestreckt bevor sich die Kapsel fertig entwickelt häufig, langlebig	Relativ selbstständig, langlebig
S P O R O P H Y T	Seta	Durchsichtig, hell, fragil	Färbig, robust	fehlt
	Kapsel	Öffnet sich in vier Klappen Deckel, Kalyptra, Peristom fehlen	Öffnet sich durch Abfallen von Kalyptra und Deckel und Öffnungsmechanismen des Peristoms (Ausnahmen: <i>Sphagnidae</i> , <i>Andreaeidae</i>)	Länglich, schotenförmig, öffnet sich in zwei Längsklappen Deckel, Kalyptra, Peristom fehlen
	Columella	fehlt	vorhanden	vorhanden
	Elateren	vorhanden	fehlen	vorhanden
	Spaltöffnungen	fehlen	vorhanden	vorhanden

Die Laubmoose bilden die dritte und in Mitteleuropa artenzahlenmäßig größte Unterabteilung der Moose. Alle Bryophytina weisen einen Gametophyten mit Stämmchen („Cauloid“), Blättchen („Phylloide“) und Würzelchen (Rhizoide) auf. Ihren Sporophyten kennzeichnen Seta und Kapsel mit Columella. In diese Unterabteilung fallen die für Moore so bedeutende Klasse der Torfmoose (Sphagnopsida), die kleine Klasse der Klaffmoose (Andreaeopsida) sowie die Laubmoose im engeren Sinn (Bryopsida) (GOFFINET et al. 2009). Diesen Laubmoosen im engeren Sinne wird in dieser Arbeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da alle für die Bepflanzungen genutzten Moose dieser Klasse angehören. Der Einfachheit halber wird in den folgenden Ausführungen auf den Zusatz „im engeren Sinne“ verzichtet.

1.1.2. Anatomie, Morphologie und Wuchsformen der Bryophytina

Der haploide Gametophyt der Bryophytina besteht aus Stämmchen, Blättchen und Rhizoiden (Abb. 2). Je nach abiotischen Bedingungen kann der Gametophyt unterschiedliche Wuchsformen ausbilden. Diese werden weiter unten erläutert. Am Gametophyten entstehen die Sexualorgane (Antheridien und Archegonien) aus denen nach der Fortpflanzung der diploide Sporophyt hervorgeht.

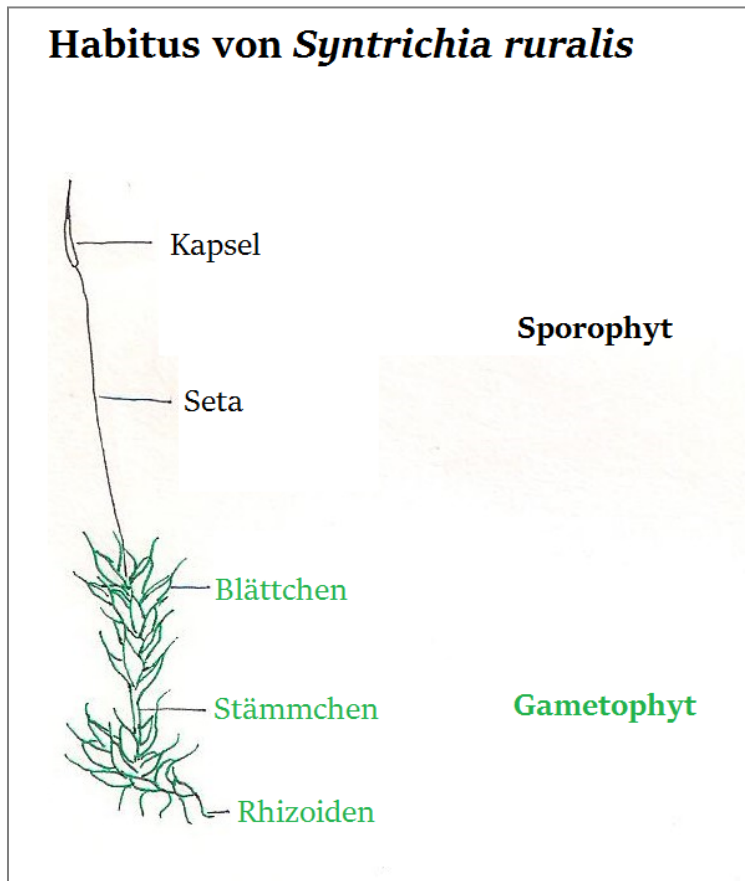


Abb. 2: *Syntrichia ruralis*: Gametophyt und Sporophyt

Stämmchen

Die Stämmchen sind mehrschichtig und bestehen aus sogenannten Stereiden: Undifferenzierten, verlängerten Parenchymzellen mit verdickten Zellwänden, welche hauptsächlich der Festigung sowie der Speicherung von Fetten und Stärke dienen (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009). Einige Arten (Polytrichaceae) weisen einen, im Querschnitt mittig liegenden Zentralstrang auf, welcher aus zwei Zelltypen besteht: Innen befinden die meist toten Hydroiden, welche der Wasser- und Nährsalzleitung dienen, außen die lebenden Leptoiden, welche die Assimilate transportieren. Die einzellreihige Epidermis mit leicht andersförmigen Zellen weist keine Stomata auf, besitzt aber immer eine zumindest dünne Cuticula. Vom Stämmchen ausgehend gibt es einige Anhänge epidermalen Ursprungs, die der Anhaftung am Substrat, der Wasseraufnahme oder -leitung dienen. *Ctenidium molluscum* trägt zum Beispiel grüne, photosynthetisierende, wasserleitende Paraphyllien (GOFFINET et al. 2009).

Die Stämmchen der Bryophytina zeigen verschiedene Verzweigungsarten, was zu unterschiedlichsten Wuchsformen führt. Eine wichtige Unterscheidung ist jene der akrokarpn und der pleurokarpn Laubmoose. Die akrokarpn Moose sind wenig bis gar nicht verzweigt, wachsen aufrecht und tragen an der Spitze erst die Archegonien und später den Sporophyten. Die pleurokarpn Moose sind stärker und oft auch mehrfach verzweigt und bilden den Sporophyten an kurzen Seitenzweigen (MÄGDEFRAU 1982).

Nach der Lage der Stämmchen werden Laubmoose in orthotrope und plagiotrope Formen aufgeteilt. Bei den orthotropen Moosen stehen die Stämmchen aufrecht vom Substrat ab, die Position der Gametangien und des Sporophyten ist akrokarp. Zu den orthotropen Moosen gehören die Protonema-Moose (z.B. *Buxbaumia*), welche gar keinen ausgeprägten Gametophyten aufweisen, sowie jene akrokarp in Rasen wachsende Moose (z.B. *Sphagnum*). Die Hauptstämmchen der Plagiotropen liegen horizontal am Substrat an, sie sind pleurokarp. Seitenstämmchen wachsen entweder ebenfalls vertikal (z.B. *Hypnaceae*) sodass flach am Untergrund liegende Decken entstehen, oder sie stehen aufrecht vom Hauptstämmchen ab (z.B. *Leucodon sciuroides*). Die Gametangien entstehen auf kurzen Seitenzweigen (MÄGDEFRAU 1982).

Blättchen

Die Blättchen der Laubmoose sind größtenteils einzellschichtig, bei manchen Arten weisen sie eine mehrschichtige Mittelrippe auf. Die Anordnung der Zellen ist bei akrokarpn Moosen oft aber nicht immer parenchymatisch, bei pleurokarpn Arten meist prosenchymatisch. Die Form der Blättchen ist bei den Laubmoosen sehr divers, wenn ihnen auch gemein ist, dass sie ausnahmslos einzipfelig sind (im Gegensatz zu den Blättchen der foliosen Lebermoose). Die Form der Blättchen geht von rundlich bis fädig, kann Formen wie Dreiecke, Trapeze oder Lanzette annehmen, symmetrisch, asymmetrisch oder auch eingedreht ausgeprägt sein. Zentral liegt oft eine Mittelrippe, die manchmal bis in die Spitze des Blättchens reicht oder aus dieser austritt. Eine besondere Vielfalt weisen die Blättchenränder auf, manche zeigen Säume aus andersartig gestalteten Zellen auf oder sind durch die Randzellen verursacht wellig, gezähnt oder gesägt. Die Blättchen sind im Prinzip spiralförmig in zwei oder drei Reihen am Stämmchen angeordnet, in manchen Fällen jedoch sekundär verflacht oder durch fehlendes Apikalwachstum des Stämmchens zu Rosetten gestaucht (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Rhizoide

Die Rhizoide der Bryophytina sind fast immer einzellreihige, verzweigte Fäden, aus verlängerten glatten oder rauen Zellen mit schrägen Querwänden, welche den epidermalen Zellen von Haupt- oder Nebenstämmchen entspringen. Sie dienen der Anhaftung am Substrat, in geringerem Maße auch der externen Wasserleitung (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009). Die Farbe der Moosrhizoiden reicht von rötlich über braun zu weißlich, wobei angenommen wird, dass dies im Zusammenhang mit externer Wasserleitung steht. Manche Moose (*Bryaceae*) produzieren an den Rhizoiden Brutkörper zur

vegetativen Vermehrung, sogenannte Gemmen. Sie dienen vermutlich als Überdauerungsstadium bei ungeeigneten, wie (z.B. trockenen) Bedingungen (GOFFINET et al. 2009).

Wuchsformen

Die meisten Moose wachsen nicht einzeln, sondern in einartigen Beständen oder in vergesellschafteten Aggregaten mehrerer Arten. Je nach ökologischen Bedingungen bilden die Bryophytina dabei unterschiedliche Wuchsformen aus. Von verschiedenen AutorInnen wurden unterschiedliche Wuchs- oder Lebensformkonzepte entwickelt. Ein Beispiel ist das „Lebensformen-Modell“ von MÄGDEFRAU, in welchem er zehn Wuchsformtypen für Laubmoose ausweist (MÄGDEFRAU 1982).

- **Einjährige („annuals“)** wachsen einzeln oder nebeneinander. Sie haben kurze Stämmchen, leben oft nur einen kurzen Zeitraum, in welchem sie einen einzigen Lebenszyklus durchlaufen (z.B. *Funaria hygrometrica*).
- **Kurzrasen („short turfs“)** entstehen immer aus akrokarpn Moosen. Sie werden maximal 2 cm hoch. Fast immer sind es Pioniermoose, welche an besonders lebensfeindlichen Standorten vorkommen (z.B. *Ceratodon purpureus*).
- **Hochrasen („high turfs“)** entstehen ebenfalls aus akrokarpn Moosen, können aber bis zu 80cm Höhe erlangen. Meist handelt es sich meist um sehr alte Individuen. Durch ihr ständiges in die Höhe wachsen versuchen sie hoher Bodenfeuchte oder Staunässe zu entkommen (z.B. *Sphagnum*).
- **Polster („cushions“)** entstehen meistens aus akrokarpn Moosen. Sie kommen meist auf Felsen, Mauern oder anderen trockenen Standorten vor und nutzen den im Polster entstehende Raum, um Wasser festzuhalten. Außerdem wird durch das Polsterwachstum durch Wind verursachte Verdunstung vermindert (z.B. *Grimmia*, *Bryum argenteum*, *Tortula sp.*).
- **Decken („covers“)** entstehen aus Moosen mit stark verzweigten, verwebten und locker am Substrat anliegenden Stämmchen. Zwischen Decke und Unterlage entsteht Raum zur Wasserleitung und -speicherung. Decken kommen meist auf trockenen Standorten vor (z.B. *Hypnum cupressiforme*, *Ctenidium molluscum*, *Homalothecium lutescens* und *H. sericeum*).
- **Filze („werfts“)** entstehen auf Standorten hoher Luftfeuchte. Die pleurokarp verzweigten Moose wachsen in die Höhe, um sich von staunassen Untergründen abzuheben (z.B. *Anomodon viticulosus*, *Abietinella abietina*, *Pleurozium schreberi*).
- **Gehänge („pendants“)** sind vor allem in den Tropen verbreitet und benötigen extrem hohe Luftfeuchte. Sie hängen von Ästen in den Raum und können sehr lang werden (z.B. *Hypnum andoi*).

- **Schweife („tails“)** entstehen auf Felsen. Die Stämmchen sind vom Substrat weggebogen, die Stämmchenspitzen bilden Kondensationskeime für Wasserdampf (z.B. *Leucodon sciuroides*).
- **Wedel („ferns“)** wachsen an feucht-schattigen vertikalen Standorten und strecken sich vom Substrat weg, um einerseits dem Wasserfilm über dem Untergrund zu entgehen und 4die geringe Lichtverfügbarkeit optimal auszunutzen (z.B. *Thamnobryum*).
- **Bäumchen („treelets“)** weisen einen speziellen Habitus auf: Auf einem langen Stämmchen sind ihre Blättchen zu Rosetten gestaucht. Das lässt sie wie kleine Palmen aussehen. Diese Wuchsform ist praktisch für Moose, die durch einen Rasen oder eine Laubschicht durchwachsen müssen, um ans Licht zu gelangen (z.B. *Climacium dendroides*).

Die ausgeprägten Lebensformen der Moose sind natürlich von den Umweltbedingungen in welchen das Moos wächst abhängig. Manche Arten können je nach Umgebung unterschiedliche Formen ausbilden: So ist beispielsweise *Hypnum cupressiforme* unter stark luftfeuchten Bedingungen als Filz, in eher trockenen Umgebungen als Decke zu bezeichnen.

Sexualorgane: Antheridien und Archegonien

An den Spitzen der Stämmchen (bei akrokarpen) oder an kurzen Seitenzweigen (bei pleurokarpen Moosen) befinden sich die männlichen Antheridien und die weiblichen Archegonien. Die Sexualorgane stehen dicht gruppiert (in sogenannten „Moosblüten“) zusammen und sind meist von etwas andersartigen Blättchen umgeben, die ihrem Schutz dienen. Laubmoose bilden meist beide Geschlechtsorgane auf einem Pflänzchen aus (monözisch) und sind daher Hermaphroditen. Seltener wird pro Pflänzchen nur ein Geschlecht ausgebildet, wodurch männliche und weibliche Individuen entstehen (diözisch). Die Geschlechtsorgane weisen einen verhältnismäßig komplizierten Bau auf. Sie sind bei den Laubmoosen mehrzellig und gestielt (wodurch sie sich von den anderen Moosen sowie den Farnpflanzen unterscheiden) und enthalten eine einzelne Eizelle bzw. viele Spermien (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Das Antheridium, der männliche Gametangienstand hat die Form einer Keule auf einem kurzen Stiel. Mehrere Antheridien stehen gruppiert und sind häufig von einem Perianth (einer becherförmigen Hülle aus vielen kleinen Blättchen) umgeben. Auch die weiblichen Archegonien sind gesellig und bilden ein sogenanntes Perichaetum. Dies ähnelt im entwickelten Zustand etwas einer Flasche und besteht es aus drei Teilen: einem soliden Hals, einem Bauch und einem einzelnen darin liegenden Ei. Diese sich im Archegonium befindliche Eizelle wird durch ein Spermium befruchtet. Der ursprüngliche weibliche Gametangienstand bildet so nach der Befruchtung die Basis des Sporophyten (GOFFINET et al. 2009).

Sporophyt

Das diploide Stadium der Moose, der Sporophyt, entsteht aus dem maternalen Gametophyten und besteht bei den Bryophytina aus einem Fuß (Haustorium), der die Verbindung zum Gametophyten darstellt, einem Stiel (Seta) und einer durch den Stiel emporgehobenen Sporenkapsel (Sporangium), welche zu Beginn mit einer dem Gametophyten entstammenden Haube (Calyptra) bedeckt ist. Direkt unter der Kapsel liegt der Bereich der Apophyse, in welchem sich Spaltöffnungen befinden. Der Reife Sporophyt weist einen Deckel auf, der zur Sporenreife aufreißt oder abfällt und so die Sporen freigibt (Abb. 3). Unterhalb des Deckels liegen meist ein oder zwei Zahnreihen, die als Peristom bezeichnet werden. Durch hygroskopisch verursachte Bewegung trägt das Peristom zur optimalen Ausbreitung der Sporen bei, indem es der Witterung entsprechend bei Trockenheit die Sporen durch Öffnen der Peristomzähne nach außen freilässt oder bei feuchten Bedingungen durch Einklappen der Zähne gefangen hält. Bei den Klaffmoosen fehlt das Peristom primär. Bei einigen anderen, sogenannten kleistokarpen Laubmoosgruppen (z.B. *Sphaerocarpales*) ist es sekundär verloren gegangen. In dem Fall werden die Sporen durch den Zerfall der Kapsel freigelassen (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

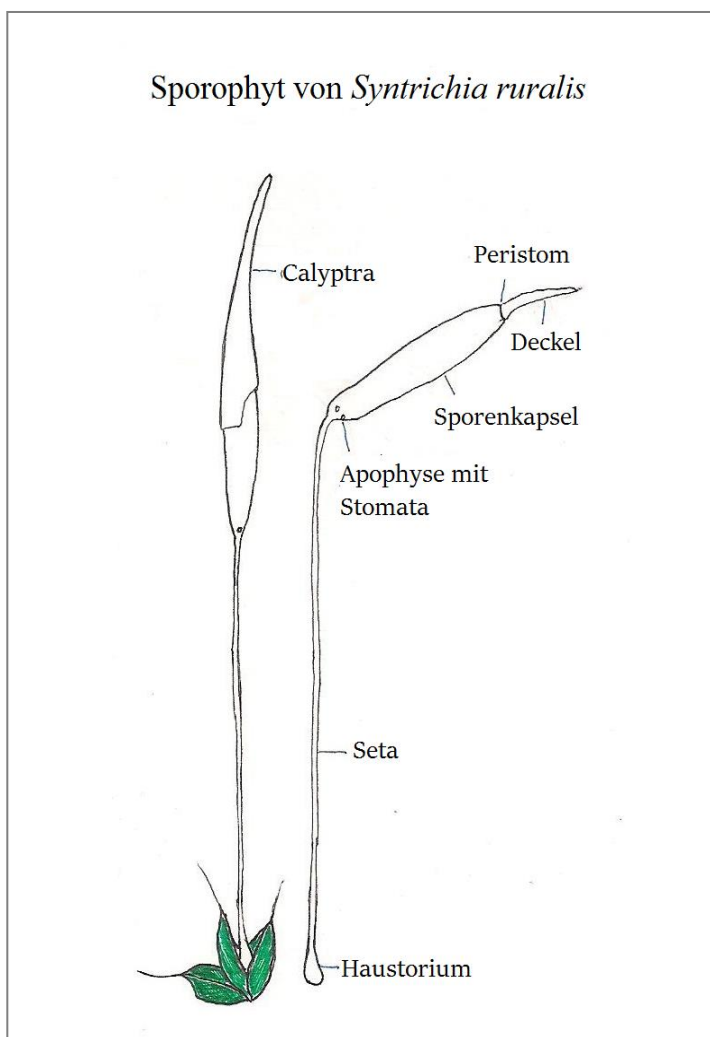


Abb. 3: Junger (links) und reifer (rechts) Sporophyt von *Syntrichia ruralis*.

1.1.3. Lebenszyklus und Lebensformen der Laubmoose

Der Generationswechsel und die Vermehrung der Laubmoose

Im Lebenszyklus aller Moose dominiert der haploide Gametophyt. Der aus der Verschmelzung der Gameten hervorgehende diploide Sporophyt bleibt sein Leben lang vom Gametophyten abhängig. Der Sporophyt produziert meiotisch die zur Verbreitung dienenden Sporen. Einen Überblick über den Lebenszyklus bietet Abbildung 4.

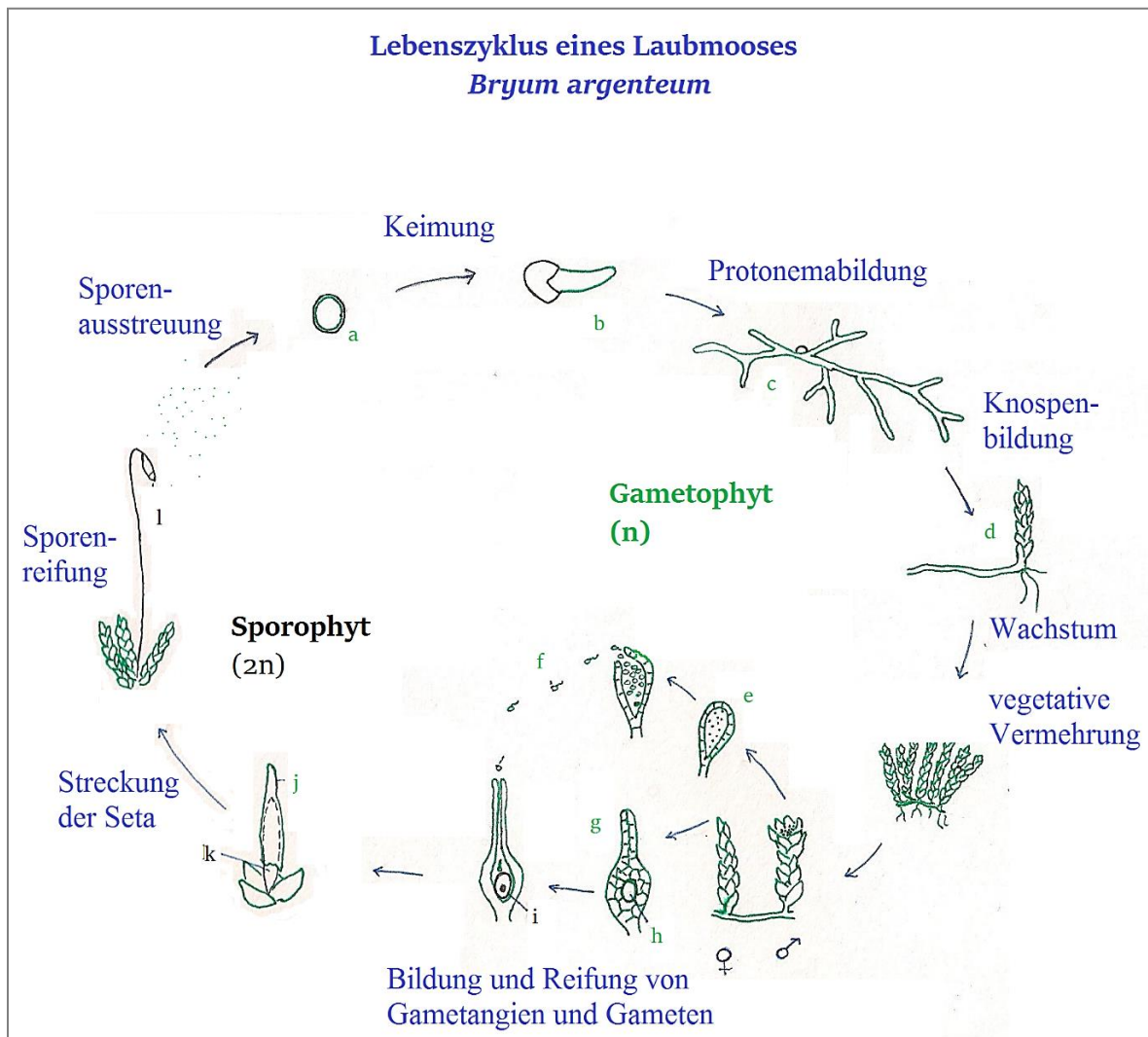


Abb. 4: Lebenszyklus von *Bryum argenteum* (a...Spore, b...Vorkeim, c...Chloronema, d...Caulonema und Moosknospe, e...Moospolster, f...Antheridium, g...Spermien, h...Archegonium, i...Eizelle, j...Embryo, k...Kalyptra, l...junger Sporophyt, m...reife Kapsel mit Deckel) (nach RICHARDSON 1981).

Das haploide Stadium eines Laubmooses beginnt mit der fertigen Entwicklung einer Spore, welche durch die Luft verbreitet an einer geeigneten Stelle landet, aufreißt und sich bei den Bryophytina zu einem vielzelligen, fädigen Protonema (Vorkeim) entwickelt. Dieses Protonema zeigt sich zuerst als ein an Chloroplasten reiches und daher grünes Chloronema und wird dann zu einem an Chloroplasten ärmeren Caulonema. Aus dem Caulonema bilden sich an Seitenzweigen kleine Knospen, aus denen sich

später die Moospflänzchen entwickeln. Dieser haploide Gametophyt wächst, vermehrt sich manchmal vegetativ und bildet, sobald er groß genug ist, seine Sexualorgane aus, die Archegonien und Antheridien. Die Antheridien bilden schwimmende Spermatozoide, welche chemotaktisch von der im Archegonium befindlichen Eizelle angelockt werden und diese befruchten. Die Beweglichkeit der Spermatozoide ist an flüssiges Wasser gebunden, findet also nur bei entsprechender Witterung, oft in den feuchten Wintermonaten statt (GOFFINET et al. 2009).

Nach der Befruchtung der Eizelle entsteht aus der Zygote ein vielzelliger Embryo, welcher sich weiter in ein Endothecium und ein Amphithecium entwickelt. Aus den äußeren Teilen des Endotheciums wird das Archespor aus dem zuerst die Sporenmutterzellen und dann, durch Meiose die haploiden Sporen hervorgehen. Das innere Endothecium wird zur Columella. Sie dient der Ernährung des sporogenen Gewebes und fungiert als Wasserspeicher. Der untere Teil des Embryos (Haustorium) bleibt verankert im mütterlichen Gametophyten und gewährleistet so die Versorgung des Sporophyten. Der junge Sporophyt ist zu Beginn noch von einer, vom Gametophyten gebildeten, Embryotheca umgeben, welche in der weiteren Entwicklung und Streckung der Seta abgerissen wird und in Form der Kalyptra (als Häubchen) für einige Zeit auf der Kapsel verbleibt (GOFFINET et al. 2009).

Zur Sporenreife fallen bei Bryopsiden zuerst Kalyptra und anschließend Deckel von der Sporenkapsel ab. Unter dem Deckel wird das Peristom frei. Durch hygroskopische Bewegung entlässt es bei trockener Witterung die Sporen. Die Verbreitung dieser haploiden Meiosporen erfolgt fast immer durch die Luft, selten werden z.B. Fliegen als Vektoren benutzt. Je nach Lebensform des Moores werden viele kleine oder wenige, eher große Sporen produziert und verstreut (GOFFINET et al. 2009).

Neben der Verbreitung von Sporen haben Laubmoose auch viele Formen der vegetativen Vermehrung entwickelt:

- Bruchblättchen (*Campylopus fragilis*)
- Abfallende Stämmchenabschnitte (*Syntrichia ruralis*)
- Brutkörper, die an den Sprossspitzen in Perianth-ähnlichen Formen gebildet werden (*Tetraphys pellucida*)
- Bulbillen, also reduzierte Seitenäste in den Blattachseln (*Bryum bicolor*)
- Gemmen, also Brutkörper die an den Rhizoiden entstehen (*Bryum rubens*)

Diese Organe, werden meist über Wasser, Schwerkraft, in oder auf Tieren aber auch durch die Luft verbreitet. Die Reichweite ihrer Verbreitung ist oft um vieles geringer als die der kleineren Sporen, kann dafür aber gerichteter sein.

Lebensformen

Je nachdem ob Moose eher auf Wachstum des Gametophyten, vegetative Formen der Vermehrung oder sexuelle Fortpflanzung setzen, können unterschiedliche Lebensformen definiert werden.

Eine Möglichkeit der Einordnung nach dem Lebenszyklus bietet das DURING'sche Lebensformen-Konzept (DURING 1979). Hier werden Arten nach folgenden Eigenschaften eingeteilt: Alter der ersten sexuellen Fortpflanzung, Energieaufwand für die Reproduktion, Anzahl und Größe der Sporen, Dormanz der Sporen, Biomasseproduktion, Lebensdauer und Stresstoleranz.

(1) „*Fugitives*“

Die „*Fugitives*“ haben die Eigenschaften sehr kurzer Lebenszyklen mit dementsprechend gering ausgeprägten Gametophyten, bei einer Dominanz des Sporophyten. Asexuelle Vermehrung kommt nie vor. Spätestens nach einem Jahr, meist aber sehr schnell, werden viele, sehr kleine, daher weit fliegende und langlebige Sporen produziert. Diese Lebensstrategie ist häufig bei Pionierarten ausgebildet. Paradebeispiel für ein fugitives Moos ist *Funaria hygrometrica*.

(2) „*Colonists*“

Kolonisten sind Arten, deren Individuen vorerst durch vegetative Vermehrung Kolonien aufbauen. Diese Moose kommen in unberechenbaren Umgebungen vor, weswegen sie neben dem Wachstum des Gametophyten auf sexuelle und vegetative Vermehrung setzen. Dies ermöglicht ihnen auf viele plötzliche Änderungen der Lebensumstände zu reagieren. Auch sie produzieren viele, kleine, weitreichende Sporen um neue ferne Habitate zu erreichen, haben aber daneben vegetative Verbreitungsstrategien wie Brutkörper entwickelt, um auch die nahe Umgebung zu besiedeln. Diese Strategie findet man einerseits bei Pionieren, die neue Lebensräume besiedeln (z.B. *Grimmia* sp.) aber auch bei Kolonisten, welche auf herausfordernden Substraten vorkommen (z.B. *Bryum argenteum*). Diese Arten wachsen häufig in Polstern, wobei die einzelnen Pflänzchen meist nur wenige Jahre alt werden, sich aber vegetativ über Seitensprosse vermehren.

(3) „*Annual shuttle species*“

Zugerechnet werden dieser Lebensform jene Moose, die sich durch kurze Lebenszyklen, Fehlen von asexueller Reproduktion und bald nach ihrer Entstehung einsetzender und regelmäßiger sexueller Vermehrung auszeichnen. Es werden eher wenige und große Sporen produziert, die in der näheren Umgebung verteilt werden und dort lange keimungsfähige Sporenbanken bilden. Diese Strategie wird von Arten genutzt, welche Habitate besiedeln, die in gewisser Regelmäßigkeit bzw. Saisonalität auftauchen und wieder verschwinden. Beispiele sind temporär überflutete Gebiete, Hufabdrücke an Wasserstellen oder Dung großer Tiere. Häufig genannt für diese Lebensform wird *Physcomitrium pyriforme*. Sein naher Verwandter *Physcomitrium sphaericum* ist ein Paradebeispiel, es besiedelt im Herbst die Ufer von frisch abgelassenen Fischteichen, alle Jahre wieder (ECKSTEIN 2006).

(4) „Short-lived shuttle species“

Im Gegensatz zu der vorangegangenen hat diese Gruppe eine etwas längere Lebensspanne und damit einen ausgeprägten Gametophyten. Die besiedelten Habitate sind ebenfalls nur temporär, bestehen aber im Allgemeinen länger, als die oben genannten. Beispiele sind erhobene Teile auf Salzwiesen, Bachufer oder Tierknochen. Verbreitung findet vorerst vegetativ statt, Sporophyten werden üblicherweise erst nach 3-4 Jahren gebildet. Diese bilden dann große und ausdauernde Sporen. Viele Wassermoose (z.B. *Cinclidotus*) nutzen diese Strategie.

(5) „Perennial shuttle species“

Diese dritte Form der „shuttle species“ beinhaltet, wie der Name schon verrät, vergleichsweise lange Lebensspannen des Gametophyten sowie erst nach Jahren einsetzende und geringe oder manchmal fehlende sexuelle Vermehrung, bei einer Dominanz der vegetativen Vermehrung. Sowohl Meiosporen als auch Diasporen sind groß. Häufig kommt diese Lebensstrategie bei Epiphyten vor, deren Sporen nicht weit getragen werden müssen, um wieder ein geeignetes Habitat zu finden. Ein typisches Beispiel ist *Leucodon sciuroides*.

(6) „Perennial stayers“

Diese übersetzt langjährig Bestehenden sind typischerweise kompetitive Arten, die sich aufgrund ihrer Stresstoleranz gegenüber den Gefäßpflanzen behaupten können. Sie setzen auf Wachstum des Gametophyten und besiedeln große Flächen. Die einzelnen Individuen können dabei sehr alt werden (z.B. *Sphagnum* bis 3.000 Jahre). Sexuelle Fortpflanzung passiert oft nur sehr selten und erst nach vielen Jahren (z.B. *Hylocomium splendens* nach 20 Jahre) (DURING 1979).

1.1.4. Ökophysiologie der Laubmoose

Laubmoose haben eine Reihe von besonderen anatomischen und physiologischen Anpassungen an verschiedene ökologische Parameter entwickelt, wobei sich einige davon ganz grundlegend von den Gefäßpflanzen unterscheiden.

1.1.4.1. Wasser

Moose sind ektohydriisch, transportieren Wasser in kapillaren Systemen außerhalb des Gewebes. Und sie sind poikilohydriisch, passen ihren Wassergehalt also im Wesentlichen der Feuchtigkeit ihrer Umgebung an (PROCTOR 2009). Da die Bryophytina zumeist einschichtige Blättchen haben und selten eine Cuticula aufweisen, können sie Wasser einfach durch die Zellwand aufnehmen und abgeben (PROCTOR et al 2007). Mit diesen Eigenschaften stehen sie im Gegensatz zu den endohydriischen Gefäßpflanzen, welche grundsätzlich durch Wasseraufnahme über Wurzeln, interne Wasserleitung,

wasserabweisenden und undurchlässigen Cuticula und Stomata für den Gasaustausch gekennzeichnet sind (PROCTOR 2009).

Manche Moose wachsen daher in permanent luftfeuchten Lebensräumen, wie in tropischen Nebelwäldern oder in Schluchten. Andere besiedeln feuchte Mikrohabitate wie Astgabeln oder Rinnen im Gestein in denen sich Wasser sammeln kann. Moose wie *Sphagnum* bilden Moore und schaffen durch ihre Wasserleitfähigkeit ihr eigenes Feuchtbiotop. Zuletzt gibt es noch die sogenannten xerophytischen Moose die sich an extrem trockene Bedingungen angepasst haben und zum Beispiel ausgesetzten Fels bewohnen.

Wasseraufnahme und Wasserleitung

Die meisten Moose nehmen Wasser nicht über Wurzeln sondern über die gesamte Blatt- und Stämmchenoberfläche auf (PROCTOR 1982). Diese Eigenschaften und das geringe Oberflächen-Volums-Verhältnis vermindert die Notwendigkeit innerer Leitsysteme. Solange das gesamte Pflänzchen in feuchter Umgebung ist oder durch externe Leitung einen Wasserfilm über sich legen kann, können alle Organe und Zellen mit Wasser versorgt werden. Die Wasserleitung erfolgt bei den meisten Moosen zum überwiegenden Teil ektohydrisch, also in Kapillarsäumen wie sie durch spezielle Beblätterung mit konkaven Blättchen gebildet werden (z.B. *Bryum argenteum*), durch Filze an Rhizoiden oder Paraphyllien (z.B. *Thuidium*), zwischen Papillen der Blättchenoberfläche (z.B. *Syntrichia ruralis*, *Anomodon viticulosus*) sowie in kapillar wirksamen Räumen zwischen den einzelnen Stämmchen oder dem Stämmchen und dem Substrat (z.B. *Hypnum cupressiforme*). Natürlich gibt es auch innerhalb des Pflänzchens Wasserleitung, jedoch ist diese meist diffus und ungerichtet, geschieht entlang von chemischen Gradienten innerhalb der Zelle oder durch die Zellwand.

Manche Moose jedoch, beispielsweise die Polytrichaceae und Mniaceae sind mixohydrisch, haben also neben der externen Wasserleitung auch richtige interne Leitgefäße entwickelt. Damit zusammenhängend nehmen sie Wasser auch vermehrt über Wurzeln oder wurzelähnliche Strukturen aus dem Substrat auf und leiten es intern zu den Blättchen, die selbst nur reduziert Wasser aufnehmen (PROCTOR 2009). Manche dieser Moose (z.B. *Polytrichum*, *Climacium*) bilden auch Rhizome aus, wodurch die Wasserleitung nicht nur innerhalb eines Sprosses, sondern auch von einem zum nächsten Spross weitergeleitet werden kann. Solche manchmal auch als „endohydrisch“ bezeichnete Moose sind häufig in feuchten, nährstoffreichen Habitaten zu finden (PROCTOR 1982).

Generell gibt es also vier Wege der Wasserleitung bei Moosen (PROCTOR 1982):

- In den Interzellularräumen
- Von Zelle zu Zelle
- Extern über Kapillarräume

- Durch einen Zentralstrang aus wasserleitenden, länglichen Zellen, den sogenannten Hydroiden (bei „endohydrischen Moosen wie *Haplomitrium*)

Eine spezielle Zell-Zell-Wasserleitung funktioniert über die sogenannten Hyalocyten (z.B. *Leucobryum*, *Sphagnum*, *Tortula*), toten Zellen mit großen Poren.

Als Anpassungen an Trockenheit oder zur Erleichterung von Wasseraufnahme und Wasserleitung haben sich verschiedene Anpassungen entwickelt. Typisch sind Glashaare, die als Kondensationskeime dienen und so das Wasser aus feuchter Luft „kämmen“ (z.B. *Syntrichia ruralis*).

Der externen Wasserleitung dienlich ist eine wurmförmige Beblätterung (z.B. *Bryum argenteum*, *Pleurozium schreberi*), sowie Paraphyllien (z.B. *Thuidium tamariscinum*), Rhizoidenfilze (z.B. *Aulacomnium palustre*) oder Assimilationslamellen bei dem mixohydrischen *Polytrichum*. Auf den Blättchen können Wachsauflagerungen, sogenannte Papillen für einen Wasserstrom auf der Blattoberfläche sorgen (PROCTOR 1982).

Wasserspeicherung und Verdunstungsschutz

Das Vorhandensein von Wasser in den Zellen ist lebensnotwendig, da metabolische Prozesse prinzipiell nur im feuchten Zustand stattfinden können. Im Gegensatz zu den Gefäßpflanzen die ihren internen Wassergehalt auch bei arider Umgebung aufrechterhalten können, sind die poikilohydrischen Moose auf den Feuchtegehalt der Atmosphäre angewiesen. Ausnahmen stellen hier nur die wenigen mixohydrischen Moose dar (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Prinzipiell enthalten Moose Wasser apoplastisch (also im Zellinneren), symplastisch (also zwischen den Zellen) und auch kapillar oder extern (also z.B. zwischen Stämmchen und Beblätterung oder zwischen den einzelnen Pflänzchen). Im Gegensatz zu den Gefäßpflanzen haben sie keine oder selten nur sehr kleine Vakuolen (PROCTOR et al. 2007).

Auf zellulärer Ebene kommen zur Wasserspeicherung die oben bereits erwähnten Hyalocyten, sowie Wasserspeicherzellen, Blattflügelzellen (z.B. *Hypnum cupressiforme*) und speziell bei Trockenarten besonders verdickte oder knotige Zellwände (z.B. *Tortula*, *Anomodon viticulosus*) vor (PROCTOR 1982). Organe, wie Paraphyllien, Rhizoidenfilze und Wassersäcke (z.B. *Frullania*) und auch die Blattscheiden zwischen Stämmchen und Blatt, dienen der Wasserspeicherung. Auch in hohlen, anliegenden Blättchen, wie bei *Bryum argenteum*, kann Wasser gehalten werden. Zuletzt gibt es besondere Wuchsformen, welche für trockene Bedingungen geeignet sind. Polsterwuchs (z.B. *Grimmia*, *Bryum*) verhindert Verdunstung, da er das Wasser im Inneren hält und ein eigenes Mikroklima schafft (Abb. 6). Bei Moosen welche in Decken (z.B. *Ctenidium molluscum*) oder Kurzrasen (z.B. *Syntrichia*) wachsen, entsteht ein Raum zwischen Moos und Untergrund, welcher als Wasserspeicher genutzt wird.

Gegen Verdunstung haben die Moose verschiedene Schutzmechanismen entwickelt: Die wächsernen Papillen, die auch der Wasserleitung dienen, zerstören die Wasseroberflächenspannung des Wassers und verhindern dadurch einen Wassersog nach außen, wenn die Umgebungsluft im Vergleich zu dem Pflänzcheninneren arider wird (z.B. *Syntrichia*, *Thuidium*, *Grimmia*). Ähnlich funktionieren die Mamillen, welche Ausstülpungen der Zellwand darstellen (*Grimmia*). Die Glashaare an den Blättchenspitzen dienen als Verdunstungsschutz, da sie den Wind brechen und das Licht reflektieren und so die Einstrahlung verringern (z.B. *Syntrichia ruralis*, Abb. 5). Eher wenige Moose weisen eine dicke Cuticula auf. Am jungen Sporophyten bieten zuerst die Embryotheca und anschließend die daraus entstehende Kalyptra einen Austrocknungsschutz für die Kapsel.

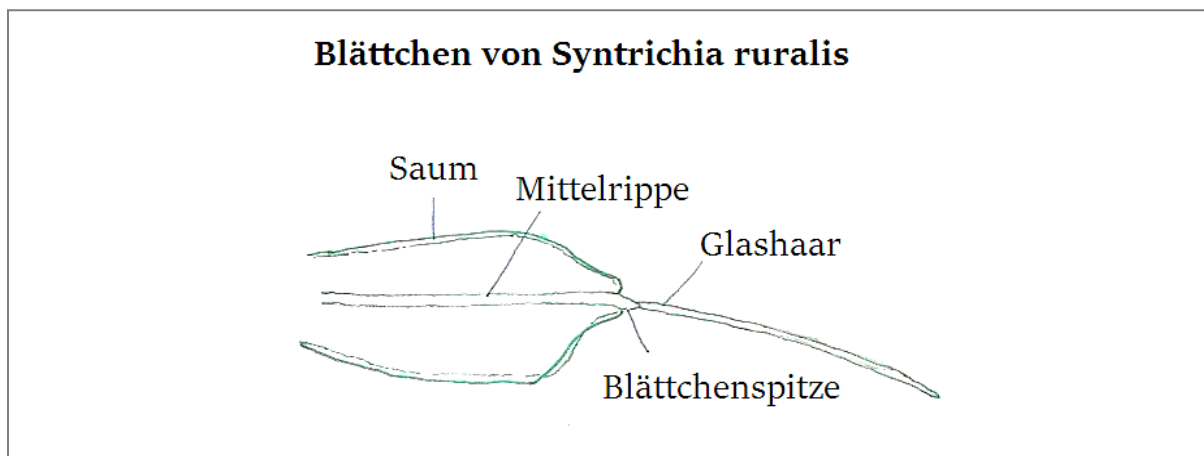


Abb. 5: Blättchen von *Syntrichia ruralis* mit Mittelrippe, Blattsaum und Glashaar. Die Glashaare dienen als Kondensationskeime und als Verdunstungsschutz und verleihen den Pflänzchen ein silbrig glänzendes Erscheinungsbild.



Abb. 6: Eingedrehte Blättchen und typischer Polsterwuchs eines xerophytischen Moores (*Tortella* sp.)

Manche Arten weisen ein Verhalten auf, bei welchem sich die Blättchen ab einer gewissen Trockenheit einrollen oder eindrehen und so die Verdunstung vermindern indem die Fläche verringert wird an der

der Wind und Einstrahlung wirken können. Beispiele sind *Weissia* sp., *Tortella tortuosa*, *Bryum capillare* und auch hier wieder besonders eindrucksvoll *Syntrichia ruralis*.

Austrocknungstoleranz

Nur wenige Moose besitzen wie die Gefäßpflanzen echte Mechanismen zur Verhinderung von Austrocknung, wie eben Hyalocyten und Hydroide (PROCTOR 1982). Andere Möglichkeiten liegen in der Verringerung bzw. der zeitlichen Verzögerung der Austrocknung durch bestimmte wasserhaltende Beblätterung oder Wuchsformen (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Der Großteil der Moose ist jedoch poikilohydrisch: Ist also die Umgebung arid, trocknen sie aus. In diesem Zusammenhang haben sie zwei grundlegende Strategien entwickelt: (a) die Vermeidung trockener Perioden und (b) die Ausbildung von Mechanismen zur Austrocknungstoleranz.

(a) Vermeidung trockener Perioden

Moose in den humiden Tropen oder im Wasser meiden Trockenstress indem sie Lebensräume besiedeln, in dem Austrocknung natürlicherweise keine Gefahr darstellt. Trocknen sie aus, ist das fast immer letal. In zeitweise trockenen Klimaten haben manche Moose, ähnlich vielen Gefäßpflanzen phänologische Anpassungen unternommen und richten ihren Lebenszyklus und ihre Wachstumsphasen nach den Jahreszeiten aus. Sie sind in trockenen Perioden inaktiv oder bereits abgestorben und überbrücken diese Zeit als Sporen. Moose mit dieser Strategie kommen besonders in trockenen Lebensräumen vor, sie sind ephemere, also sehr kurzlebige Arten mit ausgeprägter sexueller Fortpflanzung, welche kurze Perioden der Wasserverfügbarkeit für Wachstum, Fortpflanzung und Sporenproduktion ausnutzen. Die ungünstigen Zeiten werden dann als Sporen, Fragmente oder als Gemmen (Brutkörper, Brutknospen) überdauert.

Viele Moose halten sich mit ihrer Photosynthesetätigkeit auch an günstige Tageszeiten wie frühere Morgen- oder spätere Abendstunden, wenn es kühler ist und auch Tau an den Blättchenpitzen vorhanden ist. Dafür ruhen sie zur heißen, trockenen Mittagszeit. In gewissen Lebensräumen, in welchen die Gefäßpflanzen normalerweise dominieren, haben Moose ihre Hauptwachstumsperiode im Winter, nutzen die erhöhte Lichtverfügbarkeit bei geringeren Temperaturen, solange die höheren Pflanzen ruhen.

(b) Physiologische Mechanismen der Austrocknungstoleranz

Moose an Trockenstandorten haben vielerlei physiologische Anpassungen an Austrocknung, länger währende Trockenheit sowie Wiederbefeuchtung entwickelt. Diese Fähigkeit nahezu ihren gesamten Wassergehalt zu verlieren und an die Wiederbefeuchtung anschließend wieder normal zu funktionieren, ist eine bemerkenswerte Fähigkeit vieler Moose (PROCTOR et al. 2007).

Wenn ein Moos auszutrocknen beginnt, startet es bereits während der Austrocknung mit der Produktion und Einlagerung von sogenannten LEA-Proteinen („*late embryogenesis abundant proteins*“) und Zuckern wie Sucrose (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009) und dann mit der Bildung von Ribosomen und Isoenzymen, sowie der Konservierung von RNA (PROCTOR et al. 2007). Die Zucker und Ionenbindenden LEA-Proteine dienen der Stabilisierung der Zelle während der Austrocknung (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009). Auch die Aktivität der Nitrat-Reduktase nimmt extrem stark ab mit beginnender Austrocknung (BATES 2009). Dabei wird vorerst nur externes Wasser verbraucht. Wird durch extreme Trockenheit auch das apoplastische Wasser entfernt, kann es zur mechanischen Zerstörung der Zellwände kommen. Da Moose keine Vakuole haben, ist die Schrumpfung der auch kleineren Zellen dabei geringer als bei Gefäßpflanzen (PROCTOR et al. 2007).

Durch die oben genannten Mechanismen sind Moose zwar nicht vollständig geschützt vor Schäden (vor allem Zellwandbrüchen), die durch Austrocknung oder Widerbefeuchtung entstehen, aber sie sind bereits gut vorbereitet, auf die nach der Rehydration notwendigen Reparaturen (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009). Durch die bereits produzierten Enzyme und Ribosomen, die in den LEA-Proteinen gebundenen Ionen und die konservierte RNA können sie extrem schnell bereit um die in der Zellwand entstandene Löcher zu reparieren. Dadurch sind Moose wenige Minuten bis maximal eine Stunde nach der Befeuchtung wieder voll photosynthesefähig (PROCTOR et al. 2007). Besonders herausragend ausgeprägt und auch häufig untersucht sind diese zellphysiologischen Reaktionen auf Austrocknung bei *Syntrichia ruralis* (OLIVER et al. 2000). Sie kann extreme Wasserknappheit ertragen und so längere, vollständige Austrocknung überleben (ABEL 1956).

Die Austrocknungstoleranz ist von Art zu Art unterschiedlich und variiert auch nach Standorten und Jahreszeiten. Wenn die Austrocknung zu schnell von statten geht und die Vorbereitungen nicht abgeschlossen werden können oder wenn die Rehydration bei hohen Temperaturen erfolgt, können die Schäden für das Moos auch tödlich sein (PROCTOR et al. 2007).

1.1.4.2. Temperatur

Die Idealtemperaturen der meisten Moose liegen bei 15°C bis 25°C, also deutlich niedriger als jene der Gefäßpflanzen mit 20°C bis 30°C. Viele Moose können daher ohne Probleme ihre Hauptwachstumsphasen in Spätherbst und Frühlingsbeginn oder sogar im Winter erleben, wenn die Konkurrenz der Gefäßpflanzen fehlt (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009). Abbildung 7 zeigt die Wachstumsoptima zwischen 5 und 35°C für einige ausgewählte Arten.

Doch nicht nur in Bezug auf ihre Wohlfühltemperatur sondern auch bei ihren Temperaturschmerzgrenzen unterscheiden sich Moose von den Gefäßpflanzen. Im trockenen Zustand können sie Temperaturen von -196° bis 95°C überleben. Im feuchten Zustand verengen sich diese Toleranzgrenzen auf -30°C bis 45°C. Zwar nimmt die metabolische Aktivität bei vielen Moosen bei unter 5°C ab, manche Moose aber wachsen sogar noch bei Temperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt.

Ihre Frosttoleranz erhalten die Moosen durch Terpene und Sesquiterpene. Viele Moose können daher ohne Probleme ihre Hauptwachstumsphasen in Spätherbst und Frühlingsbeginn oder sogar im Winter erleben, wenn die Konkurrenz der Gefäßpflanzen fehlt (PROCTOR 1982). Dadurch können Moose erfolgreich Lebensräume im Hochgebirge oder in den hohen Breiten besiedeln, die für höhere Pflanzen nicht mehr bewohnbar sind (PROCTOR 2009). Besondere Adaptionen zeigt zum Beispiel *Grimmia pulvinata*, die auch in Hochgebirgsregionen und an extrem ausgesetzten Standorten vorkommt: Sie kann untertags 60°C und in der Nacht Temperaturen unter dem Gefrierpunkt ertragen (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009). Manche Moose können sogar unter 0°C noch Photosynthese betreiben und positive Assimilationsraten erreichen (PROCTOR 1982).

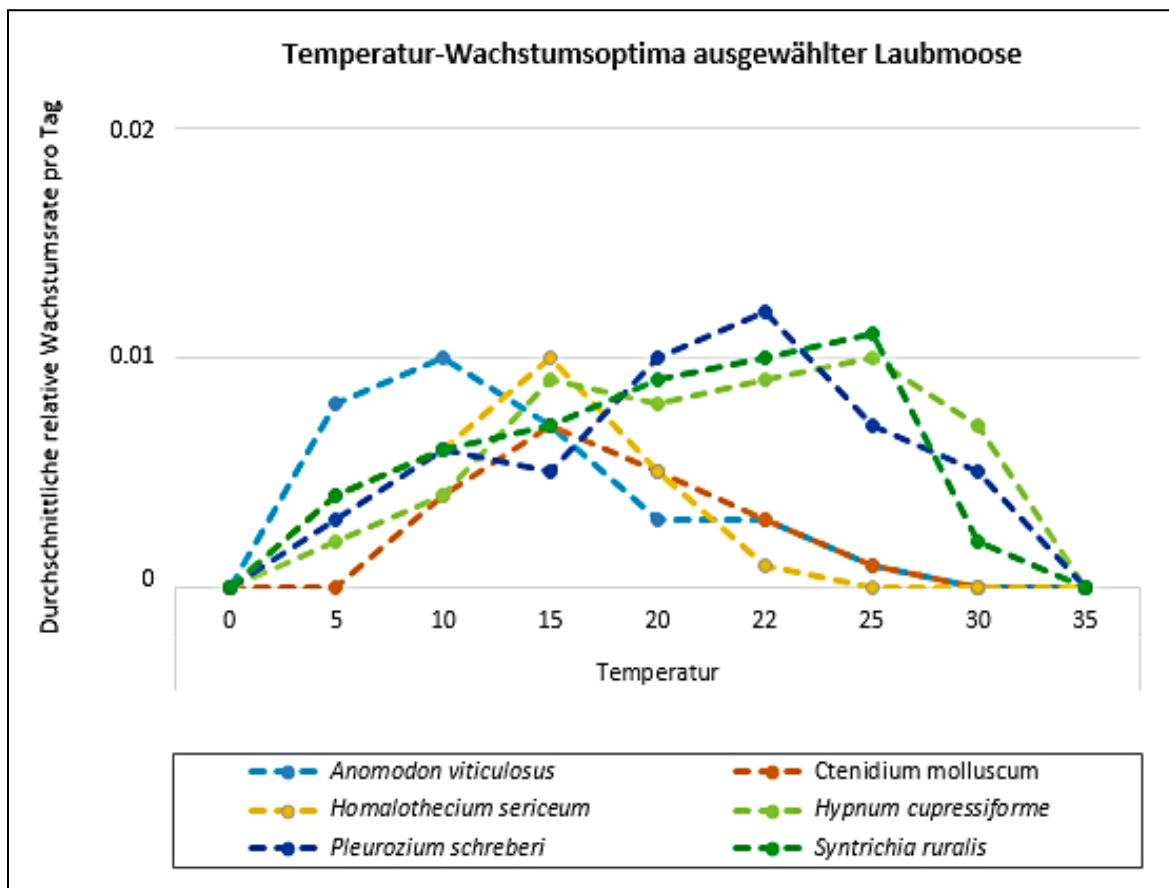


Abb. 7: Wachstumsoptimaltemperaturen ausgewählter Laubmoose (nach FURNESS & GRIME 1982).

1.1.4.3. Licht und CO₂

Die Poikilohydrie der Moose bedeutet, dass viele Moose in den hellen und oft trockenen Zeiten inaktiv sind. Sie verpassen die in Bezug auf Licht besten Photosynthesepereioden, metabolieren also, wie bereits erwähnt, eher morgens, abends oder an Standorten, die nicht direkt im Sonnenlicht stehen. Moose sind C₃-Pflanzen, sind angepasst an eher geringe Lichtintensitäten, womit sie Eigenschaften haben, die typisch für Schattenpflanzen sind. Sie weisen im Vergleich zu den Gefäßpflanzen verhältnismäßig viel Chlorophyll b auf, sie sind also für den Schattenlichtanteil empfänglicher (MARSCHALL & PROCTOR

2004). Sie brauchen daher (vor allem bei niedrigen Temperaturen) weit weniger Licht um erfolgreich Photosynthese zu betreiben. Die meisten Laubmoosarten benötigen nur eine Lichtsättigung etwa $600 \mu \text{mol photon m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Zum Vergleich: im Kulturapfel *Malus domestica* sind es $2125 \mu \text{mol}$). Deswegen gibt es Moose die sogar bis einen halben Meter unter der Schneedecke noch assimilieren. Spezielle Höhlenmoose können mit 0,25% relativem Lichtgenuss auskommen (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Je nach Lichtintensität können die Chlorophyllverhältnisse sowie die Anteile anderer Photopigmente in der Zelle variieren. Mehr Carotinoide treten im Schatten auf, wogegen Lutein und die photoprotektiven Xanthine bei Sonnenexponiertheit häufig vertreten sind, genauso wie die Anthocyane die vor dem kurzwelligen UV-Licht der Sonne schützen (GLIME 2007).

Syntrichia ruralis zeigt in Bezug auf Licht und Trockenheit extreme Anpassungen. Durch das bereits weiter oben erwähnte Eindrehen der Blättchen, wird nicht nur die Verdunstung, sondern eben auch die Lichtaufnahme fläche extrem verringert wodurch auf die Photosyntheseapparate nur das durch die eigene Beschattung entstehende Dunkellicht auftrifft. Auch die Glashaare an den Blättchenspitzen haben in Bezug auf Licht eine weitere Funktion: Sie reflektieren es und vermindern so die Einstrahlung. Daher ist *S. ruralis* eine „funktionelle Schattenlichtpflanze“ und das obwohl sie oft an exponierten Flächen vorkommt (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Einige Anpassungen haben sich die Moose auch Bezug auf Licht und Temperatur angeeignet. So können bestimmte Färbungen als Isolationsschutz dienen, wie das Rot des exponiert im Hochgebirge wachsenden *Bryum alpinum*, das so verbessert langwellige Strahlung (also Wärme) aufnehmen kann. Umgekehrt funktioniert die silbrige, reflektierende Farbe von *Bryum argenteum* durch welche Licht reflektiert, Einstrahlung also eher vermindert wird. Auf manchen Blättchen findet man auch mamillöse (durch Zellwandausstülpungen stark vergrößerte) Zellen sowie die bereits öfter erwähnten Papillen, die wie Lupen Licht auf den Photosyntheseapparat fokussieren können (GLIME 2007).

Bei besonders wenig Licht wachsen viele Moose zwar noch weiter, weisen aber extrem ungewöhnlichen Habitus in Bezug auf Stämmchen, Blättchen und Verzweigungen auf. Diese werden als „Hungerformen“ bezeichnet. Zum Beispiel sind generell die Blättchen von Moosen im Schatten breiter als an exponierten Standorten und die Stämmchen sind länger, karger beblättert und seltener verzweigt. Hungerformen können schwer zu erkennen und zu bestimmen sein (GLIME 2007).

Moose sind C3-Pflanzen und nutzen ausschließlich CO_2 als Kohlenstoffquelle, weswegen zum Beispiel Wassermoose nur in bewegtem und daher CO_2 reichen Gewässern überleben können. Sie sind schlechte CO_2 Verwerter und weisen nur geringe Fixierungsraten auf, weswegen sie nur langsam wachsen und von Gefäßpflanzen auf Gunststandorten schnell dominiert werden (PROCTOR 1990).

Auch zwischen CO₂, Licht und Temperatur gibt es einen Zusammenhang. So wird Lichtsättigung generell bei geringer Strahlungsintensität eher erreicht, wenn die Temperaturen niedrig sind, wohingegen bei höheren Temperaturen auch höhere Einstrahlungsintensitäten ausgenutzt werden können. Das Temperaturoptimum für die Netto-Photosynthese ist dabei am höchsten bei Strahlungssättigung und fällt herab auf niedrigere Temperaturen, wenn Licht zunehmend limitiert wird. Mit den CO₂-Gehalten steigen generell auch die Idealtemperaturen von Moosen. Bei steigenden Temperaturen (bis maximal 30°C) und erhöhten CO₂-Gehalten nimmt auch CO₂-Aufnahme der Blättchen und damit die Photosyntheserate zu (PROCTOR 1982).

1.1.4.4. Nährstoffe

Moose unterscheiden sich von Algen und Gefäßpflanzen kaum in ihren Bedürfnissen, sehr wohl aber in der Art der Aufnahme und Speicherung von Nährstoffen. Eine bedeutende Konsequenz davon ist die Fähigkeit der Moose Ökosysteme durch ihre Nährstoffakquirierung in ihren chemischen Eigenschaften zu verändern, eine andere Folge ist die Möglichkeit der Nutzung von Moosen im Biomonitoring (BATES 2009).

Im Prinzip benötigen Moose die gleichen Makro- und Mikronährstoffe wie Gefäßpflanzen, jedoch nicht in derselben Konzentration. Zu hohe Konzentrationen können für Moose tödlich sein, wohingegen sie bei stark verdünnten Medien optimales Wachstum und wenig Stressreaktionen (wie die Produktion von Brutkörpern) zeigen (BATES 2009). Als Hauptquelle für Stickstoff gilt Ammonium, als Nebenquelle kann auch organischer Stickstoff herangezogen werden. Ein stark limitierender Nährstoff ist Phosphor. Sowohl für Phosphor als auch für Stickstoff können manche Moosen Symbionten beherbergen.

Da den Moosen Wurzeln fehlen, nehmen sie, anders als die Gefäßpflanzen Nährstoffe nur zu einem geringen Teil durch das Substrat auf. Es gibt drei generelle Mechanismen zur Nährstoffakquirierung: Ein Großteil der benötigten Nährstoffe wird durch die Luft (also aus Regen, Nebel oder Aerosole („*wet deposition*“) bzw. über Staub oder als Gase („*dry deposition*“ z.B. Ammonium, Stickstoffoxide). Das erlaubt den Moosen in Bezug auf ihre Ernährung relativ unabhängig von ihrem Untergrund zu sein. Außerdem werden viele Nährstoffe (N, P, K, Mg, Ca, Zn) aber auch Photoassimilate aus älteren Gewebeabschnitten rezykliert. In gewissen Habitaten und unter ungeeigneten Bedingungen ist diese Quelle manchmal überlebensnotwendig (BATES 2009).

Nährstoffaufnahme der Moose erfolgt extrazellulär durch Absorption über Kationentauscher an den Zellwänden (Carboxylgruppen bzw. kovalent gebundene Polygalakturonsäuren) oder passive Substitutionsreaktionen (H⁺ gegen Kation) auf. Dies führt zu einer Versauerung der Umgebung und ist vor allem für die Bildung von Mooren durch *Sphagnum* von extremer Bedeutung. Die Absorptionsraten sind abhängig von Licht, Temperatur und gewissen metabolischen Inhibitoren. Dabei unterscheiden Moose nicht in der Aufnahme von ihnen benötigten und für sie nicht notwendigen Ionen. Interessanterweise nehmen Moose präferiert die schweren Kationen (Cu, Pb, Ni, Co, Zn, Mn) auf, auch

wenn die leichteren und viel essentielleren Kationen (Ca, K, Mg, Na) in höheren Konzentrationen vorhanden sind. Diese für sie unbrauchbaren Stoffe werden in den Interzellularräumen gelagert, während brauchbare Elemente dann mit Transportproteinen weiter in die Zelle gelangen (BATES 2009).

Zwischen den Zellen nutzen Moose wie die Gefäßpflanzen Aquaporine bzw. Transportproteine zur Wasser- bzw. Nährstoffleitung über den chemischen Gradienten. Auch ATP verbrauchende Protonenpumpen kommen für Transporte von Ionen und Lösungen gegen das chemische Gefälle zum Einsatz und zur Regulation des intrazellulären pH-Wertes (BATES 2009).

1.1.5. „Bryotope“ – Die Lebensräume der Moose

Weltweit gibt es rund 14.000 Moosarten, wenig im Vergleich zur fast 20-mal höheren Diversität der Gefäßpflanzen (RYDIN 2009). Sehr vielfältig ist aber ihre Habitatauswahl: Sie sind weit verbreitet, von den Tropen bis in die Arktis, von der Meeresküste bis ins Hochgebirge und in fast jedem Ökosystem (außer im Meer und in permanent gefrorenen Habitaten) vorhanden (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009). Sie sind selten dominant auftretend, meistens besiedeln sie extreme ökologische Nischen oder fungieren als Pioniere.

Kompetitive Arten wie die *Sphagnen* in Mooren sind eine Seltenheit unter den Moosen, gerade aber dieses Beispiel zeigt, wie bedeutend sie sein können. Die Torfmoose und ihre Torf- und daher moorbildende Tätigkeit lassen einen ganz eigenen Lebensraum entstehen. Auch in Trockenrasen sind Moose zwischen anderen Pflanzen zu finden und machen einen nicht zu unterschätzenden Teil der Vegetation aus (RICHARDSON 1981). Und in arktischen Räumen (vor allem in Feuchtgebieten) macht ihre Biomasse mehr als drei Viertel der pflanzlichen Biomasse aus (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009). In schnell fließenden, natürlichen Gewässern mit grobem Grundsubstrat gibt es Moose dominant größere Felsblöcke bewachsend. In humiden Wäldern sind sie zumindest optisch auffällig an der Rinde von Stamm und Ästen zu finden (z.B. *Hypnum cupressiforme*, Abb. 7 oben). Auch in heißen und kalten Wüsten treten Moose auf. Stress tolerante Bryophyten besiedeln jene Lebensräume, welche für Gefäßpflanzen unbewohnbar sind. Im Hochgebirge, auf Schwermetallglätzen, am Rand heißer Quellen und Salzlaken, in dunklen Quellen, in marinen und limnischen Spritzwasserzonen sind sie zu entdecken. Eine Spezialität der Moose ist ihre Pioniertätigkeit und damit die Besiedelung von rohen oder nur kurzzeitig verfügbaren Substraten wie Sand, rohem Fels, Eis, Dung oder Rohboden (RICHARDSON 1981).

In Bezug auf die Nutzung von Gestein als Lebensraum können Moose in zwei Gruppen, die calcicolen (kalktoleranten) und die calcifugen (kalkmeidenden) Arten eingeteilt werden. Prinzipiell ist die Artenvielfalt auf kalkhaltigem Gestein weit geringer als auf silikatischem, auch ist Kalk für kalktolerante Arten nicht obligat, sie kommen durchaus auch auf saurer Rinde vor (BATES 2009).

Ein beliebter Lebensraum vieler Moosarten sind lebende oder abgestorbene Teile von Gefäßpflanzen oder Pilzen. Sie besiedeln Borke von lebenden Bäumen, aber auch verrottende Baumstümpfe (Abb. 9), sowie lebende und abgestorbene Blätter. Die Artenzusammensetzung, die Wuchsdichte, Lebensformen und auch die Produktivität der epiphytischen Moosgesellschaften sind dabei stark abhängig von externen Faktoren wie Luftfeuchte, Temperatur aber auch substratspezifischen Faktoren wie pH-Werte, Gefälle und Rauigkeit der Oberfläche, Lichtverfügbarkeit sowie Verfügbarkeit von flüssigem Wasser (HOLZ et al. 2002). Eine Besonderheit stellen die fast ausschließlich auf humide Lebensräume beschränkten Epiphyllen, also die Blätter anderer Pflanzen bewachsenden Moose dar. Sie sind sehr bedeutend für die Wasser- und Nährstoffkreisläufe der tropischen Regenwälder (SONNLEITNER 2008).

Einige Moose (z.B. *Funaria hygrometrica*, *Bryum argenteum*) haben sich auch an Störungen wie zum Beispiel solche durch Feuer angepasst und besiedeln diese neu entstandenen und noch unbewohnten Lebensräume nach nur wenigen Wochen. Noch schneller in der Besiedelung sind jene Arten (z.B. *Splachnum*), die sich auf Dung oder Kadaver spezialisiert haben. Diese temporären und unvorhersehbar auftretenden Habitate verlangen kurze Lebenszyklen sowie spezielle Verbreitungsmechanismen, zum Beispiel über Fliegen als Vektoren um gezielt auf einen neuen Dunghaufen oder Leichnam zu gelangen (BATES 2009).

Zuletzt haben einige Moose auch die Stadt als Lebensraum erobert und sich besonders dort, wo sie nicht entfernt werden manchmal flächendeckend verbreitet. Besonders hohe Diversität zeigen sie in strukturierten Bereichen wie Höfen, Gärten, Baulücken, Gleiskörpern und Gebäuden. Verhältnismäßig wenige Arten besiedeln hingegen Verkehrsflächen und Parks. Die wichtigsten Habitate sind Erde, Gestein und Pflasterritzen (Abb. 8, oben), aber auch auf Ziegel und epiphytisch können in der Stadt Moose gefunden werden. Häufige Arten sind *Bryum argenteum*, *Amblystegium serpens*, *Eurhynchium hians*, *Tortula muralis*, *Brachythecium rutabulum*, *Barbula convoluta* und *Ceratodon purpureus* (HOHENWALLNER 2000).

Ein nicht immer leicht einsehbarer und schwer zugänglicher, dafür bei Moosen umso beliebter Standort sind Dächer. Eine Untersuchung zu gründerzeitlichen, sich selbst überlassenen Flachdächern von Harald ZECHMEISTER (1992) hat ergeben, dass auch hier Moose oft eine Pionierrolle übernehmen und in weiterer Folge Substrat für höhere Pflanzen bereitstellen. Besonders häufig war die Gattung *Bryum* und *Barbula*, sowie die Arten *Ceratodon purpureus*, *Syntrichia ruralis* und *Tortula muralis*. Auch *Brachythecium albicans* und *Tortella inclinata*, die gemeinsam mit *S. ruralis* die Flachdächer der Glashäuser im Botanischen Garten Wiens besiedeln (Abb. 8, unten), sind Moose die häufig im städtischen Raum gefunden werden können.



Abb. 8: Städtische Bryotope: Mauer und Pflasterritze in Hütteldorf, Flachdach im Botanischen Garten, Wien.

1.1.6. Ökologische Bedeutung der Moose

Obwohl Moose nur einen sehr geringen Teil der pflanzlichen Biomasse weltweit ausmachen, haben sie große ökologische Bedeutung. Ein erster wichtiger Aspekt ist ihre Pionierrolle bei der Besiedelung neuer Lebensräume indem sie Möglichkeiten zur Anhaftung für andere Pflanzen bieten, Wasser aus der Luft entnehmen und zur Verfügung stellen, mechanisch und chemisch auf den Untergrund einwirken und dieses aufbereiten sowie nach ihrem Absterben auf den oft oligotrophen Substraten Nährstoffe zur Verfügung stellen. Sie gehören damit oft zu den ersten pflanzlichen Akteuren in der Bodenbildung und damit am Beginn der Sukzession der Vegetation. Dadurch haben sie eine tragende Funktion in vielen, vor allem kurzzeitigen Wasser- und Nährstoffkreisläufen, speichern neben Wasser und Nährstoffen aber auch Wärme und produzieren so ein eigenes Mikroklima (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Moose leben nicht isoliert für sich selbst sondern weisen vielfältige Interaktionen mit anderen Lebewesen im Ökosystem auf. Sie konkurrieren mit Gefäßpflanzen, Algen und Flechten um Substrat, Wasser, Licht und Stickstoff. Von den Gefäßpflanzen werden sie oft bald überwachsen, auch wenn sie deren Samen am Keimen und ihre Jungpflänzchen beim Wachsen hemmen. Über Flechten dominieren sie jedoch meist und verdrängen sie auf ungünstigere Standorte. Epiphytische Moose besiedeln Gefäßpflanzen. Flechten und Baumschwämme. Von manchen Pilzen werden Moose parasitiert, andere Pilze und sowie Blaualgen treten mit Moosen in Symbiose auf, die Cyanobakterien dienen dabei oft als Stickstofffixierer (DURING & VAN TOOREN 1990).

Große Bedeutung hat zum Beispiel, dass Moose Nährstoffe im Herbst und Winter, wenn Gefäßpflanzen inaktiv sind, aufnehmen und im Frühling und Sommer durch ihr Absterben und Kompostieren zur Verfügung stellen, wenn die höheren Pflanzen besonders viel benötigen. Allerdings kompostieren Moose prinzipiell sehr schlecht und halten im abgestorbenen Zustand in gewissen Ökosystemen Nährstoffe oft für lange Zeiten zurück. Auch die Fähigkeit der Moose Nährelemente wie beispielsweise Stickstoff aus der Luft zu entnehmen, kann die ökologischen Bedingungen für Gefäßpflanzen (die Stickstoff ja nur über Wurzeln, also verspätet aufnehmen können) vor allem an nährstofflimitierten Standorten verändern (BATES 2009). Zusätzlich spielt auch die Fähigkeit von Moosprotonema sowie von ausgewachsenen Gametophyten andere Pflanzen am Keimen und Wachsen zu hindern, eine bedeutende Rolle in vielen Ökosystemen. Diese Keimhemmung betrifft nicht nur die Samen der Samenpflanzen sondern auch Sporen von Farnen, Pilzen sowie Sporen und Brutkörper von anderen Moosarten (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).

Besondere ökologische Bedeutung haben Moose, im Speziellen die *Sphagnum* in Mooren. Vor allem in Hochmooren sind sie die Haupttorfbildner. Sie versauern die Torfböden durch den Kationentausch und steuern so das chemische Milieu des Ökosystems. Außerdem speichern sie in Hyalocyten, sowie an und zwischen ihren Stämmchen und Blättchen große Mengen an Wasser und halten so das Moor selbst bei trockener Witterung für lange Zeit feucht. Durch die schwere Zersetzbarkeit der Moose selbst und durch

die aufgrund des extrem sauren Milieus reduzierte mikrobielle Aktivität bleiben die abgestorbenen Pflanzenteile lange erhalten und die Torfbildung wird gefördert (DIERBEN 2001).

Viele Klein- und Kleinstorganismen können in und zwischen Moospflänzchen gefunden werden. *Grimmia pulvinata* beherbergt beispielsweise Nematoden, Rädertierchen, Bärtierchen und Amöben. Manche Fliegen legen ihre Eier in Moosen (z.B. *Sphagnum*) ab, die schlüpfenden Larven ernähren sich von den Pflänzchen (RICHARDSON 1981). Auch manchen Wegschnecken der Gattung *Arion* dienen Laubmoose als Nahrung (DAVIDSON et al. 1990).

Nicht nur aufgrund der geringen Größe der Moose sind diese für Wirbeltiere in Bezug auf Lebensraum oder Nahrungsmittel weniger bedeutend. Manchen Amphibien dienen Moospolster als Feuchtigkeit, Schatten und Schutz spendender Lebensraum. Viele Vögel, aber auch Mäuse nutzen Laubmoose (z.B. *Hypnum*) für ihren Nestbau. Gefressen werden sie nur selten, denn obwohl Moose den Gefäßpflanzen in ihren Mineral- und Kaloriengehalten um nichts nachstehen, haben sie einen großen Nachteil als Energiequelle: Sie sind sehr schwer verdaulich. Aufgrund fehlender anderer Nahrung ist Moos vor allem in der Arktis und im Hochgebirge beliebt und wird von Rentier, Karibu, Moschusochse, Lemming und vielen dort brütenden Gänsen gefressen (VANDERPOORTEN & GOFFINET 2009).



Abb. 9: Im Herbst, wenn die Rot-Buchen ruhen, ist im Wiener Wald einer besonders aktiv: *Hypnum cupressiforme*.

1.1.7. Moos und Mensch

Moose haben bei Weitem nicht die Bedeutung für den Menschen wie die Gefäßpflanzen. Befragt man Nicht-Bryologen welchen Nutzen von Moos sie kennen, dann denken sie an Weihnachtskrippen und Blumenarrangements. Manche kennen auch die Verbindung von Torfmoosen und dem Torf, der Blumenerde untergemischt wird. Wer Astrid LINDGREN (1981) gelesen hat, weiß auch, dass man wie Ronja Räubertochter aus „Weißmoos“ (*Leucobryum*) nicht nur weiche Schlafunterlagen machen, sondern auch blutende Wunden stillen und gute Verbände herstellen kann. Tatsächlich wurden sie früher als Dämmmaterial und zum Abdichten von Ritzen zwischen Holzplanken oder als Füllstoffe für Polster und Schlafunterlagen (das „Schlafmoos“ *Hypnum*) genutzt. Ihrer Saugfähigkeit wegen wurden sie als Toilettenpapier, Damenbinden, Windeln, Verbände verwendet. Was man früher nicht erklären konnte, aber vielleicht aus Erfahrung ahnte, war die antibakterielle Wirkung von Moosen, weswegen sie zur Aufbewahrung von Nahrungsmitteln herangezogen wurden. Wenige Moose sind wie *Polytrichum commune* lang und robust genug um zu Seilen und Körben geflochten zu werden (RICHARDSON 1981).

Bis heute werden Moose bei Blumenarrangements und als Dekoration gerne benutzt. Leider werden dafür oft geschützte Arten herangezogen. Besonders häufig sieht man das nach FFH-Richtlinie Anhang V (UMWELTBUNDESAMT 2007) geschützte Moos *Leucobryum glaucum*. Auch in der Aquaristik und Terraristik werden Moose gerne verwendet. Offiziell wird meist das Java-Moos (*Taxiphyllum barbieri*) gehandelt. Leider werden unter der Hand nicht nur geschützte Tier- sondern eben auch seltene Moosarten von privaten HändlerInnen verkauft.

Traditionsreich und namensgebend ist ihre Verwendung in japanischen Moosgärten, für welche die Moose extra eingesammelt, selektiert und kultiviert werden (FRAHM 2008b, GLIME 2007). Die wirtschaftlich größte Bedeutung haben immer noch die *Sphagnen* als Torfhauptproduzenten in Mooren. Der Torf wurde früher intensiver als heute als Brennmaterial und damit auch als Stromenergiequelle genutzt. Auch wenn in den meisten Staaten der Torfraubbau an Mooren inzwischen unterbunden wurde, werden immer noch viele Moore des Torfes wegen zerstört. Immer noch ist Torf Bestandteil fast aller herkömmlichen Blumenerde-Marken (RICHARDSON 1981).

Eine besonders interessante Bedeutung haben Moose als Bioindikatoren für eine große Bandbreite an Stoffen und Umweltveränderungen. Sie dienen speziell als Akkumulationsindikatoren für Schwermetalle, Radionuklide und organische Toxine. Und durch die Untersuchung von Häufigkeit, Verbreitung, Fertilität und Vitalität allgemein oder von speziellen Arten lassen sich Rückschlüsse über Schwefeloxide und Stickstoff in der Luft oder Folgen von Landnutzung und Klimaerwärmung ziehen. Gründe für ihre gute Nutzbarkeit im Biomonitoring und in der Bioindikation sind neben einer einfachen und günstigen Handhabung die fehlende Cuticula, die bereits erwähnten Eigenschaften in Nährstoffaufnahme und –speicherung (ZECHMEISTER et al. 2003), sowie in Bezug auf die Kartierung von Schwermetallen, dass diese in Moosen oft in viel größeren Konzentrationen vorhanden als in Gefäßpflanzen (BATES 2009).

Gerne benutzt zur Indikation von Schwermetallen, Stickstoff, Schwefel, organischen Toxinen und Radionukleiden werden zum Beispiel *Hylocomium splendens*, welches jährlich um genau eine Etage wächst (BATES 2009) sowie *Pleurozium schreberi*, *Hypnum cupressiforme* und *Abietinella abietina*. Durch das Vorhandensein oder Fehlen gewisser Arten kann man oft bereits im Gelände auf einen ungefähren Grad der Luftverschmutzung in einem Gebiet schließen (ZECHMEISTER et al. 2001). Resistent gegen Umweltverschmutzung aller Art sind *Bryum argenteum* sowie auch *Ceratodon purpureus*, die auf den Eisenerzschlackenhalden bei Leoben/Donawitz (PUNZ et al. 1986) und auch am Voestgelände in Linz (eigene Beobachtungen) anzutreffen sind. Andere Moose wie viele *Orthotrichum*-Arten oder auch das verwendete *Leucodon sciurioides* sind hingegen sehr sensibel gegenüber Luftverunreinigungen (ZECHMEISTER et al. 2003) und können sozusagen als Hinweise für „gute Luft“ gesehen werden.

1.2. Green up the city! Take moss!

Pflanzen machen die Stadt schöner: Im Frühling strahlen ihre Blüten bunt, im Sommer spenden Bäume Schatten, Gras dient als weiche Sitzunterlage, im Herbst erfreuen uns die leuchtenden Farben verschiedenfarbiger Blätter. Öffentliche Begrünungen geschehen durch Bäume, von denen in Wien jeder seine eigene Identitätsnummer trägt, Wiesenabschnitte oder Blumenbeete. Zunehmend modern sind Dachbegrünungen von Flachdächern. Die Wirkungen von Pflanzen als Feuchtigkeits- und Schattenspenden sowie zur Verbesserung der Luftqualität und des Wohlbefindens sind allgemein bekannt. Und das Pflanzen das von uns Menschen auf vielfältige Weise ausgestoßene CO₂ in den für uns lebenswichtigen Sauerstoff umwandeln, wissen auch fast alle.

Leider ist in Städten der Platz begrenzt, für jede Grünfläche wird Wohn- oder Parkraum verkleinert. Eine Lösung dieser Raumkonkurrenz sind vertikale Begrünungen. Fassadenbegrünungen gibt es bereits seit der Antike lange Tradition haben hierbei Efeu (*Hedera helix*) und Jungfernreben (*Parthenocissus* sp.). Lange Zeit gab es kaum Ansätze der vertikalen Begrünung die nicht in Verbindung mit Kletterpflanzen standen. Dies ändert sich zunehmend. Vera ENZI spricht in ihrer Diplomarbeit von einer Trendwende, die mit dem Jahr 2010 eintrat und mit der das Thema Fassadenbegrünung zunehmend im Bereich der Architektur und der Wirtschaft Aufmerksamkeit und Anklang fand (ENZI 2010).

Neben den allgemeinen, oben genannten Vorteilen von Pflanzen in städtischen Räumen, nennt ENZI (2010) drei weitere Vorteile durch das sogenannte Wandgrün:

- Schutz der Fassaden vor Witterung und UV-Belastung
- Lärmverminderung durch die Aufnahme von Schallwellen durch die Vegetationsschicht
- Optische Aufwertung ansonsten grauer, trister Wände

Außerdem würde durch Fassadenbegrünungen der Wasserkreislauf verlängert werden. Regenwasser würde nicht unmittelbar nach seinem Fall die Betonwände herab- und über Betonwände ins Kanalsystem gelangen sondern in der Fassadenvegetation zurückgehalten und über einen langen Zeitraum durch Evapotranspiration abgegeben werden. Dadurch wird die Umgebungsluft befeuchtet und ein Kühlungseffekt tritt ein.

ENZI stellt in ihrer Arbeit vier unterschiedliche Ansätze der Fassadenbegrünung vor (ENZI 2010):

- 1) Begrünung mit Kletterpflanzen: Hier kann zwischen Selbstkletterern, welche sich mit Haftwurzeln an der Fassade festhalten können und Gerüstkletterern, wie Schling- oder Rankpflanzen, die ein Gerüst benötigen um in die Höhe zu wachsen. Beide Fälle benötigen eine Basis (Topf) am Fuß der Fassade und eine gewisse Zeit um vor allem hohe Wände zu bewachsen.
- 2) Trogpfanzensystem. Damit ist eine abschnittsweise Begrünung von Fassaden möglich. Hier ergibt sich erstens die Herausforderung der Befestigung der Tröge an der Fassade und zweitens der

Bewässerung und Pflege von Trögen an unzugänglichen Stellen. Bekannte Beispiele in Wien sind hier das MA48-Haus und das Hundertwasserhaus.

- 3) Paneelsysteme: Bei dieser Methode ist die gesamte Fassade auf die Begrünung ausgelegt. Es werden die Substratbehälter direkt in die Wand gehängt, Bewässerung und Düngung sind hier eingearbeitet. Entwickelt wurde diese Begrünungsform von der Firma ELT Easy Green (ELT EASY GREEN 2016).
- 4) Vliese: Bei dieser Vorgehensweise werden zuerst Matten mit Samen, Stecklingen oder Jungpflanzen präpariert, welche anschließend an der Fassade angebracht werden. Besonders beeindruckend und hochkomplex ist das System „Mur Végétal“, dass vom Architekten Patrick BLANC entwickelte wurde. Die Konstruktion ist sehr aufwändig, da sie aus verschiedenen Schutzschichten, Behältern und Versorgungsanlagen aufgebaut ist, um die mächtigen Substratlayer zu halten und die Pflanzen zu versorgen (BLANC 2006).

All die oben genannten Begrünungen haben gemeinsam, dass sie fast immer sehr herstellungs-, pflege- und kostenintensiv sind. Einiges davon ist auf die Eigenschaften und Bedürfnisse der Gefäßpflanzen zurückzuführen. Erstens wachsen sie eigentlich horizontalen Flächen, sie brauchen Erde um zu wurzeln und sollten regelmäßig gegossen viele auch gedüngt werden. Im Herbst sterben große Teile der Pflanzen ab und müssen entfernt werden. Im Winter und an schattigen Stellen grünen und wachsen die meisten von ihnen überhaupt nicht.

Anders ist das bei Moosen: Je nach Art findet man sie sonnen- und windexponiert, an trockenen, feuchten oder schattigen Plätzen. Sie können großflächig oder in Ritzen, horizontal oder vertikal wachsen. Viele sind austrocknungsresistent, sie können Nährstoffe und Wasser aus der Luft aufnehmen und sich mit ihren Rhizomen fast überall festhalten (auch „kopfüber“).

Vorteile der Begrünung mit Moosen gibt es viele. Es fallen die Notwendigkeiten von tiefgründigen, nährstoffreichen Substraten, aufwendiger Bewässerung und intensiver Pflege (zurückschneiden, abgestorbene Pflanzenteile entfernen) weg. Ihre geringe Höhe vermindert die Gefahr des „Abreißen“ von vertikalen Flächen. Die hohe Dichte der Stämmchen nebeneinander führt optisch zu flächendeckendem Grün und auditiv zu Lärmdämpfung. Moose sind für Fassaden besonders geeignet, da sie je nach Art nicht nur bei viel sondern auch bei sehr wenig Licht, daher auf jeder möglichen Fassade wachsen. Außerdem sind sie im Temperaturbereich von -5°C bis +25°C stoffwechselaktiv und bleiben damit fast ganzjährig grün. Über 25°C stellen sie das Wachstum ein und brauchen keine Feuchtigkeit mehr (PROCTOR 1990). Ihre Resistenz gegenüber Austrocknung ermöglicht eine Begrünung ohne künstliche Bewässerung. Außerdem verlängern und verändern sie den lokalen Wasserkreislauf indem sie Regenwasser einfangen und durch Evapotranspiration wieder der Atmosphäre zuführen. Dadurch wirken sie als Feuchtigkeitsspender bei trockener Luft und kühlen ihre Umgebung ab, wenn es heißer ist. Durch ihre Fähigkeit gewisse Luftschadstoffe zu binden, tragen sie zur Verbesserung der Luftqualität und daher des Wohlbefindens bei (GLIME 2007).

Während japanische Moosgärten bereits seit hunderten von Jahren angelegt und ihrer beruhigenden Wirkung wegen geschätzt werden, sind Begrünungen mit Moosen hierzulande noch nicht wirklich etabliert. Dementsprechend steckt auch die Fassadenbegrünung mit Moosen noch nicht einmal wirklich in Kinderschuhen. Die Firma HAAS bietet Außenfassadenbegrünungen für Private an, hier wird bereits teilweise mit Moosen gearbeitet (HAAS 2016). Auch die Indoor-Mooswand im SOFITEL enthält zum Teil Moose. Eine alternative Form der Begrünung sind die sogenannten Moosgraffitis, für die es einige unterschiedliche Anleitungen zum Selbermachen im Internet gibt (GARTENPIRATEN 2011). Obwohl diese Form der Begrünung mit Moosen scheinbar ganz einfach und günstig zu bewerkstelligen ist, haben Moosgraffitis noch keine weite Verbreitung oder große Präsenz erlangt. Das liegt daran, dass die Praxis um vieles weniger gut funktioniert als die Theorie vermuten lässt. Aber das Interesse an der Verwendung von Moosen in der modernen Architektur steigt, wobei hier einerseits gewisse physiologische Eigenschaften genutzt werden wollen und oder andererseits ihr optisches Auftreten beliebt ist. Aufgrund der bisher hohen Kostenintensität der Moosbegrünungen sind diese rar und beschränkt auf exklusive Räume. Indoor wurden Mooswände unter anderem von der Firma AMMON (2016) angeboten, mussten ihr Produkt aber wieder aus dem Angebot nehmen, da sie unter anderem das geschützte Moos *Leucobryum glaucum* verwendeten. Ein weiteres Beispiel für Indoor-Begrünungen mit Moosen in Wien ist der Damenwaschraum im Restaurant SHIKI (Abb. 10). Mehr Beispiele für Innen- und Außenraumbegrünungen mit Moosen nennt FRAHM (2008b). Besonders interessant und ähnlich unseren Intuitionen war die „bryoengineering“-Idee der FRAUNHOFER-Gesellschaft (FRAUNHOFER 2012). Sie wollten Moosbegrünungen vor allem in Industriegebieten forcieren und dazu ebenfalls spezielle Hightech-Paneele entwickeln. Leider wurde das Projekt wieder eingestellt.

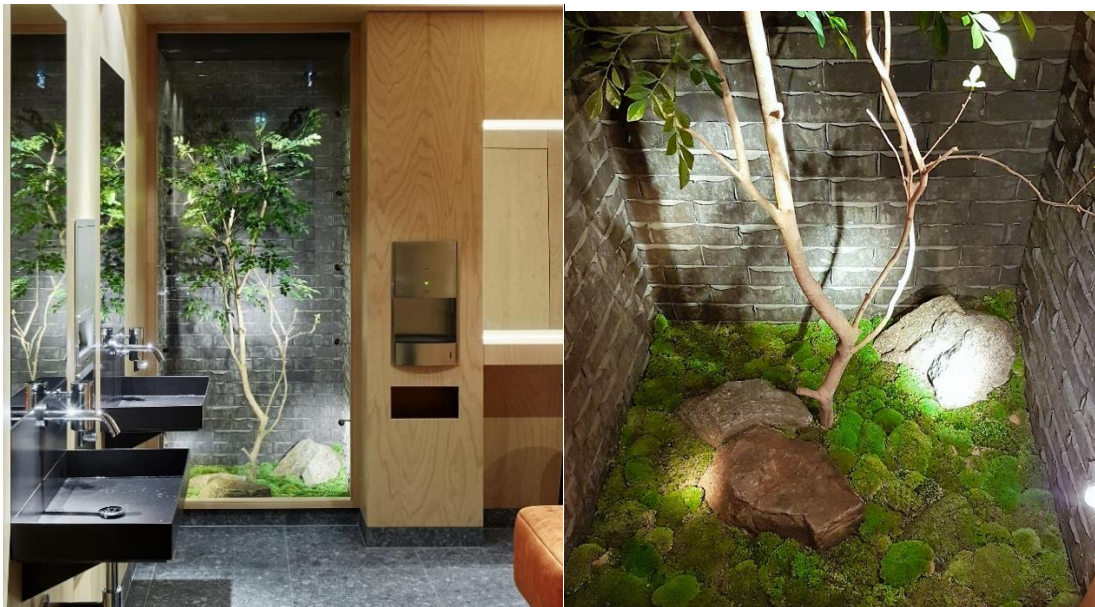


Abb. 10: Die Moosdekoration in der Damentoilette des asiatischen Gourmet-Restaurants SHIKI: Meditativ und entspannend.

1.3. Einführung in die Projektidee und ihre Zielsetzungen

Das BE-MO-FA-Projekt diene der Sondierung für die Entwicklung von moosbewachsenen Gebäudefassadenpaneelen. Die Idee war, möglichst viele Aspekte der vertikalen Begrünung mit Moosen zu untersuchen und so einen Beitrag zur baldigen kommerziellen Umsetzung dieser Idee zu leisten. Das Projekt BE-MO-FA passt hier hervorragend in die momentanen allgemeinen soziopolitischen Entwicklungen in weiten Teilen Europas und somit auch in Wien. Sie folgen Bestrebungen welche mehr ökologisches Bewusstsein fordern und das „Grüne Gärtnern“ fördern. Die Begrünung senkrechter Flächen mit Moosen ist hier eine noch in den Kinderschuhen steckende Entwicklung mit viel Potential, welches im BE-MO-FA-Projekt genutzt wird.

Die wichtigsten konkreten Ziele des Projektes waren:

- für Bepflanzungen geeignete Moos-Arten zu finden,
- die unterschiedlichen Bepflanzungsmethoden auf ihre Umsetzung und ihre Erfolg zu testen
- und die Eignung von verschiedenen Trägerpaneelen und Füllsubstraten zu eruieren.

Umgesetzt wurde das Vorhaben im Rahmen eines FFG-Projektes (Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) in Kooperation der Technischen Universität Wien (Leitung), der Universität Wien sowie der Gartenbauschule Schönbrunn und den Wiener Gärten (Stadt Wien MA 42). Das Projekt BeMoFa“ (Projektnummer 845231) wurde im innerhalb des Programms Energie der Zukunft und im Rahmen der Projektlinie „Stadt der Zukunft“ verwirklicht.

2. Material und Methodik

Die Versuchsreihe bestand aus 43 verschiedenen Paneelen welche mit insgesamt 15 verschiedenen Moos-Arten auf drei unterschiedliche Weisen bepflanzt wurden. Bepflanzungsmethode 1 war die aufwendigere Pflanzung ganzer Sprosse in die Löcher der Paneele. Methode 2 war das Aufbringen einer Moosfragment-Kleister-Mischung mittels Pinseln. Zuletzt wurden auf einzelnen Paneelen auch ganze Moospolster aufgebracht.

2.1. Durchführungszeitraum

Offiziell begann das BE-MO-FA-Projekt am 1. August 2014. Die Aufsammlungen der Moose erfolgten im August und September 2014 in Wien und Niederösterreich. Dabei wurde auf eine schonende Entnahme der Moose geachtet um nicht den Mehrwert der Stadtbegrünung mit der Zerstörung wichtiger Komponenten im Ökosystem auszugleichen. Die Bepflanzungen fanden im Zeitraum 17.10. bis 17.11.2014 in einem uns zur Verfügung gestellten Glashaus der Blumengärten Hirschstetten (Magistratsabteilung 42, 1220 Wien) statt. Ab dem 10.11. wurden die bepflanzen Paneele auf einer Freiluft-Versuchsfläche gleich daneben für die Wachstumsphase aufgelegt. Das Monitoring der Versuchsflächen erfolgte am 23.12.2014 und am 21.1., 18.2. 2015 und 18.3.2015.

2.2. Fassadenpaneele

Es wurden 43 unterschiedliche Trägerpaneele als Bepflanzungsgrundlage gewählt. Die Paneele unterschieden sich hinsichtlich ihrer Größe, in ihrem Material, in der Lochgröße und der Befüllung mit Substrat. Grundlegend für die Auswahl war die Nutzbarkeit der Paneele als Fassadenbaumaterial. Die meisten Paneele waren folgendermaßen aufgebaut: Ein Grundgerüst, (ein darunter gespanntes Fließ) und ein darin eingefülltes Substrat (Abb. 11).

Als Grundgerüst-Materialien wurden Aluminium, Edelstahl, Glasfasergranulat, Holzverbundmaterial sowie Kunststoff eingesetzt. Diese Grundgerüste (Trägerpaneele) wurden in verschiedenen Größen gelocht. Die Löcher reichten von 2 mm bis zu 12 mm Durchmesser. Unter die Trägerpaneele wurde in viele Fällen ein Fließ gespannt, welches ein Durchsickern des eingefüllten Substrates verhindern sollte. Aus der Kombination verschiedener Trägerpaneele, sowie der Befüllung mit den unterschiedlichen Substraten ergaben sich aus den 43 Trägerpaneelen insgesamt 65 Versuchsflächen. Die unterschiedliche Anzahl an Trägerpaneelen ergab sich primär aus der ungleichen Verfügbarkeit der einzelnen Materialien seitens der Hersteller.

Die Auswahl der Trägerpaneele und Substrate erfolgte durch die MitarbeiterInnen der TU Wien. Die MitarbeiterInnen der Universität Wien hatten darauf keinen Einfluss, anderweitige Vorschläge ihrerseits, wie die Verwendung von natürlichen Materialien, wurden nicht berücksichtigt.



Abb. 11: Bestandteile der Paneele: a...Granulat, b...Fließ, c...Metall-Grundgerüst (E.H. bearbeitet von J.G.)

2.2.1. Trägerplatten

Es wurden folgende 43 Paneele bepflanzt (in den Klammern die Anzahl):

- Drainageflies – Polster (3)
- Rasenteppich – Polster (1)
- Glasschaum – Block (8)
- STODECO PLAN – Glasfaserplatte (1)
- ALUCORE Aluminiumwabenplatte beschichtet (2)
- Aluminium Lärmschutzplatte beschichtet (6)
- Aluminiumstreckmetall – Wellplatte (1)
- Aluminiumblech – Platten (10)
- Edelstahlblech – Platten (4)
- SENOVA Melaminharz-Holzfaserplatte (1)
- Kunststoff – Doppelstegplatten (6)

Anschließend werden die Grundgerüste (Trägerplatten) eingehender charakterisiert.

Drainageflies und Rasenteppich-Polster

Von den Polstern wurden zwei unterschiedliche Typen getestet, drei bestanden aus Drainageflies und einer aus Rasenteppichtextil (Abb. 12). Die Polster hatten eine Größe von 100x100 cm. Drainageflies

wurde je einmal mit Stockosorb, Sanoplant sowie Geohumus gefüllt, im Rassenteppich war ebenfalls Geohumus.

Versuchsflächen: 1, 2, 3, 4



Abb. 12: Drainagefließ (links) und Rasenteppichtextil (rechts) (E.H.)

Glasschaumplatten

Es wurden ebenfalls Versuche mit Glasschaumplatten von „Pittsburgh Corning“ durchgeführt. Die Glasschaumblöcke hatten eine Größe von 60 x 40 cm und eine Tiefe von 10 cm. Insgesamt waren es acht Blöcke, es wurden jeweils zwei mit einem der vier Substrate befüllt. Beispiele für bepflanzte Glasschaumplatten zeigt Abbildung 13.

Versuchsflächen: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

STODECO PLAN Platte

Auch die StoDeco Plan war eine Glasschaumgranulatplatte. Für die Versuche wurde hier eine Platte mit der Größe von 108 x 108 cm zur Verfügung gestellt, welche geviertelt wurde um für jedes Substrat eine Versuchsfläche zu erhalten (Abb. 13).

Versuchsflächen: 13, 14, 15, 16

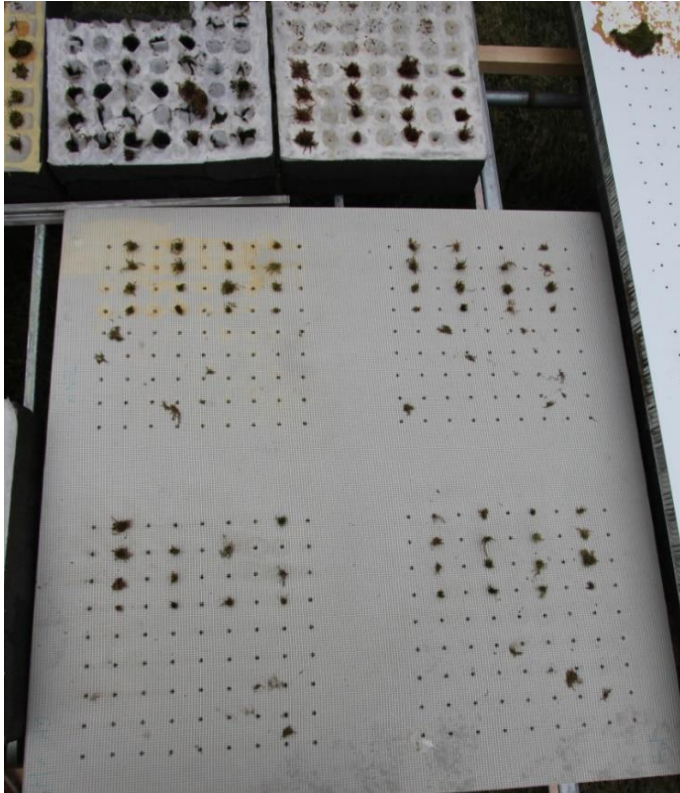


Abb. 13: StoDeco Plan Platte (unten) und Glasschaum-Blöcke (oben) (E.H.)

ALUCORE Aluminiumwabenplatte

Von den ALUCORE-Aluminiumwabenplatten wurde mit 2 Stück in der Größe von 200 x 100 cm gearbeitet. Eine der Platten wurde geviertelt und jedes Viertel mit einem der vier Substrate gefüllt, die andere Platte blieb leer. Die Platten zeichneten sich durch besonders kleine Bohrungen (5mm) mit besonders großen Lochabständen aus (Abb. 14).

Versuchsflächen: 17, 17a, 18, 19, 20, 21

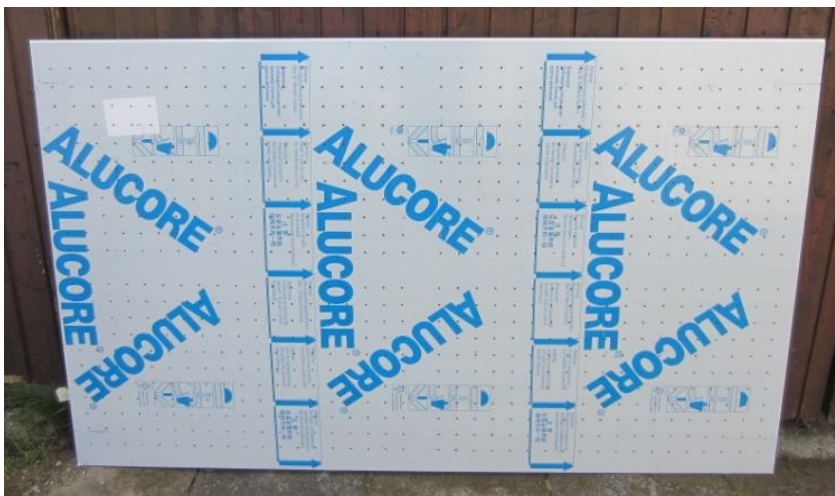


Abb. 14: ALUCORE Aluminiumwabenplatte (E.H.)

Beschichtete Aluminium-Lärmschutzplatten

Von diesen Platten wurden 6 Stück erstellt, 3 Paneele mit einer Lochgröße von 6mm und ebenso viele mit einer Lochgröße von 12 mm (Abb. 15). Diese Paneele waren mit Polyester-Kunststoffpulver beschichtet.

Versuchsflächen: 22, 23, 24, 25, 26, 28



Abb. 15: Aluminium-Lärmschutzplatte bei der Entstehung (E.H.)

Aluminium- und Edelstahlbleche

Diese Paneele machten mengenmäßig mit 26 Stück den Großteil der Versuchsflächen aus. Es gab die gleichen Trägerpaneele einerseits aus Aluminium und andererseits aus Edelstahl (Abb. 16). Variiert wurden die Platten mit unterschiedlichen Lochgrößen von 2, 5, 8 und 12 mm. Von den meisten der Variationen standen nur je zwei Paneele zur Verfügung, in diesem Fall wurden sie jeweils zur Hälfte mit zwei unterschiedlichen Substraten befüllt.

Versuchsflächen auf Aluminium: 29, 30, 37, 38, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 55, 56, 57, 58, 59

Versuchsflächen auf Edelstahl: 31, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 41



Abb. 16: Aluminium- und Edelstahlbleche (E.H.)

Gewellte Streckplatte

Ein gewelltes Paneel (aus Aluminium oder Edelstahl) wurde ebenfalls bepflanzt (Abb. 17). Dieses wurde anschließend aber nicht am Versuchsgelände gelagert und unterlag nicht dem Monitoring.

Versuchsfläche: 27

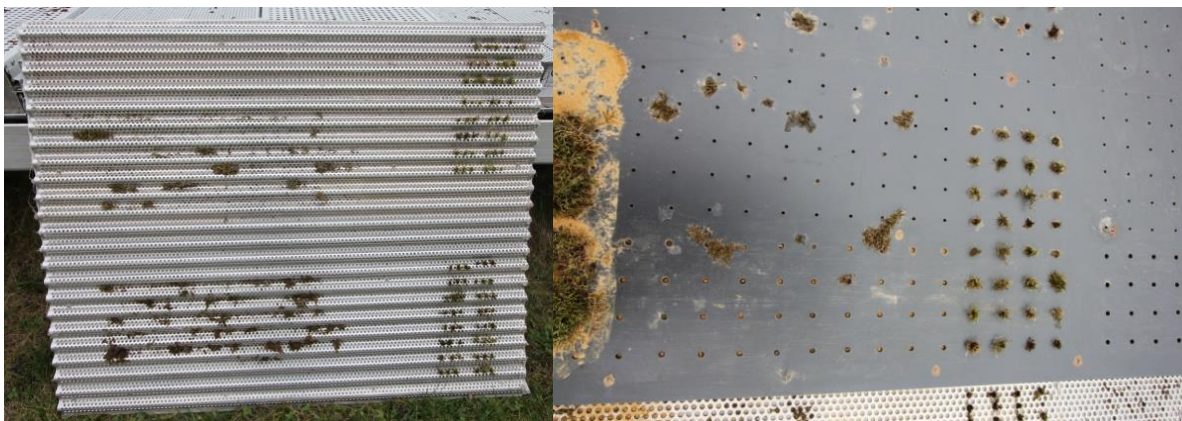


Abb. 17: Gewellte Streckmetallplatte (links), SENOVA-Melaminharzplatte (rechts) (Fotos: E.H.)

SENOVA – Melaminharzplatte

Von dieser Platte aus Holzverbundmaterial stand 1 Stück mit den Maßen 204 x 108 cm zur Verfügung. Sie wurde ebenfalls geviertelt befüllt (Abb. 17).

Versuchsflächen: 50, 51, 52, 53, 54

Kunststoff-Doppelstegplatten

Von diesen Platten wurden 6 Stück in die Versuchsreihe aufgenommen. Die Doppelstegplatten haben eine Größe von 200x25 cm und bestehen aus Kunststoff (Abb. 18). Es wurden zwei unterschiedliche Kunststofftypen ausprobiert. 3 Paneele bestanden aus Polycarbonat (PC) und 3 Platten aus Polyvinylchlorid (PVC). Befüllt wurden sie je eine mit Stockosorb, Sanoplant und mit Geohumus. Eine Befüllung mit Ton blieb bei den Platten aus.

Versuchsflächen: 60, 61, 62, 63, 64, 65



Abb. 18: PVC-Platte bei der Erstellung (E.H.)

2.2.2. Füllsubstrate

Die verschiedenen Paneel-Typen wurden mit je drei bis vier unterschiedlichen Substraten befüllt. Generell sollten diese vor allem Wasserspeicher- und Durchlüftungsunterstützungsfunktionen erfüllen. Im Folgenden wird eine kurze Charakterisierung der Substrate vorgenommen.

Sanoplant (SA)

Sanoplant von dem Vorarlberger Unternehmen *Sanoway GmbH* ist ein Wasserspeichersubstrat welches aus natürlichem, silikatischem Gesteinsmehl hergestellt wird. Das feine braune Pulver wird mit Wasser zu einem farblosen Gel. *Sanoplant* hat einen fast neutralen pH-Wert mit 7,1 (SANOWAY 2016).

Stockosorb® (ST)

Stockosorb® wird als weißes Granulat vom deutschen Unternehmen Evonik Industries AG zur Verfügung gestellt und wandelt sich bei Zugabe wässriger Lösungen in ein weißlich-durchsichtiges Gel. Es besteht aus vernetzten Acrylamid-Polymeren und Kaliumsalzen, ist also ein synthetisch hergestelltes Produkt. Der pH-Wert des Produktes ist leicht basisch bei 7,0-8,0. Stockosorb® hat sehr hohe Wasserabsorptionswerte mit > 150 mL/g (EVONIC 2015).

Geohumus (GH)

Auch der von Geohumus International GmbH hergestellte Geohumus wird als Granulat geliefert und anschließend mit Wasser zu einer braunen gallertähnlichen Substanz aufbereitet. Auch er dient der Wasser- und Nährstoffspeicherung, sowie der Unterstützung von Durchlüftung und Nährstoffaustausch. Geohumus soll im Boden die Wasserspeicherkapazität sowie das für Pflanzen verfügbare Wasser erhöhen.

Geohumus enthält zu 75% natürliche und zu 25% aus synthetische Inhaltsstoffe. Er besteht aus Lavagesteinsmehl, Silikatsand und Tonmineralien (Bentonit) und enthält Stickstoff (Amide und Nitrate), Phosphat (P_2O_5) und Kaliumoxid (K_2O) sowie Magnesiumoxid (MgO), Calciumoxid (CaO), Eisen (Fe) und als künstlichen Absorbierungsstoff wasserunlösliches Polyacrylat sowie neutralisierende Natronlauge.

Geohumus hat einen leicht sauren pH-Wert von 6,0-7,0 und Korngrößen von 0,5-7,0 mm, sowie eine Wasseraufnahmekapazität von 40mL/g (GEOHUMUS 2016).

Lehm/Ton (LT)

Das letzte und vielversprechendste Substrat war eine Lehm-Ton-Mischung. Sie enthält vor allem Körner im Schluffbereich (69,5%) sowie im Ton- (24,4%) und Sandbereich (6,1%) und etwas Corg (0,1%). Der pH-Wert dieses Nebenprodukts der Quarzherstellung liegt im sauren Bereich bei 4,0-5,0. Die Lehm-Ton-Mischung stammt von Wienerberger aus Hennersdorf und aus dem LEKA-Werk aus Mataschen bei Fehring.

Die Paneele wurden teilweise halbiert und geviertelt mit unterschiedlichen Substraten befüllt. So ergaben sich auf den 43 Paneelen 65 ausgewiesene Versuchsflächen. In Tabelle 2a und 2b sind alle Versuchsflächen, sowie die ihnen zugrundeliegenden Paneele und deren Eigenschaften Lochgröße und Substratbefüllung aufgelistet. Ebenso ist in den Tabellen ersichtlich, wie die Paneele anschließend bepflanzt wurden.

Tab. 2: Liste der bepflanzten Paneele [VF 1-41]

Nr.	Bezeichnung	Loch- größe	Sub- strat	Bepflanzungstyp
1	Drainageflies – Polster	-	SA	Fragmente
2	Drainageflies – Polster	-	ST	Fragmente
3	Rasenteppich – Polster	-	GH	Fragmente
4	Drainageflies – Polster	-	GH	Fragmente
5	Glasschaum – Block	3,5	SA	Fragmente/kleine Polster
6	Glasschaum – Block	3,5	ST	Fragmente/kleine Polster
7	Glasschaum – Block	3,5	LT	Fragmente/kleine Polster
8	Glasschaum – Block	3,5	GH	Fragmente/kleine Polster
9	Glasschaum – Block	3,5	LT	Fragmente/kleine Polster
10	Glasschaum – Block	3,5	ST	Fragmente/kleine Polster
11	Glasschaum – Block	3,5	GH	Fragmente/kleine Polster
12	Glasschaum – Block	3,5	SA	Fragmente/kleine Polster
13	STODECO PLAN – Glasfaserplatte	5	LT	Sprosse
14			GH	Sprosse
15			SA	Sprosse
16			ST	Sprosse
17	ALUCORE Aluminiumwabenplatte beschichtet	3	leer	Fragmente
17a			LT	Polster
18	ALUCORE Aluminiumwabenplatte beschichtet	3	LT	Fragmente
19	ALUCORE Aluminiumwabenplatte beschichtet	3	GH	Sprosse
20	ALUCORE Aluminiumwabenplatte beschichtet	3	SA	Sprosse
21	ALUCORE Aluminiumwabenplatte beschichtet	3	ST	Sprosse
22	Aluminium Lärmschutzplatte beschichtet	12	GH	Sprosse und Fragmente
23	Aluminium Lärmschutzplatte beschichtet	6	GH	Sprosse und Fragmente
24	Aluminium Lärmschutzplatte beschichtet	12	ST	Sprosse und Fragmente
25	Aluminium Lärmschutzplatte beschichtet	6	ST	Sprosse und Fragmente
26	Aluminium Lärmschutzplatte beschichtet	12	SA	Sprosse und Fragmente
27	Aluminiumstreckmetall – Wellplatte			
28	Aluminium Lärmschutzplatte beschichtet	6	SA	Sprosse und Fragmente
29	Aluminiumblech 200x50	5	SA	Sprosse und Fragmente
30			ST	Sprosse und Fragmente
31	Edelstahlblech 200x50	5	LT	Sprosse und Fragmente
32			GH	Sprosse und Fragmente
33	Edelstahlblech 200x50	8	LT	Sprosse und Fragmente
34			GH	Sprosse und Fragmente
35	Edelstahlblech 200x50	5	ST	Sprosse und Fragmente
36			SA	Sprosse und Fragmente
37	Aluminiumblech 200x50	5	SA	Sprosse und Fragmente
38			ST	Sprosse und Fragmente
39	Edelstahlblech 200x50	8	LT	Fragmente
40			LT	Polster
41			GH	Sprosse und Fragmente

Tab. 3: Liste der bepflanzten Paneele [VF 42-65]

Nr.	Bezeichnung	Loch- größe	Sub- strat	Bepflanzungstyp
42	Aluminiumblech 200x50	12	ST	Sprosse und Fragmente
43			SA	Sprosse und Fragmente
44	Aluminiumblech 200x50	8	SA + ST	Sprosse und Fragmente
45	Aluminiumblech 200x50	12	SA	Sprosse und Fragmente
46			ST	Sprosse und Fragmente
47	Aluminiumblech 200x50	8	LT	Polster
48			LT	Sprosse und Fragmente
49			GH	Sprosse und Fragmente
50	SENOVA Melaminharz – Holzfaserplatte	5/8	LT	Polster
51			LT	Sprosse und Fragmente
52			GH	Sprosse und Fragmente
53			SA	Sprosse und Fragmente
54			ST	Sprosse und Fragmente
55	Aluminiumblech 180x80	2	SA	Sprosse und Fragmente
56	Aluminiumblech 180x80	2	ST	Sprosse und Fragmente
57	Aluminiumblech 180x80	2	GH	Sprosse und Fragmente
58	Aluminiumblech 180x80	2	LT	Fragmente
59			LT	Polster
60	Polycarbonat – Doppelstegplatte	5	SA	Sprosse und Fragmente
61	Polycarbonat – Doppelstegplatte	5	ST	Sprosse und Fragmente
62	Polycarbonat – Doppelstegplatte	5	GH	Sprosse und Fragmente
63	Polyvinylchlorid – Doppelstegplatte	5	SA	Sprosse und Fragmente
64	Polyvinylchlorid – Doppelstegplatte	5	GH	Sprosse und Fragmente
65	Polyvinylchlorid – Doppelstegplatte	5	ST	Sprosse und Fragmente

2.3. Moose

Zur Begrünung der Paneele wurden insgesamt 12 Moose nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- 1) Sie kommen in der Natur auf Flächen vor, deren Standortqualität im weitesten Sinn jenem der Bepflanzung ähnlich ist,
- 2) sie überstehen sehr gut temporäre Austrocknung und sind nicht empfindlich gegenüber direkter Sonneneinstrahlung und
- 3) sie sind relativ häufig, leicht zu finden und zu sammeln. Die Aufsammlung der Moose hat keine negativen Auswirkungen auf die Biodiversität und Ökologie der besammelten Standorte.

2.3.1.1. Arten und Charakteristik

Zur Bepflanzung und Fragmentierung wurden die folgend aufgelisteten Arten verwendet. Von einigen Arten wurden Pflänzchen verschiedener Standorte getrennt verwendet. Die Kürzel dafür finden sich in den eckigen Klammern. Eine Auflistung der Aufsamlungsstandorte enthält das nächste Kapitel (2.3.2.). In Tabelle 4 sind die Substratpräferenzen der verwendeten Moose zusammengefasst. In der folgenden Charakterisierung wurden eigene Beobachtungen und Erfahrungen mit den Beschreibungen von FRAHM und FREY (1983) verknüpft.

a.) *Tortula muralis* [14.1., 14.2., 14.3.]

Das akrokarpe Moos *T. muralis* bildet kleine, bläulich-grüne, durch Glashaare schimmernde Polster (Abb. 19). Im trockenen Zustand sind die Stämmchen eingekrümmt. Der Sporophyt ist etwa doppelt so lang wie der Gametophyt, die Kapsel aufrecht und mit spitzer Kalyptra. Das Mauer-Drehzahnmoos wächst auf Felsen, in der Stadt ist es sehr häufig auf Mauern, Dächern und in Betonritzen zu finden (FRAHM & FREY 1983, 308). *T. muralis* kann als besonders gut angepasster Xerophyt bezeichnet werden. Es ist extrem widerstandsfähig gegenüber Austrocknung und kann bis zu 14 Jahren im trockenen Zustand überdauern, ohne seine Lebensfähigkeit einzubüßen (BRESINSKY et al. 2008).

b.) *Syntrichia ruralis* s.l. [2.1.]

Das sogenannte Erd-Verbundzahnmoos *S. ruralis* bzw. nach älterer Systematik *Tortula ruralis* ist wie *T. muralis* eine Pottiaceae, hat aber weitaus längere Stämmchen und größere Blättchen (Abb. 20). Auch diese Art hat im trockenen und im feuchten Zustand ein sehr unterschiedliches Aussehen. Trocken sind Stämmchen und Blättchen gekrümmt, dunkel braun bis grün und matt. Im feuchten Zustand stehen die grasgrünen Blättchen mit einem langen Glashaar regelmäßig rechtwinkelig vom Stämmchen ab. *S. ruralis* bildet Polster auf kalkreicher Erde und Felsen, ist aber auch in der Stadt auf Dächern und Mauern zu finden. Es erträgt gut länger anhaltende Trockenheit sowie direkte Sonneneinstrahlung (FRAHM & FREY 1983). In den folgenden Kapiteln wird der alte Name *Syntrichia ruralis* verwendet!

c.) *Grimmia sp.*

[13.1., 13.2., 13.3., 13.4.]

Grimmia sp. ist eine sehr häufige Gattung innerhalb der Grimmiaceae. Seinem deutschen Namen Kissenmoos gerecht werdend, bildet es kleine, durch die überaus langen Glashaare an der Spitze der Blättchen silbrig glänzende Pölsterchen. (Abb. 21) Eine Möglichkeit zur Unterscheidung von *T. muralis* ist der Sporophyt der kaum über den Gametophyten hinausreicht und dessen kugelig bis ovaler Kapsel. *Grimmia sp.* ist sehr robust, hält lange Trockenheit und Dunkelheit, sowie direkte Sonneneinstrahlung gut aus und kommt wie und mit *T. muralis* auf Felsen, sowie im städtischen Raum auf Dächern, Mauern und Betonritzen vor (FRAHM & FREY 1983). Das an der Blattspitze hervortretende Glashaar dient vermutlich verminderter Transpiration und vielleicht auch als Schutz vor intensiver Einstrahlung (BRESINSKY et al. 2008). Diese Glashaare ermöglichen es *Grimmia sp.* unter anderem auch an stark lichtexponierten und heißen Standorten zu wachsen.

d.) *Bryum argenteum*

[15.1., 15.2.]

B. argenteum bildet kleine weißlich-blassgrüne Pölsterchen. (Abb. 22) Mit freiem Auge sind die einzelnen Blättchen fast nicht zu erkennen, die beblätterten Stämmchen erscheinen wurmförmig. *B. argenteum* hat eine ähnliche Verbreitung wie *Tortula* und *Grimmia* und tritt oft mit diesen in Vergesellschaftung auf (FRAHM & FREY 1983). *B. argenteum* gehört zu den Bryaceae und ist eines der häufigsten Stadtmoose. Seinen deutschen Namen Silber-Birnmoos verdankt es seinem, durch Glasspitzen an den Blättchen silbrig glänzenden Erscheinungsbild und den birnenförmigen, hängenden Kapseln, die typisch für die gesamte Gattung sind.

e.) *Leucodon sciuroides*

[10.1.]

L. sciuroides ist ein recht großes, pleurokarpes Moos dessen Stämmchen gut 15 cm lang werden können. Die Stämmchen sind einfach verzweigt, die Nebenstämmchen stehen aufwärts und bogig vom kriechenden Hauptstämmchen ab. Die Blättchen liegen dachziegelartig am Stämmchen an und haben eine kräftige (dunkel-)grüne Farbe. (Abb. 23) *L. sciuroides* gehört zur Familie der Leucodontaceae und bildet Schweife, die von Rinde oder Felsen herabhängen (FRAHM & FREY 1983). Dieser Wuchsform verdankt es seinen deutschen Namen Eichhörnchenschweifmoos.

f.) *Abietinella abietina*

[8.2., 8.3.]

A. abietina hat einfach gefiederte Stämmchen (Abb. 24) Es wächst als Filz. Im trockenen Zustand wirkt es drahtig, was vielleicht zu dem deutschen Namen Echtes Tannenmoos geführt hat, bei Befeuchtung wird es sattgrün und flauschig. *A. abietina* ist häufig an sonnigen Standorten, vor allem in Trocken- und Halbtrockenrasen zu finden (FRAHM & FREY 1983).

g.) *Anomodon viticulosus*

[6.1.]

Das Echte Trugzahnmoos *A. viticulosus* gehört wie *A. abietina* zu den Thuidiaceae. Es hat lange, kräftige Stämmchen, wächst pleurokarp und bildet Filze. Die lanzettlichen Blättchen sind dunkel und liegen im trockenen Zustand glatt am Stämmchen an, im feuchten Zustand stehen sie sparrig ab (Abb. 25). Von

anderen Arten der Gattung unterscheidet es sich makroskopisch durch die leicht sichelförmig einseitswendigen Blättchen an den Astspitzen. *A. viticulosus* präferiert schattige Standorte an Fels oder Rinde (FRAHM & FREY 1983).

h.) *Homalothecium lutescens* [4.1., 4.3.1., 4.3.2]

H. lutescens hat bis 15 cm lange Stämmchen mit unregelmäßigen Verzweigungen. Die geraden, spitzen Blättchen liegen glatt am Stämmchen an. Wie der wissenschaftliche Artnamen, aber auch die deutsche Bezeichnung schon vermuten lassen, hat das Echte Goldmoos eine besonders glänzende Erscheinung (Abb. 26). *H. lutescens* kommt auf kalkreicher, trockener Erde oder weichem Gestein wie Mergel vor und bildet dort häufig große Decken aus (Frahm & Frey 1983).

i.) *Homalothecium sericeum* [11.1., 11.2.]

H. sericeum gehört wie *H. lutescens* zu den pleurokarpen Brachytheciaceae, ist aber deutlich mehr verzweigt und liegt stärker am Substrat an. Außerdem ist das Seidige Goldmoos in seiner Erscheinung etwas matter. (Abb. 27) Die Stämmchen sind kürzer, stärker gebogen, eingedreht und erheben sich aus einem Kriechspross. *H. sericeum* kommt an schattigen, kalkigen Gesteinen und im unteren Rindenbereich gewisser Laubbäume und im städtischen Raum vereinzelt an Betonmauern vor (FRAHM & FREY 1983).

j.) *Ctenidium molluscum* [12.1.]

Das Weiche Kammmoos *C. molluscum* gehört wie das folgende *Hypnum cupressiforme* zu den Hypnaceae. Es bildet golden-grünliche verwebte Decken. Die Stämmchen sind regelmäßig verzweigt (Abb. 28). Die Blättchen sind sichelförmig und besitzen einen gesägten Rand. *C. molluscum* kommt auf kalkhaltigem Untergrund vor und mag feuchtere Umgebungen (FRAHM & FREY 1983).

k.) *Hypnum cupressiforme* [1.1., 1.2., 1.4., 1.5.]

Das Zypressen-Schlafmoos *H. cupressiforme* ist eine morphologisch vielfältige Art. Die einzelnen Stämmchen sind zumeist kurz und unregelmäßig verzweigt (Abb. 30). Die vielen kleinen ovalen Blättchen sind zopfartig am Stämmchen angeordnet. *H. cupressiforme* ist ein häufiges und weit verbreitetes Moos das großflächige Decken auf Stein, Holz und Böden bilden kann (FRAHM & FREY 1983).

l.) *Pleurozium schreberi* [3.1.]

P. schreberi ist ein großes Moos mit bis zu 15 cm langen, kräftigen, unregelmäßig aber häufig verzweigten Stämmchen (Abb. 29). Die Blättchen liegen dachziegelartig am Stämmchen an. Seine Farbe ist glänzend blassgrün. Typisch ist die rötliche Färbung des Stämmchens, dem es auch seinen deutschen Trivialnamen Rotstängelmoos verdankt. *P. schreberi* kommt vor allem auf sauren Böden vor (FRAHM & FREY 1983).

Tab. 4: Charakterisierung der Moose nach Substratpräferenz in natürlichen Lebensräumen

(Vorkommen durch X gekennzeichnet) (nach FRAHM & FREY 1983, ergänzt durch BATES 2009, MANSKE 2008, HEBRARD 1970, Becker 1999)				
Moos	Rinde, Holz	Gestein	Erde	Kalktolerant bzw. eher basiphil
<i>Tortula muralis</i>		X	X	Ja
<i>Syntrichia ruralis</i>		X		Ja
<i>Grimmia sp.</i>		X		
<i>Bryum argenteum</i>		X		Ja
<i>Leucodon sciuiroides</i>	X	X		ja
<i>Abietinella abietina</i>			X	Ja
<i>Anomodon viticulosus</i>	X	X		Ja
<i>Homalothecium lutescens</i>			X	Ja
<i>Homalothecium sericeum</i>	X	X		Ja
<i>Ctenidium molluscum</i>		X	X	Ja
<i>Hypnum cupressiforme</i>	X	X	X	
<i>Pleurozium schreberi</i>			X	Nein



Abb. 19: *Tortula muralis*



Abb. 20: *Syntrichia ruralis* s.l.



Abb. 21: *Grimmia* sp.



Abb. 22: *Bryum argenteum*



Abb. 23: *Leucodon sciurioides*



Abb. 24: *Abietinella abietina*



Abb. 25: *Anomodon viticulosus*



Abb. 26: *Homalothecium lutescens* (vlnr: 4.1., 4.3.1. und 4.3.2.)



Abb. 27: *Homalothecium sericeum* (links: 11.1., rechts: 11.2)



Abb. 28: *Ctenidium molluscum*



Abb. 29: *Pleurozium schreberi*



Abb. 30: *Hypnum cupressiforme* Varietäten

2.3.2. Aufsammlung und Standorte

Die Aufsammlungen der Moose erfolgten im August und September 2014. Dabei wurden pro Standort und Art etwa 5 Liter Moosvolumen (bzw. 1 Liter bei 13., 14., und 15.) gesammelt. In Tabelle 5 werden die Aufsamlungsstandorte angegeben und die dort aufgesammelten Arten aufgelistet.

Tab. 5: Standorte der Moos-Aufsammlungen

Beschreibung des Fundortes	Koordinaten des Fundortes		Moos- Nummer
	Latitude	Longitude	
SO-Raabs-Kolmitzberg			
➔ Halbsonniger Silikatfelsen im Föhrenwald	15,532	48,838	[1.1.]
➔ Lichter Föhrenwald, halbsonnig, Boden	15,532	48,838	[3.1.]
Litschau			
➔ Halbschattig vom Silikatfelsen im Fichten-Buchenwald	15,104	48,999	[1.2.]
Gießhübl			
➔ Trockenrasen im aufgelassenem Steinbruch, Kalk	16,2318	48,1011	[1.3., 4.1.]
➔ Lichter Flaumeichenwald NO Hans-Nemecek-Hütte; halbsonniger Kalkfels in W-Exposition	16,2256	48,1037	[4.1., 6.1.]
Kaltenleutgeben Steinbruch Eichkogel			
➔ Halbsonniger Kalkfelsen in W-Exposition	16,2161	48,1259	[1.4., 4.3.1., 4.3.2., 8.3., 10.1., 11.1., 13.3.]
Hirschengarten bei Mauerbach			
➔ Schattig von Flyschfelsen und Buchen-Totholz im Buchenmischwald auf Südwesthanglage	16,1316	48,258	[1.5.]
Blockfluren zwischen Arbesbach und Annatsberg			
➔ vollsonnig, direkt vom Silikatfelsen	15,046 15,0937	48,504 48,529	[2.1.]
Lobau, Fuchsengrund			
➔ Schlehdorngebüsch/Wegrand (kalkreich); halbsonnig	16,5419	48,1608	[8.2.]
Mödlinger Klause			
➔ Schattiger Kalkfelsen in N-Exposition	16,2754	48,0815	[11.2., 12.1., 13.4.]
Wien, Penzing			
➔ Baumgarten; schattige bis sonnige Grobbeton-Mauern	16,2756	48,1968	[13.1., 15.1.]
➔ Oberbaumgarten; schattige bis sonnige Grobbeton-Mauern	16,2684	48,204	[13.2.]
Wien, Oberdöbling			
➔ Olympiapark; halbschattige Betonmauer, W-exponiert	16,338517	48,245591	[14.1.]
➔ Park, schattige Pflastersteinmauer	16,346698	48,242552	[14.2.]
➔ Billrothstraße, sonnige Grobbetonmauer	16,346439	48,243189	[14.3.]
Wien, Blumengärten Hirschstetten			
➔ halbschattige, horizontale Grobbeton-Fläche	16,473109	48,238312	[15.2.]

2.3.3. Lagerung

Die Lagerung der Moose erfolgte vor der Weiterverarbeitung möglichst schattig, kühl und trocken. Im September wurden die Moose im Glashaus ausgebreitet (Abb. 31). Hier ergab sich leider das Problem, dass die Temperaturen teilweise sehr hoch anstiegen. Gleichzeitig erfolgte manchmal eine Besprühung der Moose durch die Beregnungsanlage in den Gewächshäusern. Diese Befeuchtung zusammen mit den hohen Temperaturen führte bei ein paar Arten zum Absterben. Diese Arten wurden daher in die Versuchsreihe nicht mit einbezogen. Es handelt sich dabei um *Thuidium philibertii*, *Eurhynchium angustirete* und *Pseudoscleropodium purum*.

Die Beregnung erfolgte dann maximal alle drei Tage mittels Regenwasser aus der Regenwasserzisterne und nicht mit dem in Wien relativ kalkhaltigen Leitungswasser. Zeitlich wurde auf eine möglichst frühmorgendliche oder spätabendliche Besprühung geachtet. Während der Lagerung kam es bei den Moosen zu zeitweiser Austrocknung, aber auch zum Wasserstau auf den Versuchsflächen. Auf die Auswirkungen dieser suboptimalen Bedingungen wird in der Diskussion kurz eingegangen.



Abb. 31: Glashaus Hirschstetten: Lagerung der Moose

2.4. Plattenmuster

Prinzipiell wurden alle Platten mit Bepflanzungsmethode (BPM) 1 und 2 (Erläuterung siehe Kap. 2.5.) bepflanzt und zwar nach dem in Abbildung 32 ersichtlichen Muster.

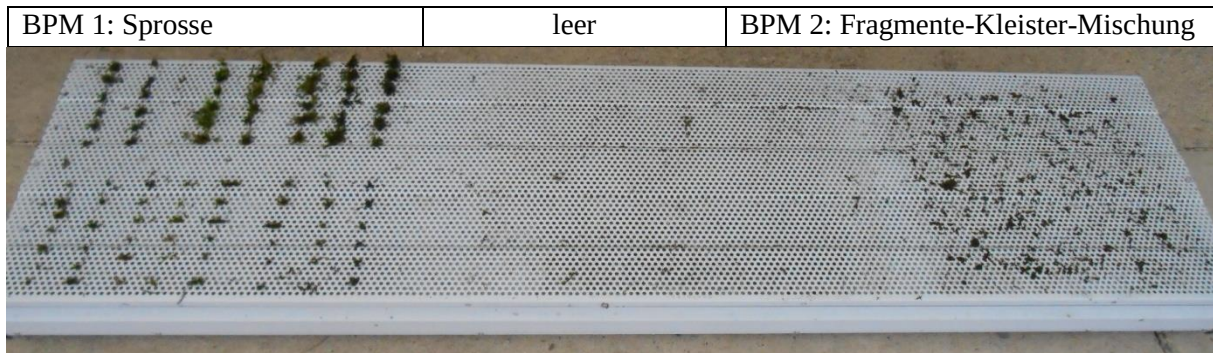


Abb. 32: Generelles Plattenmuster

Ausnahmen bildeten die Fließpolster [VF 1-4] (Abb. 33), welche ausschließlich mit BPM 2 bearbeitet wurden. Aus unterschiedlichen Gründen wurden auch einige Ton-Lehm-Substrat-Platten anstatt mit Sprossen mit ganzen Moospolstern belegt.



Abb. 33: Methode 2 auf Fließposter

2.5. Bepflanzungsmethoden

In diesem Kapitel wird auf die genaue Vorgangsweise der Bepflanzung eingegangen. Dabei wurden, wie bereits erwähnt drei unterschiedliche Bepflanzungsmethoden (BPM) gewählt: Die Bepflanzung mit wenigen Moossprossen (BPM 1), das Aufbringen einer Moosfragmente-Kleister-Mischung (BPM 2) sowie das Auflegen oder Einbringen ganzer Moospolster (BPM 3).

2.5.1. BPM 1: Sprosse

Bei dieser Bepflanzung werden ganze Stämmchen in die vorgefertigten Löcher eingebracht. Je nach Lochgröße sind es mindestens drei Sprosse bis fingerdicke Büschel. Die Löcher werden jeweils art- und standortrein bepflanzt, um eine getrennte Bewertung des Wachstumspotentials vornehmen zu können.

2.5.1.1. Beschreibung der Methode

Die Stämmchen werden zu Beginn mit der Pinzette erfasst und mit den Rhizoiden voran möglichst tief in die Löcher eingebracht (Abb. 35). Ein zu lockeres Einbringen birgt die Gefahr der schnellen Auswaschung der Sprosse. Allerdings sollten zumindest noch die Spitzen der Sprosse aus den Löchern ragen, um genügend Licht für das Wachstum zu erhalten. Bei der Bepflanzung muss darauf geachtet werden, dass unter dem Metallgerüst gespannte Fließ nicht zu verletzen. Eine Idee wie man diese Gefahr umgehen könnte, findet sich in der Diskussion.

Für die Bepflanzung der Platten nach BPM 1 wurden folgende Moose ausgewählt:

- | | |
|----------------------------------|--------------------------|
| – <i>Hypnum cupressiforme</i> | [1.1., 1.2., 1.4., 1.5.] |
| – <i>Syntrichia ruralis</i> s.l. | [2.1.] |
| – <i>Pleurozium schreberi</i> | [3.1.] |
| – <i>Homalothecium lutescens</i> | [4.1., 4.3.1., 4.3.2.] |
| – <i>Anomodon viticulosus</i> | [6.1.] |
| – <i>Abietinella abietina</i> | [8.2., 8.3.] |
| – <i>Leucodon sciuroides</i> | [10.1.] |
| – <i>Homalothecium sericeum</i> | [11.1., 11.2.] |
| – <i>Ctenidium molluscum</i> | [12.1.] |

Für die Bepflanzung wurden hauptsächlich drei verschiedene Pinzetten (Abb. 34). benutzt:

- a) *Pinzette a* eignet sich durch ihr gebogenes, spitzes Ende besonders für kleine Löcher mit unterliegendem Fließ, da durch die Biegung eine Einbringung des Stämmchens zwischen Lochplatte und Fließ ohne dessen Beschädigung möglich ist.
- b) *Pinzette b* eignet sich durch das spitze, schlanke Ende ebenfalls gut für kleine und sehr kleine, sowie tiefe Löcher, allerdings nicht gut für jene Platten mit Fließ.

- c) *Pinzette c* mit ihrem stumpfen Ende eignete sich gut für größere Löcher, mit oder ohne Fließ, da das stumpfe Ende das Fließ nicht so leicht beschädigen kann.



Abb. 34: Pinzetten zur Bepflanzung nach BPM 1 (vlnr: a, b, c)



Abb. 35: BPM 1 in Aktion (E.H.)

Für manche Platten war es notwendig mit einer zweiten Pinzette oder einer stumpfen Nadel gegen das Stämmchen zu drücken, während die andere Pinzette herausgezogen wurde.

2.5.1.2. Bepflanzungsmuster

Generell wurden mit jeder Probe in senkrechten Reihen je nach Lochplatte 5-7 Löcher bepflanzt. Zwischen den bepflanzten Löchern wurde versucht immer einen regelmäßigen Abstand von 1 bis maximal 3 Löchern einzuhalten. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Platten wurden 5 verschiedene Bepflanzungsmuster verwendet.

Folgende Platten wurden NICHT bepflanzt: 1 bis 4, 17, 18, 39, 40, 47, 50 und 59.

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Platten wurden die Moose nicht immer nach demselben System gepflanzt. Insgesamt wurden vier verschiedene Bepflanzungsmuster angewandt. Die genaue Dokumentation dieser Bepflanzungsmuster war für die Datenanalyse von großer Wichtigkeit.

Das Bepflanzungsmuster 1 (Abb. 36) wurde angewandt bei den Versuchsflächen 19 bis 38, 41 bis 46, 49 und 55 bis 57. Hierbei wurden senkrecht je 5-7 Löcher mit jeweils einigen Stämmchen bepflanzt. Ausnahmen waren VF 27 (mit jeweils 3 bepflanzten Löchern) und VF 55-57, welche so kleine Löcher hatten, dass in einer etwa 10 cm langen senkrechten Reihe alle Löcher nur mit einzelnen Stämmchenteilen bepflanzt werden konnten.

1.1	1.4	2.1	4.1	4.3.2	8.2	10.1	11.2
1.2	1.5	3.1	4.3.1	6.1	8.3	11.1	12.1

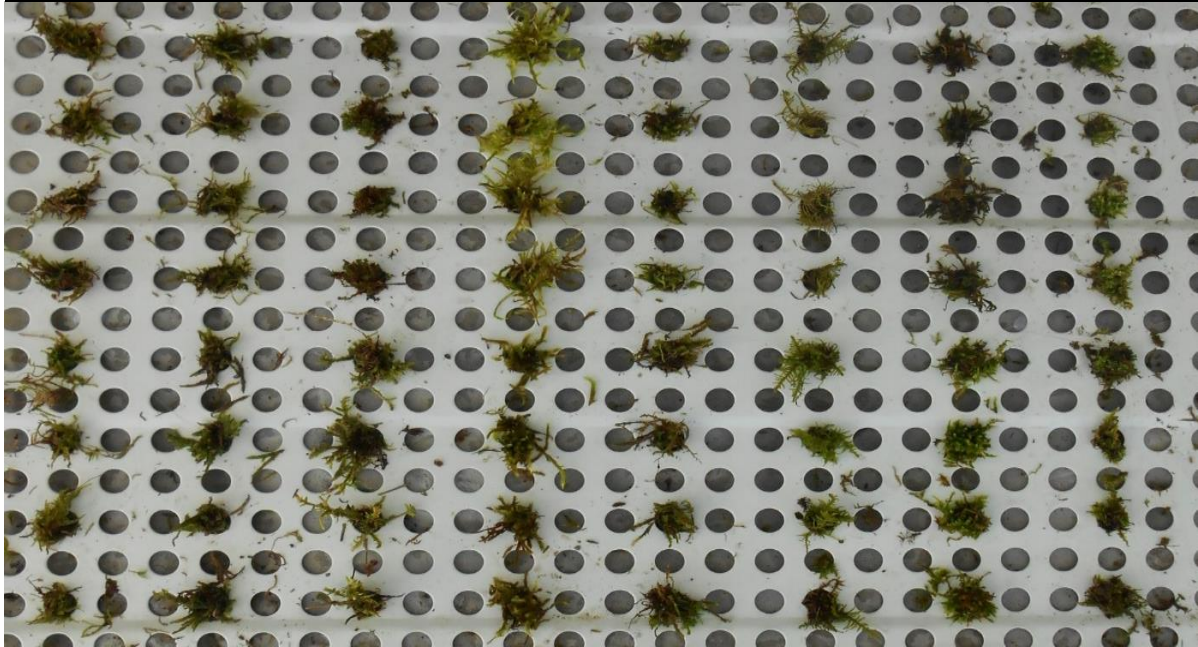


Abb. 36: Bepflanzungsmuster 1

Bepflanzungsmuster 2 (Abb. 37) wurde angewandt bei den Versuchsflächen 38 sowie 60 bis 65. Bei VF 60-65 handelte es sich die schmalen Kunststoff-Doppelstegplatten. Es wurden jeweils 5-7 Löcher untereinander bepflanzt.

1.1	1.2	1.4	1.5	2.1	3.1	4.1	4.3.1	4.3.2	6.1	8.2	8.3	10.1	11.1	11.2	12.1
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-------	-----	-----	-----	------	------	------	------

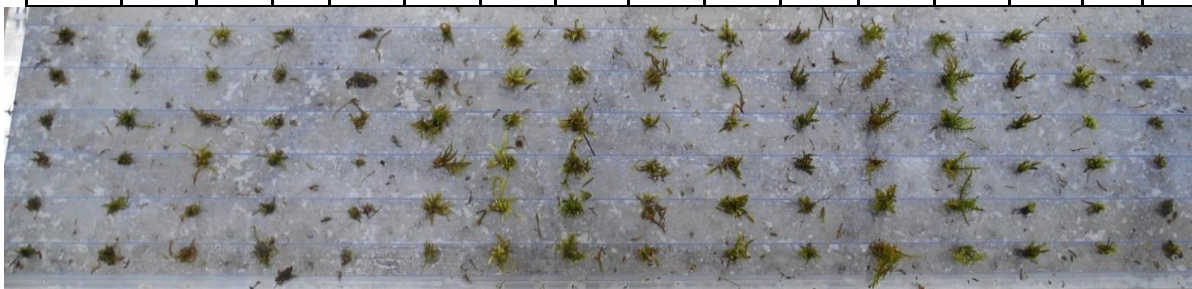


Abb. 37: Bepflanzungsmuster 2 auf Kunststoff-Doppelstegplatte

Bepflanzungsmuster 3 (Abb. 38) wurde angewandt bei den Versuchsflächen 31 und 48. Es war eine Ausnahmebepflanzung der erst relativ spät angefertigten Lehm/Ton-Substrate. Um Zeit zu sparen wurden hier pro Moos jeweils nur 3 Büschel senkrecht untereinander gepflanzt.

1.1	2.1	4.3.2	10.1
1.2	3.1	6.1	11.1
1.4	4.1	8.2	11.2
1.5	4.3.1	8.3	12.1

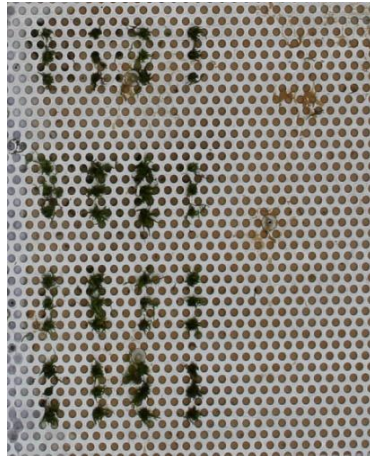


Abb. 38: Bepflanzungsmuster 3

Bepflanzungsmuster 4 (Abb. 39) wurde angewandt bei der SENOVA-Melaminharz-Platte (VF 51-54). Auch diese Platte wurde sehr spät angefertigt und aus diesem Grund mit einem anderen Muster bepflanzt. Es wurde pro Loch ein etwa fingerdickes Stämmchenbüschel bepflanzt.

1.1	2.1	4.3.2	10.1
1.2	3.1	6.1	11.1
1.4	4.1	8.2	11.2
1.5	4.3.1	8.3	12.1
1.1	2.1	4.3.2	10.1
1.2	3.1	6.1	11.1
1.4	4.1	8.2	11.2
1.5	4.3.1	8.3	12.1

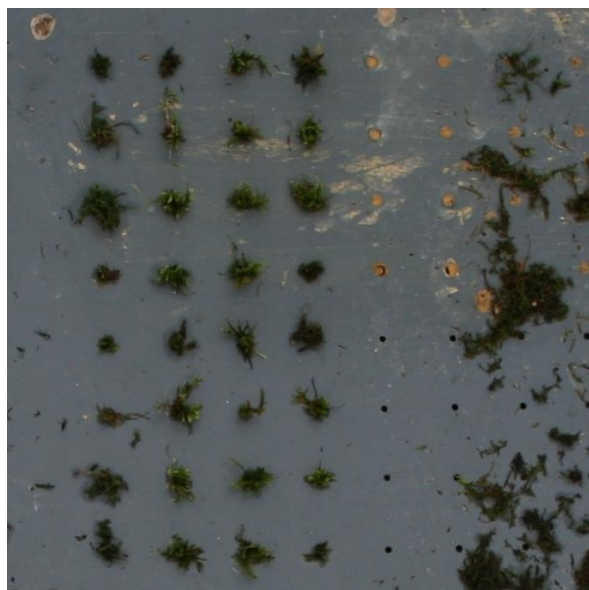


Abb. 39: Bepflanzungsmuster 4

2.5.2. BPM 2: Fragmente-Kleister-Mischung

Für diese Methode müssen die Moospolster zuerst von Erde und Steinchen gereinigt und grob zerkleinert werden. Anschließend werden sie in eine Kaffeemühle gegeben und sehr kurz zermahlen (Abb. 43). Dabei ist darauf zu achten, dass die Drehzahl der Mühle nicht zu hoch und die Mahlzeit maximal drei Sekunden ausmacht, um die Zellwände nicht zu zerstören. Vollständige und nicht zerstörte Zellen sind die Voraussetzung für die gewünschte Bildung eines Protonemas.

Die fragmentierten Moose (Abb. 45) werden dann in einer Schüssel gesammelt und relativ bald mit dem bereits vorher angerührten Kleister vermischt. Hier ist auf das richtige Mischverhältnis von etwa 2 Teilen Moosen zu 1 Teil Kleister zu achten. Die Mischung ist anschließend gut zu verrühren. Zuletzt wird die Moos-Kleister-Mischung mit Malerpinseln auf die Lochplatten aufgebracht, wobei darauf zu achten ist, die Paste vor allem in die Löcher einzubringen (Abb. 44, 46, 47).

Entscheidend für die Moosauswahl bei der Moosfragmente-Kleister-Methode waren ihre große Menge in den Aufsammlungen sowie ihre Eignung zur Protonema-Bildung. Es wurden folgende Moose bei der BPM 2 genutzt:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| – <i>Tortula muralis</i> | [14.1., 14.2., 14.3.] |
| – <i>Bryum argenteum</i> | [15.1., 15.2.] |
| – <i>Hypnum cupressiforme</i> | [1.1., 1.2., 1.5.] |
| – <i>Homalothecium sp.</i> | [4.1., 4.3.2.] |
| – <i>Anomodon viticulosus</i> | [6.1.] |
| – <i>Syntrichia ruralis</i> | [2.1.] |

Für die BPM 2 notwendige Werkzeuge und Bestandteile sind:

- Kaffeemühle (Abb. 40)
- Metylan – Spezial – Kleisterpulver bestehend aus Methylzellulose (Abb. 41)
- Kübel und Stab zum Anrühren des Kleisters
- Mischschüssel für Moosfragment-Kleister-Mischung
- Pinsel zum Aufbringen der Moose (Abb. 42)



Abb. 40: Kaffeemühle



Abb. 41: Kleister



Abb. 42: Verwendete Malerpinsel



Abb. 43: Moose fragmentieren



Abb. 44: Auftragen der Mischung



Abb. 45: Fragmentierte Moose



Abb. 46: Beispiel 1 für Methode 2



Abb. 47: Beispiel 2 für Methode 2

2.5.3. BPM 3: Polster

In ein paar Fällen wurde auch eine Bepflanzung mit ganzen Moospolstern ausprobiert. Dies passierte einerseits auf den Glasschaum-Blöcken, welche über besonders große Löcher verfügten, als auch auf Paneelen mit Ton/Lehmsubstrat, wenn eine Bepflanzung mit Sprossen (BPM 1) aus Zeitgründen nicht mehr möglich war (Abb. 49). Eine Bepflanzung mit ganzen Moospolstern erfolgte auf den Versuchsflächen: 5-12, 17a, 40, 47, 50 und 59.

Die Glasschaum-Blöcke (5-12) wurden mit je einem etwa 3-fingerdicken Büschel Moosstämmchen pro Loch bepflanzt (Bepflanzungsmuster Abb. 48). Da die Löcher mit Fließ überzogen waren musste bei der Bepflanzung darauf geachtet werden, dieses Fließ so wenig wie möglich zu beschädigen, um ein späteres Austreten des Substrates zu verhindern.

Auf den Versuchsflächen 17a, 40, 47, 50 und 59 wurden ganze Moospolster aufgelegt. Hier wurden vorrangig *Homalothecium sericeum* und *Hypnum cupressiforme* verwendet.

10.1	4.3.2	2.1	1.1
11.1	6.1	3.1	1.2
11.2	8.2	4.1	1.4
12.1	8.3	4.3.1	1.5

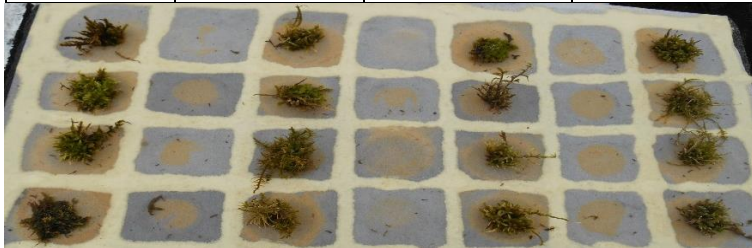


Abb. 48: Bepflanzungsmuster auf Glasschaumplatte mit Lehm/Ton-Substrat



Abb. 49: Auflegen ganzer Polster auf Lehm/Ton-Substrate (E.H.)

2.6. Anlage der Versuchsflächen

Nach der Bepflanzung im Glashaus wurden die Paneele vor dem Glashaus im Freien auf einer Anlage in der Waagrechten aufgelegt. Die Abbildungen 50 bis 52 zeigen die Anordnung der Paneele und die Verteilung der Versuchsflächen.



Abb. 50: Nördlicher Teil der Anlage (E.H.)

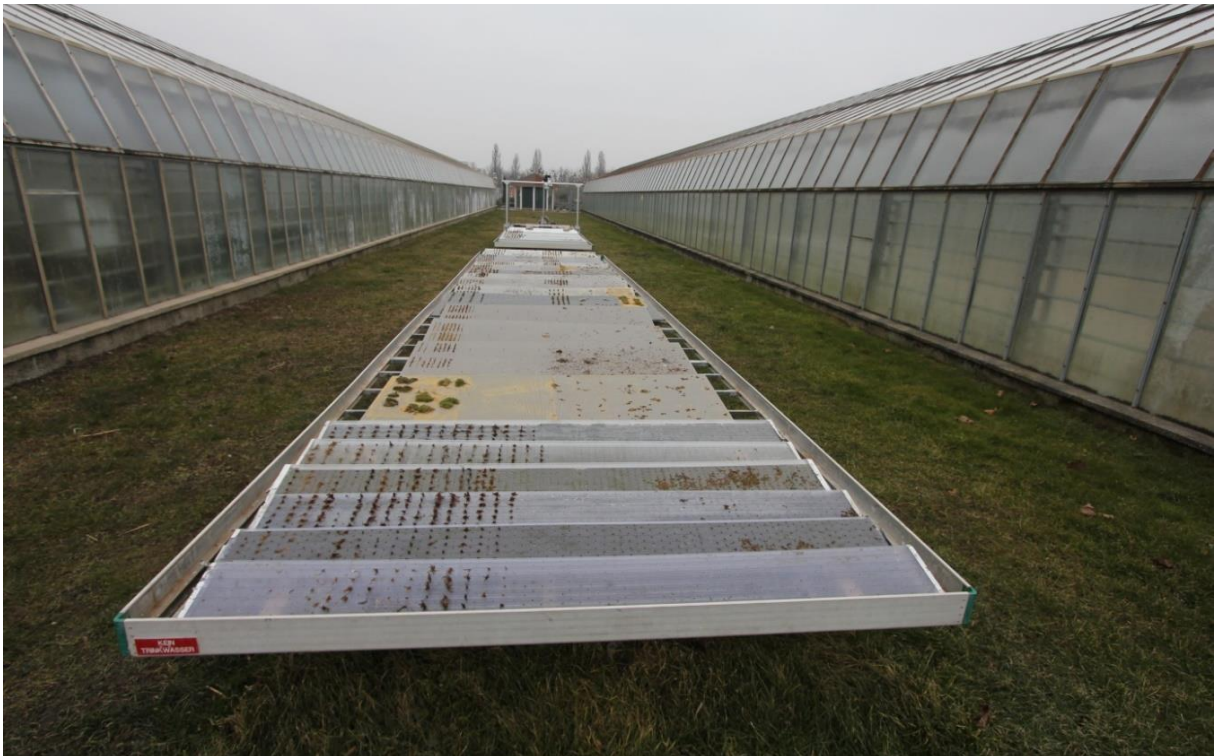


Abb. 51: Südlicher Teil der Anlage (E.H.)

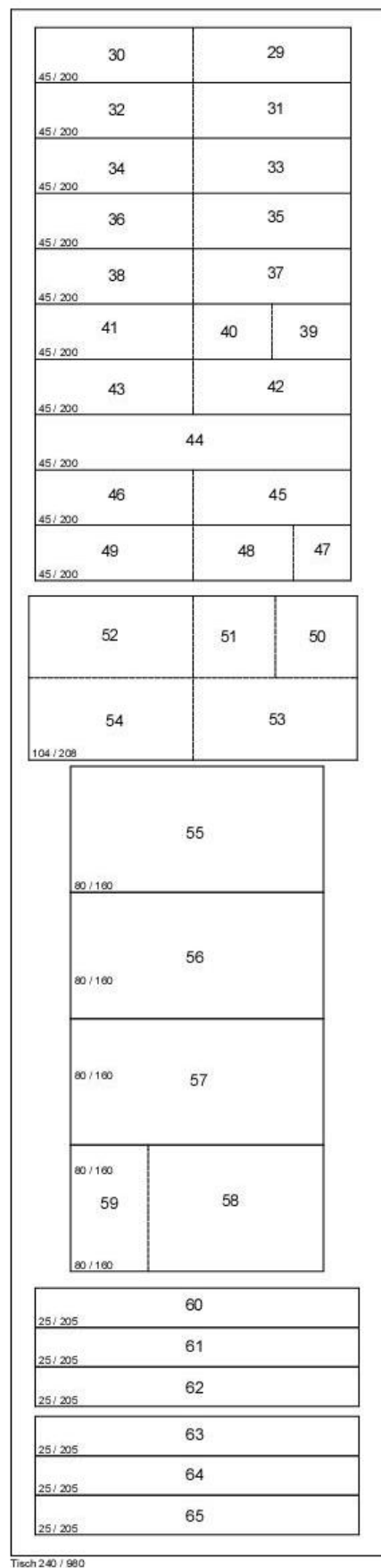
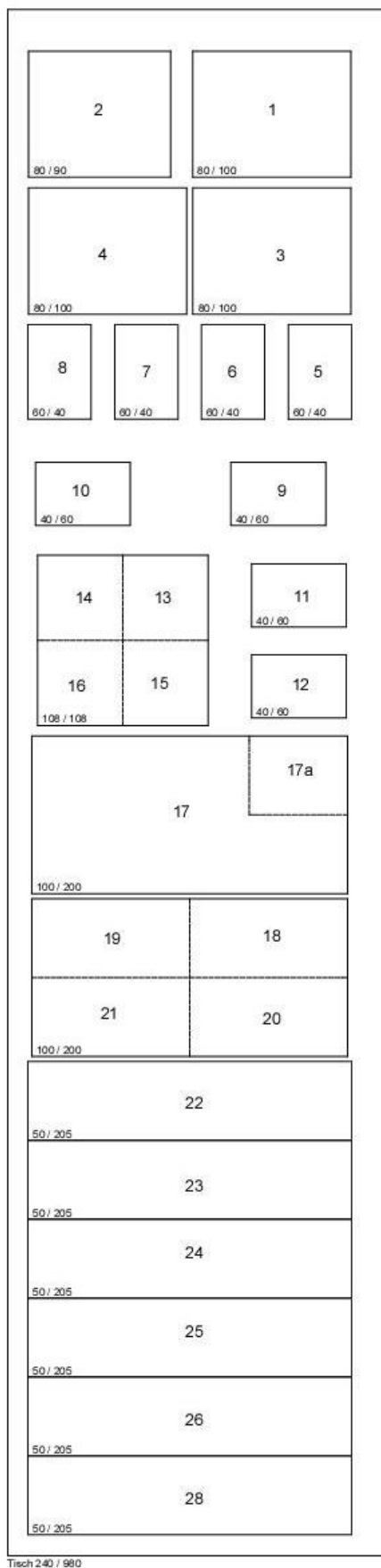


Abb. 52: Anordnung der Versuchsflächen: Links der „Nordteil“ der Anlage, rechts der südlich davon liegende „Südteil“ der Anlage (erstellt: E.H.).

3. Ergebnisse

Im Rahmen der Versuchsreihe konnten nur wenige wirklich erfolgreiche Bepflanzungen festgestellt werden. Ein Großteil der Moose starb, aufgrund unterschiedlichster Ursachen ab, nur wenige konnten überleben, und in seltenen Fällen kam es zu Neuzuwachs.

Besonders erfolgreich waren die Bepflanzungen von Ton/Lehm (Tab. 8), sowie jene der SENOVA-Platte (Abb. 59). Auch war im Durchschnitt eine Bepflanzung mit dickeren Spross-Büscheln oder Polstern besser, als mit Fragmente-Kleister-Mischung, sofern Polster und Sprosse nicht abgewaschen wurden. Hohe Vitalität konnten im Speziellen die Arten *Hypnum cupressiforme*, *Homalothecium sp.* und *Abietinella abietina* aufweisen (Abb. 56).

3.1. BPM 1: Sprosse

Die Ergebnisse der Bepflanzung mit Moosstämmchen sind in Tabelle 6 und 7 ersichtlich:

Tab. 6: Ergebnisse der BPM 1: Sprosse [VF 13-32]

				Monitoring Ergebnisse							
Nr.	Paneel – Kurzbezeichnung	Lochgröße	Substrat	23.12.2014		21.01.2015		18.02.2015		18.03.2015	
				Vit	Anmerkungen	Vit	Anmerkungen	Vit	Anmerkungen	Vit	Anmerkungen
13	STODECO	5	LT	100		80		80		80	
14			GH	100		10	Nur H.l.	15	H.s. und A.a. mit Neuzuwachs 5mm	15	nur H.s. vital
15			SA	100		30		30	Braunfärbung	0	
16			ST	100		10	Nur H.l.	10		10	nur H.s. vital
19	ALUCORE	3	GH	40		20	hauptsächlich A.a.	20	nur A.a. und H.l. vital	20	nur A.a. & H.l. zu 50% vital
20	ALUCORE	3	SA	40		40	außer A.a. wenig vital	40	wenig vital; winziger Neuzuwachs bei A.a.	30	
21	ALUCORE	3	ST	40		10	nur H.l.	20	wenig vital	0	
22	Lärmschutz	12	GH	25	nur H.c. und H.s.	20	wenig vital	10	H.c zu 50% grün	10	nur H.s.
23	Lärmschutz	6	GH	0	rote Färbung	0		0		0	
24	Lärmschutz	12	ST	0	gelbe Färbung	0		0		0	
25	Lärmschutz	6	ST	5	Nur H.l.	5	nur H.l.	0		0	
26	Lärmschutz	12	SA	0	rote Färbung	0		0		0	
27	Wellplatte			Keine Ergebnisse, da diese Platte nicht ins Monitoring miteinbezogen wurde.							
28	Lärmschutz	6	SA	0	rote Färbung	0		0		0	
29	Alu-Blech 200x50	5	SA	100		90		15	H.l. und A.a. zu 50% grün	15	H.l. und A.a. zu 50% grün
30			ST	0	gelbe Färbung	0		0		0	
31	Edelstahlblech	5	LT	100		10	nur A.a. und H.l. (je zu 50%) grün	80	wenig vital; T.r. alle tot, A.a. mit weißen Spitzen	80	
32			GH	0		10		1	P.s. 1 Stämmchen grün	0	

Tab. 7: Ergebnisse der BPM 1: Sprosse [VF 33-65]

				Monitoring Ergebnisse							
Nr.	Paneel – Kurzbezeichnung	Lochgröße	Substrat	23.12.2014		21.01.2015		18.02.2015		18.03.2015	
				Vit	Anmerkungen	Vit	Anmerkungen	Vit	Anmerkungen	Vit	Anmerkungen
33	Edelstahlblech	8	LT	100		80		50	weißen Spitzen (außer H.s.), tw. Braunfärbung	50	P.s. mit Neuzuwachs!
34			GH	0		0		0		0	
35	Edelstahlblech	5	ST	0		0		0		0	
36			SA	100		60		10	P.s. und H.l. zu 30% grün	10	
37	Alu-Blech 200x50	5	SA	0	rote Färbung	0		0		0	
38			ST	0	gelbe Färbung	0		0		0	
41	Edelstahlblech		GH	100	Keine Ergebnisse, da diese Platte nicht ins Monitoring miteinbezogen wurde.						
42	Alu-Blech 200x50	12	ST	20		10		1	H.l. zu 50% grün	1	nur H.l. zu 50% grün
43			SA	20		10		10	H.l. und H.c. 50% grün	0	
44	Alu-Blech 200x50	8	SA + ST	0		0		1	nur A.a. auf SA	0	
45	Alu-Blech 200x50	12	SA	20	nur H.l. und H.s.	5	H.s. (zu 80%) grün	10	H.s. zu 60% grün	10	H.s. zu 50% grün
46			ST	0		0		0		0	
48	Alu-Blech 200x50		LT	95		100		70	wenig vital A.a. und T.r. tot	50	nur H.s. und H.c. zu 80%
49			GH	20		5	nur H.c. (zu 50%) grün	5	H.c. zu 70% grün und fruchtend	0	
51	SENOVA		LT	90	wenige Sprosse übriggeblieben, davon aber 90% vital!	80		80	Neuzuwachs bei H.s.	80	
52			GH	60		10		5	H.c.	0	
53			SA	90		50	Sprosse im Schatten vitaler	30	nur H.s. und H.l. zu 70% grün – Rest tot	20	nur H.s. und H.l.
54			ST	90		30	wenig Sprosse übrig	10	nur H.s. zu 20% grün, Rest tot	10	nur H.s. zu 20%
55	Alu-Blech 180x80	2	SA	0	rote Färbung	0		0		0	
56	Alu-Blech 180x80	2	ST	5	gelbe Färbung, nur H.s. intakt	0		0		0	
57	Alu-Blech 180x80	2	GH	0	rote Färbung	0		0		0	
60	PC-Platte	5	SA	0		0		0		0	
61	PC-Platte	5	ST	0		0		0		0	
62	PC-Platte	5	GH	0		0		0		0	
63	PVC-Platte	5	SA	0		0		0		0	
64	PVC-Platte	5	GH	0		0		0		0	
65	PVC-Platte	5	ST	0		0		0		0	

Vit = Vitalität: gemessen in % gesunder dh. grüner Triebe an der Gesamtmenge vorhandener Triebe

Kürzel für Moosarten: A.a. = *Abietinella abietina*, H.c. = *Hypnum cupressiforme*, H.l. = *Homalothecium lutescens*, H.s. = *Homalothecium sericeum*, P.s. = *Pleurozium schreberi*, T.r. = *Tortula ruralis*.

Bei der Bepflanzung mit Sprossen (BPM 1) hat sich gezeigt, dass die Arten *Homalothecium lutescens*, *H. sericeum* und *Abietinella abietina* und *Hypnum cupressiforme* am öftesten überlebt haben und selten sogar weiter gewachsen sind.

Nach Substrat war ersichtlich, dass vor allem Sprosse auf Lehm/Ton-Substrat überleben konnten: Alle sechs bepflanzten Lehm/Ton-Substrate konnten nach drei Monaten (Monitoring 18.3.2015) noch eine Vitalität von mindestens 50% aufweisen (im Durchschnitt waren es rund 57%).

Die durchschnittliche Vitalität am vorletzten (18.2.2015) und letzten (18.3.2015) Monitoring-Termin ist in Tabelle 8 ersichtlich:

Tab. 8: **Durchschnittliche Vitalität der Sprosse nach Substraten**

Substrat	Durchschnittliche Vitalität zum Datum	
	18.2.2015	18.3.2015
Geohumus (GH)	4,7	3,8
Lehm/Ton (LT)	60,0	56,7
Sanoplant (SA)	12,2	7,1
Stockosorb (ST)	3,5	1,75

Da die Lehm/Ton-Substrate prinzipiell um rund 3 Wochen später bepflanzte wurden, ist ein Vergleich der Vitalität zu zwei unterschiedlichen Monitoring-Terminen sinnvoll. Hier zeigt sich jedoch ebenfalls, dass die Sprosse auf LT am 18.3. deutlich vitaler waren als jene von GH, SA und ST am 18.2.2015. Auf den Fotos (Abb. 53) ist erkennbar, wie ausgesprochen vital die Sprosse auf Lehm/Ton-Substrat am 18.2.2015 waren.

Auf Geohumus überlebten von 14 Versuchsflächen bis zum 18.3. überhaupt nur Sprosse von 3 Versuchsflächen, nämlich 14, 19 und 22. Allerdings kam es auf all diesen drei Flächen zu Neuzuwachsen bei den Moossprossen (Abb. 55). Ebenfalls auf einer GH-Fläche (VF 49) schaffte es ein *Hypnum cupressiforme* (am 18.2.) Sporophyten zu bilden.

Auf ST-Substraten überlebten Sprosse von zwei Versuchsflächen bis 10% (VF 16 und 54), eine Versuchsfläche konnte noch vitale Sprosse im Ausmaß von 1% aufweisen (VF 42). Aus SA-Substraten konnten bis zum 18.3. Sprosse von fünf Versuchsflächen (VF 20, 25, 36, 45, 53) überleben, mit einer durchschnittlichen Restvitalität von immerhin 17%.

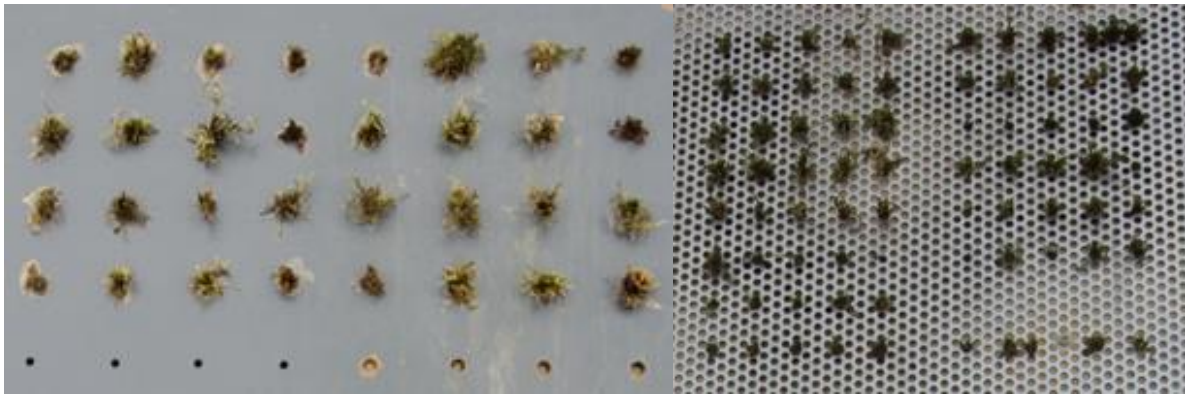


Abb. 53: Vitalität der Sprosse auf LT-Substrat (Stand: 18.2.2015) (E.H.)

Die Bepflanzung der Kunststoff-Doppelstegplatten (VF 60-65) (Abb. 54), der Aluminium-Lärmschutz-Platten (VF 23-26, 28) sowie der Alu-Bleche 180x80 (VF 55, 56, 57) war erfolglos, da alle Sprosse bis zum ersten Monitoring-Termin abgestorben waren.



Abb. 54: Abgestorbene Sprosse der Kunststoff-Doppelsteg-Platten (E.H.)

Neben dem Absterben zeigten einige Stämmchen auch unterschiedlichste Färbungen: Rote, gelbe und braune Gesamt- sowie weiße Spitzenfärbung. Die Gelbfärbung zeigt in der Analyse einen starken Zusammenhang mit dem Substrat Stockosorb. Eine weiße Färbung der Spitzen trat bei den Sprossen immer in Zusammenhang mit LT-Substrat auf. Eine Rotfärbung war besonders häufig auf Sanoplant-Substraten zu beobachten, nie jedoch auf Lehm (Abb. 55).

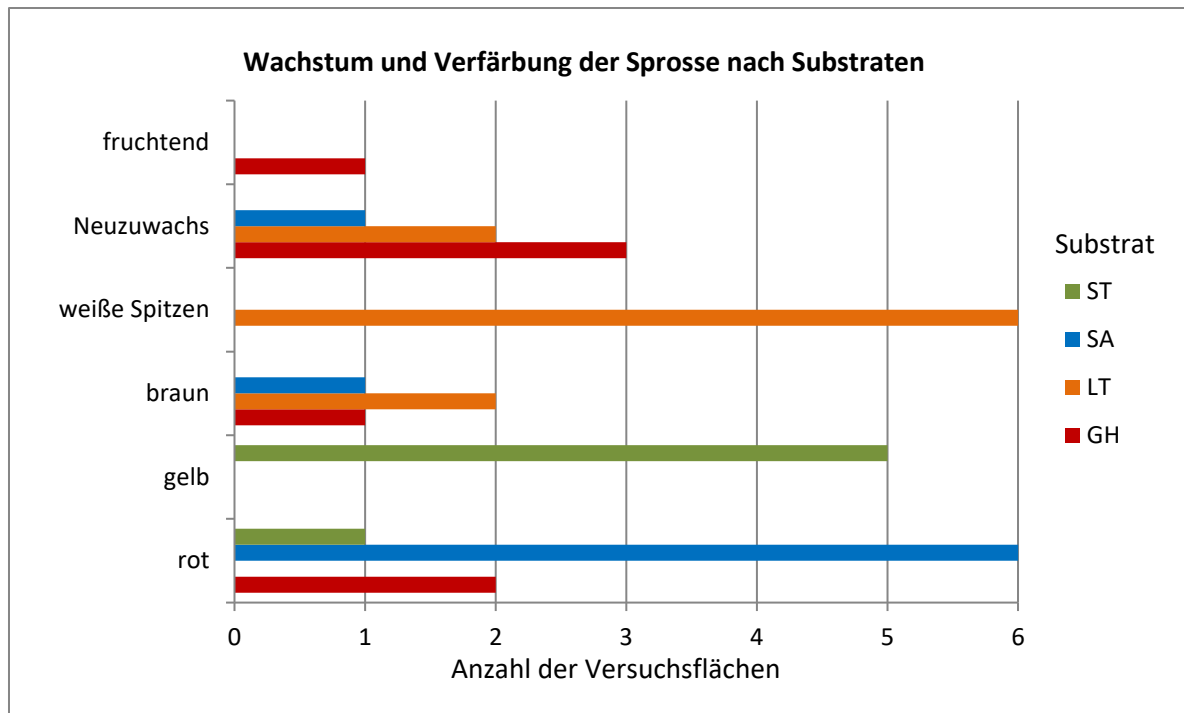


Abb. 55: Wachstum und Verfärbung der Sprosse nach Substraten

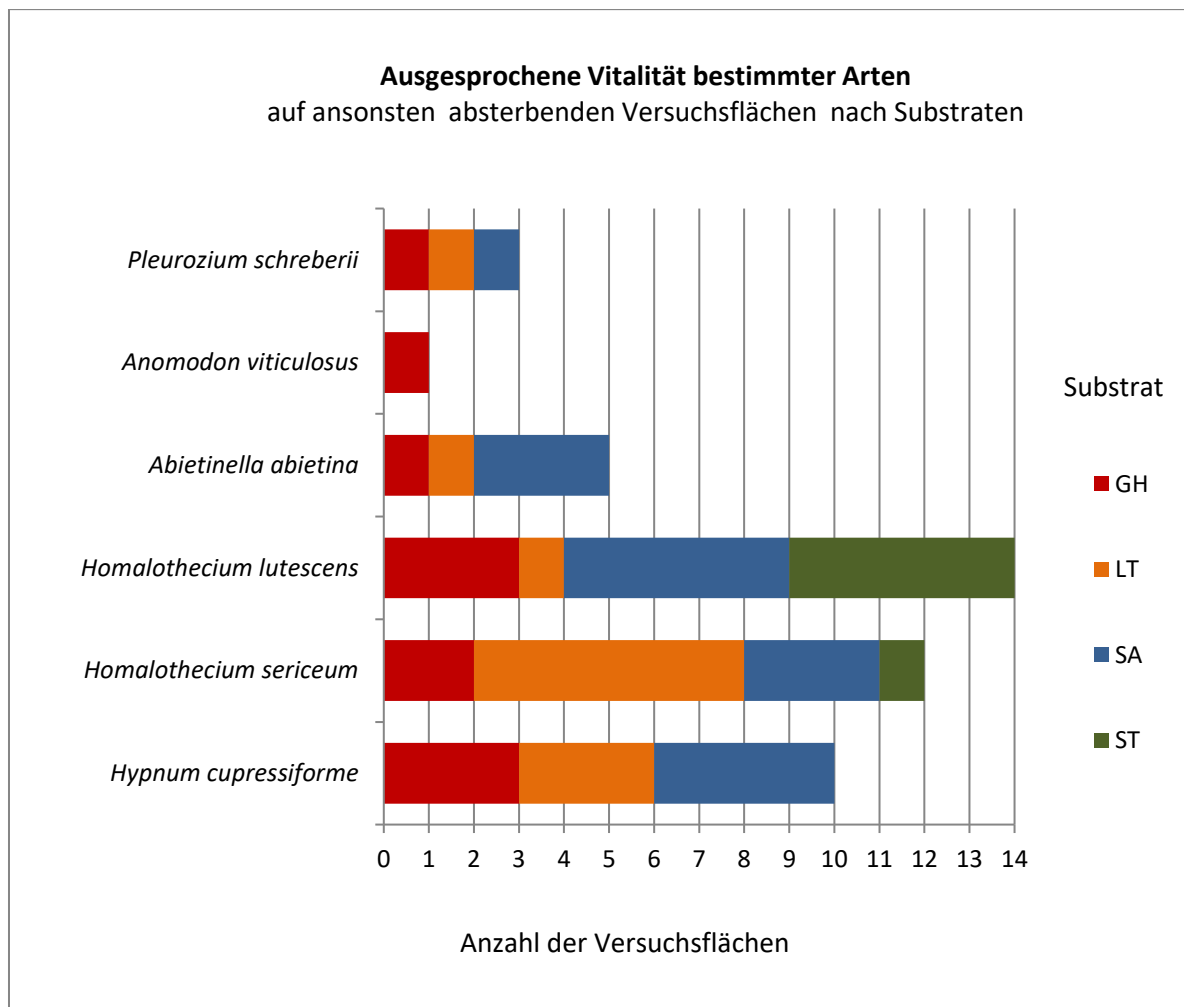


Abb. 56: Überlebenshäufigkeit einzelner Sprosse nach Arten und Substraten

Von den je 14 Paneelen mit SA- bzw. ST-Füllung konnte nur ein kleiner Teil mit Beendigung des Monitorings noch lebende Moose aufweisen. Stockosorb tötete bis auf 3 Paneele alle Sprosse ab, die Restvitalität betrug aber auch auf den lebenden Versuchsflächen noch maximal 10%. Von den Sanoplant-Substraten konnten immerhin 5 Versuchsflächen noch eine Moos-Vitalität von 10-30% aufweisen. Die 12 bepflanzten GH-Versuchsflächen starben 9 ab. Die restlichen wiesen eine Vitalität von im Schnitt 15% auf. Auf all den 5 LT-Substraten konnten nach 2-3 Monaten noch vitale Moose gefunden werden.

Abbildung 56 zeigt die besonders erfolgreichen Arten. Diese waren oft vorrangig auf sonst bereits absterbenden Versuchsflächen noch grün und vital zu finden. Insgesamt besonders erfolgreich waren die beiden *Homalothecium*-Arten *lutescens* und *sericeum*, sowie *Hypnum cupressiforme*. Die Arten *Syntrichia ruralis* und *Ctenidium molluscum* überlebten in den meisten Fällen nicht. Erkennbar (Abb. 56, Tab. 6 und 7) ist, dass auf Stockosorb außer den beiden *Homalothecium*-Arten keine Art überleben konnte.

3.2. BPM 2: Fragmente-Kleister-Mischung

Die Bepflanzung mit der Fragmente-Kleister-Mischung (BPM 2) funktionierte in den meisten Fällen nicht. Erfolge zeigten sich nur auf den Drainagefließ-Polstern (1, 2, 4), sowie auf Edelstahl-Paneelen (VF: 33, 36, 39), der SENOVA-Platte (VF: 51 und 54) und einem Glasschaumblock (9). Auf dem Drainage-Fließ mit der Sanoplant-Füllung behielten die Fragmente bis 18.3.2015 eine Vitalität von 60%, hier kam es auch bei 10% der Fragmente zu einem Neuzuwachs von etwa 0,5cm. Eine detaillierte Liste der Ergebnisse der Bepflanzung mit Fragmenten ist in Tabelle 9 und 10 ersichtlich.

Tab. 9: Ergebnisse der BPM 2: Fragmente-Kleister-Mischung [VF 1-36]

Nr.	Panel – Kurzbezeichnung	Lochgröße	Substrat	Vitalität				
				23.12. 2014	21.01. 2015	18.02. 2015	18.03. 2015	* Anmerkung
1	Drainagefließ	-	SA	100	70	70*	60	bis 0.5 cm Neuzuwachs bei 10%
2	Drainagefließ	-	ST	100	60	5	5	
3	Rasenteppich	-	GH	100	10	5	0	
4	Drainagefließ	-	GH	100	30	5	5	
5	Glasschaum	3,5	SA	100	0	-	-	
6	Glasschaum	3,5	ST	100	0	-	-	
7	Glasschaum	3,5	LT	100	10	0	-	
8	Glasschaum	3,5	GH	100	0*	-	-	Substrat aufgesprungen
9	Glasschaum	3,5	LT	-	20*	50	50	Neubepflanzung
10	Glasschaum	3,5	ST	100	0	0	-	
11	Glasschaum	3,5	GH	0	0	0	-	
12	Glasschaum	3,5	SA	0	0	0	-	
17	ALUCORE	3	leer	0*	-	-	-	alles abgewaschen
18	ALUCORE	3	LT	0*	-	-	-	alles abgewaschen
22	Lärmschutz	12	GH	0	-	0	-	alles abgestorben
23	Lärmschutz	6	GH	0	-	-	-	alles abgestorben
24	Lärmschutz	12	ST	0	-	-	-	alles abgestorben
25	Lärmschutz	6	ST	20	0	-	-	abgestorben
26	Lärmschutz	12	SA	0	-	-	-	alles abgestorben
27	Wellplatte							
28	Lärmschutz	6	SA	0	-	-	-	alles abgestorben
29	Alu-Blech 200x50	5	SA	100	30	0	-	
30			ST	0	-	-	-	
31	Edelstahlblech	5	LT	0	-	-	-	
32			GH	0	-	-	-	
33	Edelstahlblech	8	LT	0	60*	30	50	Neubepflanzung
34			GH	0	-	-	-	
35	Edelstahlblech	5	ST	0	-	-	-	
36			SA	100*	60	10	10	ein Großteil abgewaschen dh wenige übrig

Vit = Vitalität: gemessen in % gesunder dh. grüner Fragmente an der Gesamtmenge vorhandener Fragmente

Tab. 10: Ergebnisse der BPM 2: Fragmente-Kleister-Mischung [VF 37-65]

Nr.	Paneel - Kurzbezeichnung	Lochgröße	Substrat	Vitalität				
				23.12. 2014	21.01. 2015	18.02. 2015	18.03. 2015	* Anmerkung
37	Alu-Blech 200x50	5	SA	0	-	-	-	
38			ST	0	-	-	-	
39	Edelstahlblech	8	LT	90	70	50	50	
41	Edelstahlblech	8	GH					
42	Alu-Blech 200x50	12	ST	20	0	-	-	
43			SA	20	0	-	-	
44	Alu-Blech 200x50	8	SA + ST	0	-	-	-	
45	Alu-Blech 200x50	12	SA	20	0	-	-	
46			ST	0	-	-	-	
48	Alu-Blech 200x50	8	LT	95	70	0	-	
49	Alu-Blech 200x50		GH	20	0	-	-	
51	SENOVA	5/8	LT	80	30	10	50*	nur mehr wenige übrig
52	SENOVA		GH	0*	-	-	-	alles abgewaschen
53	SENOVA		SA	60*	20	0	-	nur mehr wenige übrig
54	SENOVA		ST	60	30	50*	50	nur mehr wenige übrig
55	Alu-Blech 180x80	2	SA	0	-	-	-	
56	Alu-Blech 180x80	2	ST	20	0	-	-	
57	Alu-Blech 180x80	2	GH	5	0	-	-	
58	Alu-Blech 180x80	2	LT	80	10	10	0	
60	PC-Platte	5	SA	0*	-	-	-	alles abgewaschen
61	PC-Platte	5	ST	0*	-	-	-	alles abgewaschen
62	PC-Platte	5	GH	10*	0	-	-	ein Großteil abgewaschen dh wenige übrig
63	PVC-Platte	5	SA	0*	-	-	-	alles abgewaschen
64	PVC-Platte	5	GH	0*	-	-	-	alles abgewaschen
65	PVC-Platte	5	ST	0*	-	-	-	alles abgewaschen

Vit = Vitalität: gemessen in % gesunder dh. grüner Fragmente an der Gesamtmenge vorhandener Fragmente

In sehr vielen Fällen wurde die Moosfragmente-Kleister-Mischung durch den Regen abgewaschen und durch Quellung der Füllsubstrate aus den Löchern gedrückt.

Die Vitalität nach Substraten zeigt, dass in vier von neun Fällen vitale Fragmente am 18.3.2015 auf Lehm/Ton-Substraten zu finden waren. Sie zeigten eine Vitalität von 50%. Abbildung 57 zeigt die Vitalität der Fragmente nach Substraten. Die Fragmente-Bepflanzung der Fliese und Glasschaum-Blöcke ist in Abbildung 58 ersichtlich.

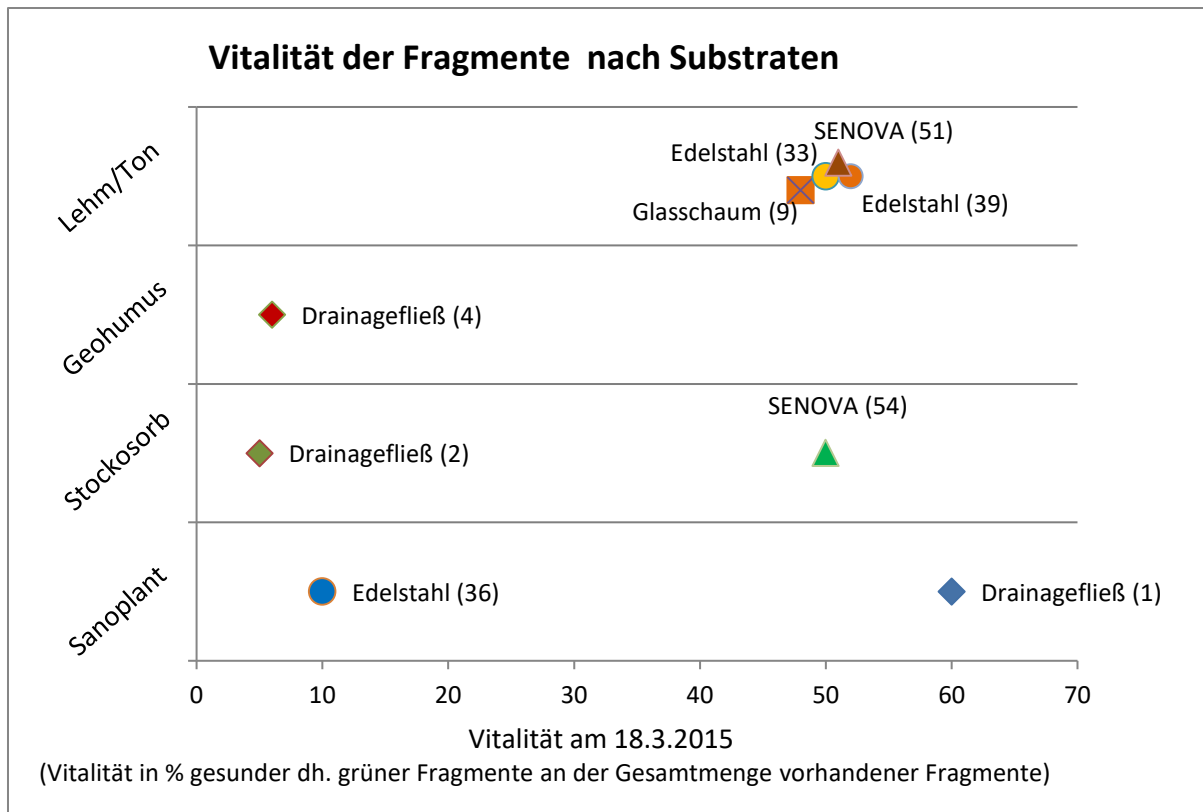


Abb. 57: Vitalität der Fragmente nach Substraten

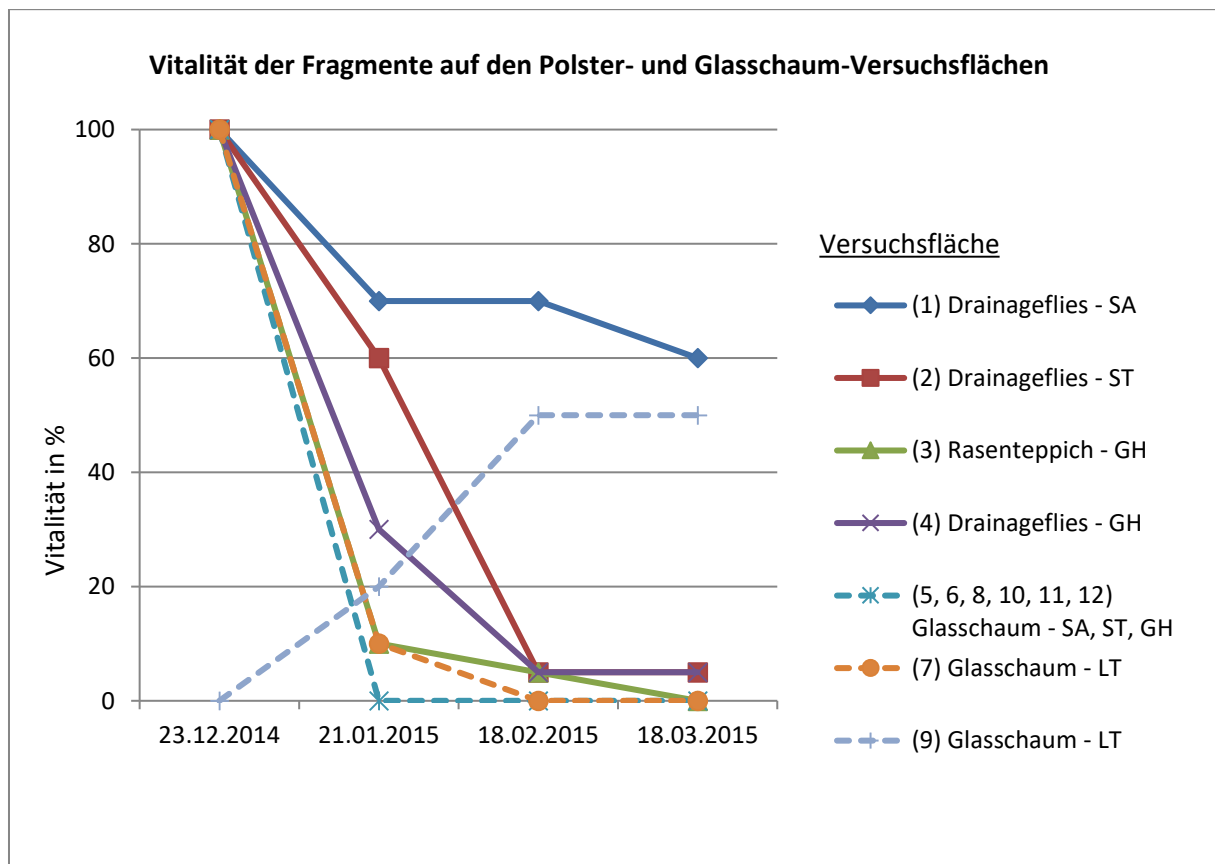


Abb. 58: Vitalität der Fragmente auf den Polster- und Glasschaum-Versuchsflächen

3.3. BPM 3: Polster

Die Bepflanzung mit ganzen Polstern zeigte folgende Ergebnisse: In den Glasschaum-Blöcken überlebten die Polster nur im LT-Substrat. In vielen Fällen kam es bei den lebenden Polstern auf LT-Substraten aber zu weißen Spitzen. Die Moose in den ST- und SA-Substraten starben schnell ab und zeigten typisch rote oder gelbe Verfärbungen. Die GH-Füllung nahm durch Regen viel Wasser auf und sprengte die Glasschaum-Blöcke, die Polster wurden ausgewaschen.

Auf den ebenen Paneelen konnten sich fast alle Polster zumindest vital halten. Eine detaillierte Auflistung der Ergebnisse der Bepflanzung mit ganzen Polstern zeigt Tabelle 11.

Tab. 11: Ergebnisse der BPM 3: Polster

			Monitoring Ergebnisse						
Nr.	Paneel-Kurzbezeichnung	Substrat	23.12.2014		21.01.2015	18.02.2015		18.03.2015	
			Vit	Anmerkungen	Vit	Vit	Anmerkungen	Vit	Anmerkungen
5	Glasschaum	SA	100	rote Färbung	0	0		0	
6	Glasschaum	ST	100	gelbe Färbung	0	0		0	
7	Glasschaum	LT	100		90	90	weißen Spitzen, H.c. und H.s. am besten	90	weiße Spitzen, H.c. und H.s. am besten
8	Glasschaum	GH	100	Substrat/Paneel aufgesprungen	0	0		0	
9	Glasschaum	LT	100	Neubepflanzung	70	70	weißen Spitzen; Neuzuwachs bei H.s. (2x 'a 3mm)	70	weiße Spitzen; Neuzuwachs bei H.s. (2x 'a 3mm)
10	Glasschaum	ST	100	rote Färbung	0	0		0	
11	Glasschaum	GH	100	Substrat/Paneel aufgesprungen	0	0		0	
12	Glasschaum	SA	100	rote Färbung	0	0		0	
17a	ALUCORE	LT		nicht vorhanden	100	100		50	Polster abgerissen, wenig vital, weiße Spitzen
40	Edelstahlblech	LT		nicht vorhanden	100	70	hauptsächlich H.c.	0	
47	Alu-Blech 200x50	LT		nicht vorhanden	100	100	100	20	
50	SENOVA Holzfaser	LT		nicht vorhanden	100	95	95	40	fast nur H.s.
59	Alu-Blech 180x80	LT		nicht vorhanden	100	100	100	70	wenig vital
Vit = Vitalität: gemessen in % gesunder dh. Grüner Triebe an der Ursprungsmenge									
Kürzel für Moosarten: H.c. = <i>Hypnum cupressiforme</i>) H.s. = <i>Homalothecium sericeum</i>									

3.4. Spezielle Paneele

Verhältnismäßig gute Ergebnisse zeigte jede Art der Bepflanzung auf der SENOVA-Melaninharzplatte (Versuchsfläche 50-54). Abbildung 59 zeigt die Entwicklung der Vitalität über die Monitoring-Termine. Auf Abbildung 60 ist die bepflanzte Platte zu sehen.

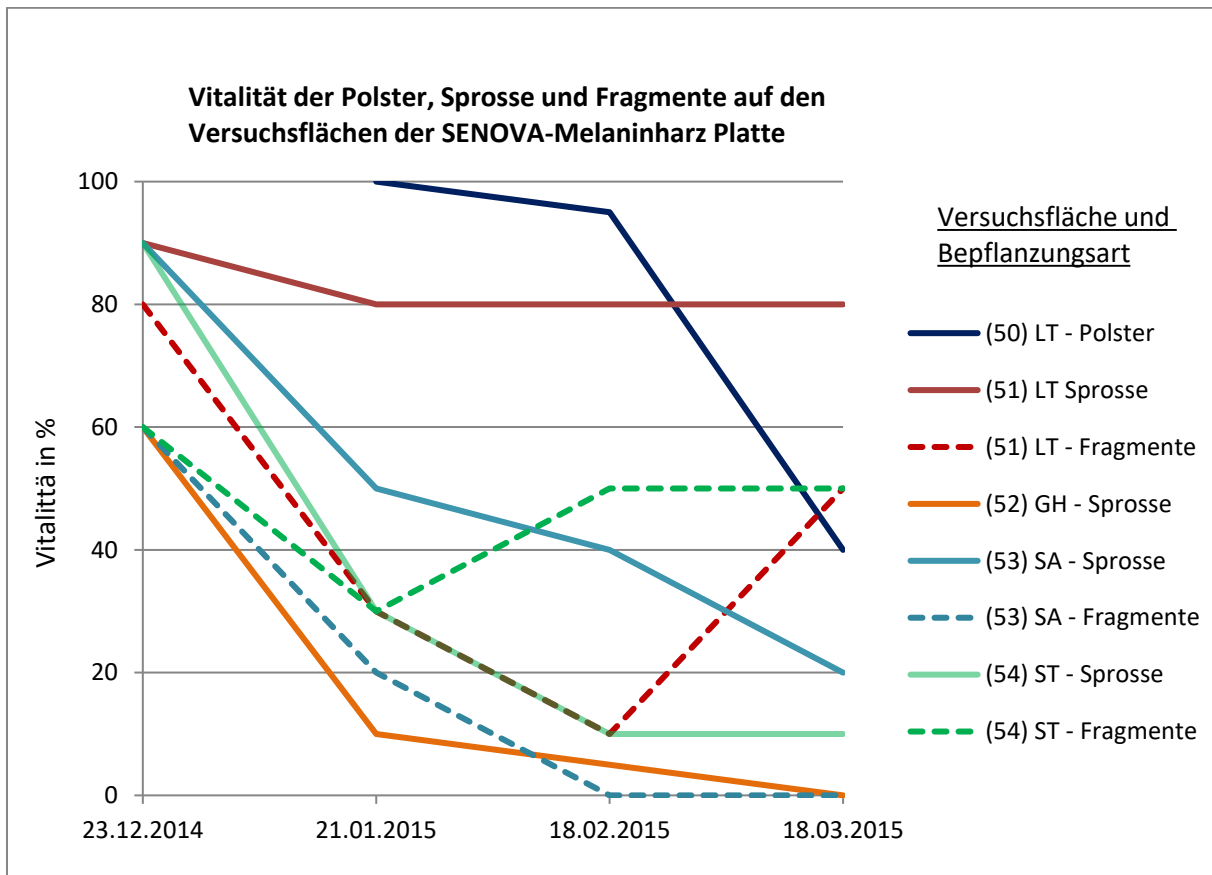


Abb. 59: Vitalität der Moose auf dem SENOVA-Panel

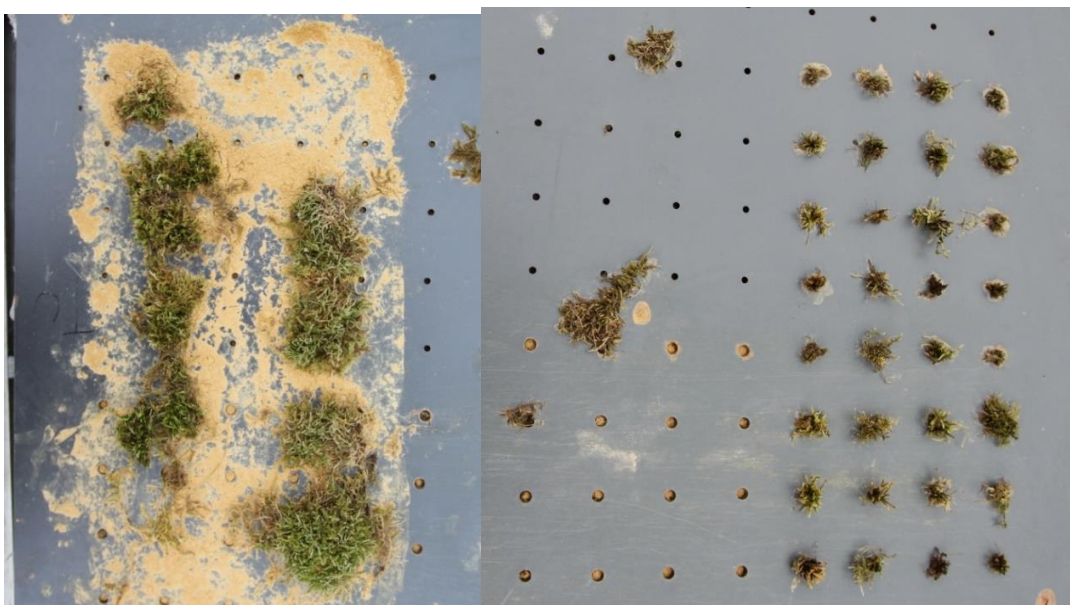


Abb. 60: (vlnr) Polster, Fragmente und Sprosse auf der SENOVA-Platte.

4. Diskussion

4.1. Moose

Von den ausgewählten Moosarten erwiesen sich vor allem vier als sowohl für die Bepflanzungsmethoden geeignet, als auch in weiterer Folge in ihrer Vitalität herausragend. Diese Moosarten werden für allfällige weitere Bepflanzungsversuche auf anderen Substraten auf jeden Fall empfohlen:

- *Homalothecium lutescens*
- *Homalothecium sericeum*
- *Abietinella abietina*
- *Hypnum cupressiforme*

Im Folgenden wird nun eine Beurteilung der Moose auf ihre Eignung zur Bepflanzung nach BPM 1, zur Fragmentierung nach BPM 2, sowie zu ihrer Resistenz und Vitalität nach dem Bepflanzen abgegeben:

Gut geeignet für die BPM 1 sind vor allem die robusten, hartsprossigen Moose:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| - <i>Pleurozium schreberi</i> | [3.1.] |
| - <i>Homalothecium lutescens</i> | [4.1., 4.3.1., 4.3.2] |
| - <i>Homalothecium sericeum</i> | [11.1., 11.2.] |
| - <i>Anomodon viticulosus</i> | [6.1.] |
| - <i>Abietinella abietina</i> | [8.2., 8.3.] |
| - <i>Leucodon sciuroides</i> | [10.1.] |

Ihre kräftigen Stämmchen können gut in die Löcher eingebracht werden, eine Bepflanzung ohne Pinzetten ist teilweise auch möglich. Für die Fragmentierung sind sie eher ungeeignet bzw. müssen vor der Vermahlung in der Mühle händisch oder mit der Schere zerkleinert werden, bzw. die Blättchen durch Abstreifen von den Stämmchen entfernt werden, um die Mühle nicht zu verstopfen und die Klingen nicht abzustumpfen. Eine Ausnahme wäre *Leucodon sciuroides*, das Brutblättchen bildet, welche sich durch Abstreifen für BPM 2 eignen würden.

Für die Bepflanzung unpraktisch, da sie leicht zerfallen und mit besonderer Sorgfalt in die Löcher eingebracht werden müssen, dafür aber in der Mühle gerade deswegen sehr geeignet sind:

- | | |
|------------------------------|---------|
| - <i>Syntrichia ruralis</i> | [2.1.] |
| - <i>Ctenidium molluscum</i> | [12.1.] |

Sprosse beider Arten wurden nach der Bepflanzung (BPM 1) oft mit dem Substrat aus den Löchern gedrückt, vermutlich weil die kurzen, fragilen Stämmchen sich in den Löchern nicht so verankern konnten, wie die langen, hartsprossigen Moose.

Daneben haben sich auch die kleinen, xerophytischen Mauer-Moose

- *Grimmia* sp. [13.1., 13.2., 13.3., 13.4.]
- *Tortula muralis* [14.1., 14.2., 14.3.]
- *Bryum argenteum* [15.1., 15.2.]

in der Fragmentierung als besonders praktisch erwiesen. Eine Bepflanzung mit den winzigen Stämmchen (BPM 1) wurde aufgrund deren Größe von vornherein ausgeschlossen, eine Bepflanzung mit den kleinen Polstern (BPM 3) könnte in weiteren Versuchen aber interessant sein. Bei diesen Moosen muss aufgrund ihrer Herkunft auf eine recht sorgfältige Entfernung von kleinen Steinchen in den Pölstern geachtet werden. Der Großteil der Moose stammte von Grobbeton-Mauern und enthielt kleine Kieselsteinchen und recht viel Substrat, welches die Mühle verstopfen und beschädigen kann. *Bryum* bildet Brutknospen welche bei der Fragmentierung einen besonderen Vorteil darstellen.

Als ideal für die Bepflanzung mit Sprossen und Polstern sowie auch für die Fragmentierung hat sich

- *Hypnum cupressiforme* [1.1., 1.2., 1.4., 1.5.]

herausgestellt. Dieses Moos ist sehr häufig zu finden, zu lagern und für alle drei Bepflanzungsmethoden zu handhaben. Bei einer Bepflanzung von nicht austrocknenden Substraten sollte man darauf achten eher die epiphytische *H. cupressiforme* var. *filiforme* verwenden, da diese an Austrocknung besser angepasst ist, als var. *cupressiforme* (FRAHM 2001).

Das Monitoring und damit die Analyse der Vitalität der Moose (Abb. 56) hat recht eindeutig ergeben, dass sich größere, hartsprossigen Moose (allen voran *Homalothecium lutescens*, *H. sericeum* und *Abietinella abietina*) verhältnismäßig gut auf den Paneelen halten und vital bleiben können. Eine Erklärung dafür ist einfach ihre Stämmchenlänge, welche ihnen die Möglichkeit gibt, sich einerseits im Substrat und unter den Paneelen zu verankern (und nicht gleich ausgeschwemmt zu werden) und andererseits bei quellendem Substrat noch zumindest teilweise aus diesem herauszuragen. In Abbildung 55 sieht man, dass vor allem *Syntrichia ruralis*, aber auch *Ctenidium molluscum* kaum aus den Pflanzlöchern herausragen. Da ihre fragilen Stämmchen während der Bepflanzung zu einem größeren Teil zerfallen sind und selten ein Stämmchen tief in das Substrat gepflanzt werden konnte, ist ein großer Teil der Sprosse gar nicht zum Anwachsen gekommen, bevor sie ausgeschwemmt wurden.

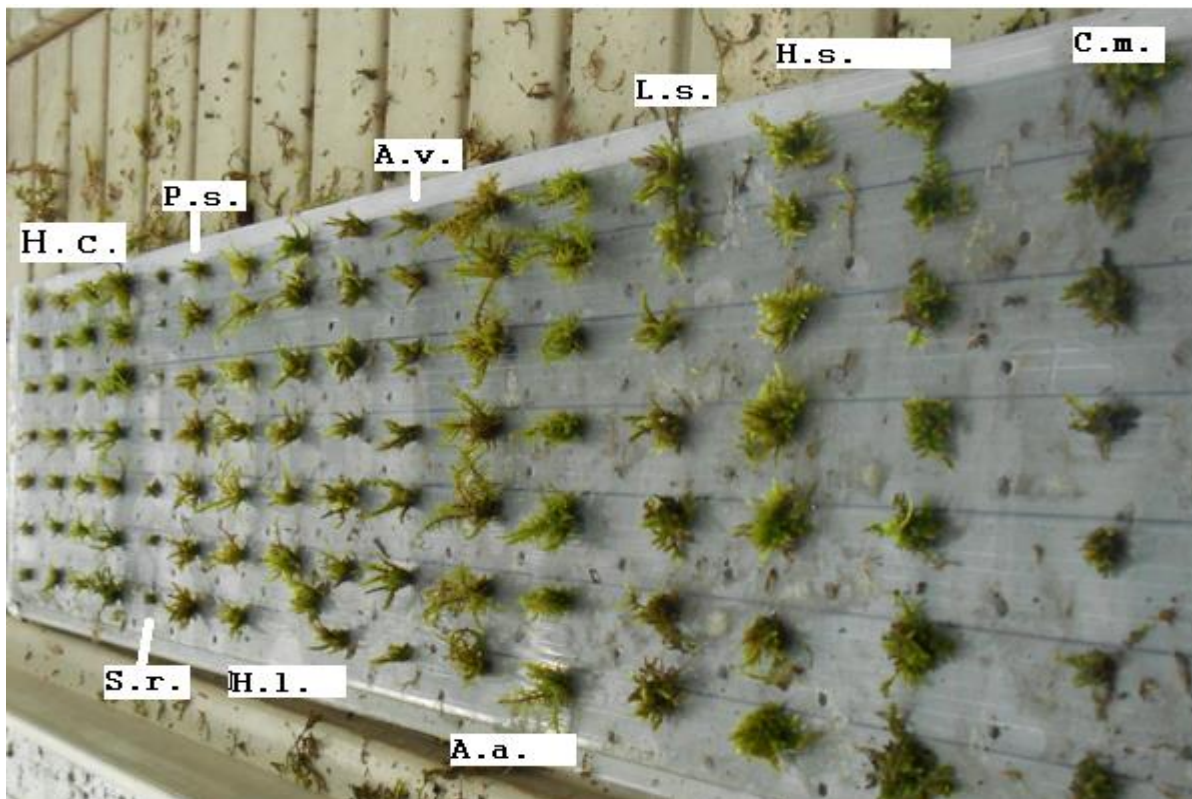


Abb. 61: Sprosshöhe der Moos-Arten. Abkürzungen: H.c. = *Hypnum cupressiforme* (4 Reihen!), S.r. = *Syntrichia ruralis*, P.s. = *Pleurozium schreberi*, H.l. *Homalothecium lutescens* (3 Reihen), A.v. = *Anomodon viticulosus*, A.a. = *Abietinella abietina* (2 Reihen), L.s. = *Leucodon sciuroides*, H.s. = *Homalothecium sericeum* (2 Reihen), C.m. = *Ctenidium molluscum*. (bearb. von: J.G.)

Der Vergleich mit anderen Projekten zeigt ähnliche Ergebnisse: GRAFSCHAFTER bezeichnete nach seinen Experimenten zum Mooswachstum von zwanzig Moosarten drei als besonders erfolgreich: *Anomodon viticulosus*, *Hypnum cupressiforme* und *Tortula muralis*. Diese konnten in seinen Bepflanzungsversuchen (BPM 2) vegetatives Wachstum sowie Jungpflänzchen hervorbringen (GRAFSCHAFTER 2007: 25).

Für zukünftige Versuche oder auch für die Praxis könnte man die Moose auch nach ihrer Toleranz gegenüber Luftschadstoffen je nach Projekt konkret auswählen. Gerade im städtischen Raum wäre es von Vorteile Moose zu verwenden, die mit den Emissionen zurechtkommen. Resistent oder zumindest unsensibel sind die verwendeten *Bryum capillare* und *Hypnum cupressiforme* sowie das Moos *Ceratodon purpureus*, für welches eine Verwendung durchaus angedacht werden könnte. Umgekehrt könnte eine Ursache für die schlechte Vitalität einiger Moose (z.B. *Leucodon sciuroides*) deren hohe Sensibilität gegenüber Schadstoffen in der Luft sein, was dieses eher ungeeignet für Begrünungen in der Stadt oder an Verkehrsflächen machen würde (ZECHMEISTER et al. 2003).

Was in Bezug auf die Eignung der Moose ebenfalls mitbedacht werden könnte, ist ihre natürliche Substratpräferenz und damit ihre Toleranz gegenüber Kalk. In Tabelle 3 wurden die verwendeten Moose nach ihrem Substrat eingeteilt. Ubiquistische und kalktolerante Moose wie *Anomodon viticulosus*, *Tortula muralis*, *Homalothecium sericeum*, *Ctenidium molluscum* und *Hypnum cupressiforme* könnten wohl auch auf Substraten mit höheren pH-Werten genutzt werden. In unserer Untersuchung konnte hier

aber kein eindeutiger, direkter Zusammenhang zwischen den eher basischen Wasserspeichersubstraten und einer gesteigerten Vitalität der calcicolen Moose gefunden werden. Nicht nur das explizit calcifuge *Pleurozium schreberi*, sondern auch viele eigentlich kalktolerante Moose konnten auf dem basischen Stockosorb nicht wachsen (Abb. 56).

4.2. BPM 1 und 3

Generell kann gesagt werden, dass sich BPM 1 (Sprosse) und BPM 3 (Polster) zwar nicht für kommerzielle Zwecke nutzen lassen, dass sie aber durchaus Sinn machen, wenn es um die Testung geeigneter Substrate oder auch um Lebensbedingungen geht.

BPM 1 (die Bepflanzung der Paneele mit ganzen Sprossen) eignet sich nicht unbedingt zur Begrünung großer Flächen, da sie nur sehr aufwendig betrieben werden kann. Der Zeitaufwand von dreißig Minuten bis zu einer Stunde je nach Paneel- und Lochgröße ist praktisch einfach nicht umsetzbar. Allerdings kann BPM 1 für weitere Testversuche zur Eignung von Moosen, Paneelen oder Substraten durchaus empfohlen werden, da Arten getrennt und gezielt bepflanzt und beobachtet werden können, und keine großen Mengen an Moosen der Natur entnommen werden müssen.

Vorrangig wichtig sind bei dieser Bepflanzungsmethode:

- a.) Passende, also eher hartsprossige, robuste, größere Moose,
- b.) die richtigen Lochgrößen,
- c.) ein nicht zu stark quellende/hygroskopische Substrat mit passendem pH-Wert (Kap. 5.5.),
- d.) sowie Zeit und Örtlichkeit für das sichere Anwachsen der Moose.

Ad. a.) Neben der Stabilität der Moose (Kap. 5.1.), spielt sicher auch die Art der Wasserleitungsmöglichkeiten der verschiedenen Moos-Arten eine große Rolle für die Vitalität auf den Paneelen. So besitzen zum Beispiel *Homalothecium* sp. einen Zentralstrang zur inneren Wasserleitung, *Hypnum cupressiforme* hat Blattflügelzellen zur Wasserspeicherung

Ad. b.) Besonders geeignet (sowohl für die Bepflanzung als auch Stabilisierung und Wasserspeicherfähigkeit der Moose) sind größere Löcher von mindestens 5mm Durchmesser. Je größer die Löcher werden, umso wichtiger wird es, die Sprosse tief einzupflanzen, damit sie besser fixiert sind. Bei größeren Lochgrößen sollten auch die eingepflanzten Stämmchen an Durchmesser zunehmen (z.B. bei 8 cm mindestens sieben Sprosse von *Homalothecium* sp. oder *Abietinella abietina* oder neun Sprosse von *Anomodon viticulosus* oder *Hypnum cupressiforme*. Ich empfehle prinzipiell pro Loch mehr als nur 1 Stämmchen zu pflanzen, weil das für die spätere Vitalität von unheimlichem Vorteil ist, da zwischen den Stämmchen Wasser gespeichert und die Verdunstung verringert werden kann.

Eine Idee, dass schwierige und manchmal mühsame Bepflanzen mit Stämmchen zwischen Metallgerüst und Fließ zu umgehen, wäre, die Stämmchen in die Löcher des Grundgerüsts einzubringen und erst

danach das Fließ darunter zu spannen und mit Substrat aufzufüllen. Dafür würden sich Teppichknüpfnadeln gut eignen.

Ad. d.) Wichtig wäre es, die Moose eine Zeit lang unter geschützten Bedingungen anwachsen zu lassen. Dies impliziert vor allem einen Schutz vor Starkregen sowie vor starker Sonneneinstrahlung speziell wenn die Moose im feuchten Zustand sind. Empfohlen wird der Herbst für eine solche Bepflanzung, da Moose im Herbst und Winter eher aktiv sind, nicht empfohlen wird der Frühling, da Moose im Sommer eher ihre Ruhephasen haben. Ebenso sollte man an Vorrichtungen gegen das rege Interesse von Krähen an den frisch gepflanzten Sprossen denken (aufhängen alter CD's oder Alu-Folien-Stücken).

Bei der Bepflanzung mit ganzen Polstern (BPM 3) halten die Moose wohl am längsten. Die Bepflanzung mit dickeren Spross-Büschelein oder Polstern hat für die Moose den Vorteil der größeren Wasserspeicherfähigkeit, dem Transpirationsschutz, sowie der gegenseitigen Beschattung bei intensiver Einstrahlung. Durch das Trennen von Moospolstern zu einzelnen Sprossen können diese Fähigkeiten verloren gehen. Geht es also um Versuche oder um die „schnelle“ Begrünung kleiner Flächen sind ganze Polster durchaus empfehlenswert. Allerdings ist diese Form der Bepflanzung für größere Flächen ökologisch einfach nicht vertretbar.

Hier hat sich das Festmachen mit Kleister meist als nicht notwendig erwiesen, da die Flächen waagrecht gelagert wurden. Für Versuche der Begrünung mit Polstern auf der Senkrechten sollten die Polster auf jeden Fall gut befestigt werden. Eine Möglichkeit ist mechanische Befestigung durch Gitter, aufnähen oder „festtuckern“. Möchte man die Moose aufkleben, gilt es den richtigen Kleber herauszufinden. Hier sollte auf den Chemismus des Klebers geachtet werden. Eine Möglichkeit ist der von uns benutzte Metylan Tapetenkleister (mehr dazu 4.3.). FRAHM (2008b) beschreibt Versuche die mit PU-Schaum, gibt aber auch deren Nachteile wie für Menschen giftige Inhaltsstoffe und die unpraktische Handhabbarkeit des Schaums an. Er empfiehlt Baukleber, hat verschiedene (nicht genannte) Fabrikate getestet und meint, dass sie keine toxische Wirkung auf die Moose hatten.

4.3. BPM 2

BPM 2 (das Anfertigen und Auftragen der Moosfragmente-Kleister-Mischung) ist von der Idee her großflächig durchaus nutzbar, jedoch hat sie bei unseren Versuchen keine wirklichen Erfolge gezeigt.

Ein Grund dafür ist, dass leider wurde ein großer Teil der Moosfragmente recht bald nach dem Bepflanzungsversuch durch Bewässerung oder Regen abgespült wurden, bevor er richtig anhaften konnte. Ein Hindernis für die erfolgreiche und schnelle Anhaftung der Moose ist sicher die glatte Oberfläche der Metall-Paneele. Ein raues Paneel wäre hier eventuell von Vorteil. Diese Vermutung kann durch die guten Ergebnisse mit der SENOVA Melaninharzplatte unterstützt werden. Ebenso könnte man die Moosfragmente direkt auf dem Fließ aufbringen und erst anschließend den Metallrahmen darüber legen. So würden erstens die Fragmente leichter und regelmäßiger verteilt werden, und man würde

zweitens so auch die unnötige Bemalung der Metallschale verhindern und drittens eine Verankerung der Moose unter dem Rahmen ermöglichen.

Die richtige Kleister-Konzentration und die ideale Moos-Kleister-Mischung sind ebenso wichtig zu beachten. Nach einigen Versuchen haben wir einen Ansatz von 125g Kleister mit 15l Wasser gewählt. Als das zum Auftragen beste Verhältnis hat sich 1:2 (Kleister zu Moose) ergeben. Im Nachhinein wäre auch eine noch geringere Verdünnung des Kleisters und eventuell ein höherer Anteil an Moosen für eine Verbesserung der Wasser- und Luftverfügbarkeit zu versuchen. Ebenso könnten die Ergebnisse von Versuchen mit höherer Kleisterkonzentration interessant sein, um herauszufinden, ob der Kleister auf die Moose toxisch wirkt. Auch könnte es interessant sein, andere Kleisterprodukte zu versuchen (speziell für Metallpaneele). In jedem Fall hat sich das Auftragen einer Fragmente-Kleister-Mischung als praktischer erwiesen, als das vorerst alleinige auflegen der Moosfragmente und anschließendes Kleistern (oder umgekehrt).

Wie bei BPM 1 sollte auch bei der Fragmente-Methode auf ein mehrwöchiges (mindestens 2 Wochen) sicheres Anwachsen geachtet werden. Einerseits bedeutet dies Schutz vor Starkregen und zu intensivem Gießen. Ebenso sollten die feuchten Moose nicht der intensiven Sonnenstrahlung ausgesetzt sein. In anderen Versuchen haben sich auch Nackt- und Weinbergschnecken als Fressfeinde der Moose-Kleister-Kombination herausgestellt. Beim Aufstellen frisch bearbeiteter Paneele sollte also auch auf den Schutz vor Schnecken geachtet werden. Auf dem Versuchsgelände in den Blumengärten Hirschstetten waren Schnecken kein Problem.

Eine Beurteilung der bei BPM 2 verwendeten Moose ist aufgrund der Erfolglosigkeit der Bepflanzung nicht möglich. Angedacht werden könnte der Einsatz von Moosen mit vegetativen Fortpflanzungsstrategien wie Bruchblättern.

Bessere Ergebnisse erzielte Robert GRAFSCHAFER (2007) in seinen Bepflanzungsversuchen. Auch er nutzte (unter anderem) Tapetenkleister, allerdings hauptsächlich auf natürlichen Substraten und war damit sehr erfolgreich. In seinen Versuchen konnten sich in der Moosfragmente-Kleister-Mischung *Protonema* entwickeln und es kam auch zu einer vegetativen Vermehrung der Fragmente. Ein Unterschied der Erfolge könnte in der Art und der Konzentration des Kleisters liegen, GRAFSCHAFER nutzte Metylan TG Instant Tapetenkleister, in unseren Versuchen kam Metylan Spezial Kleister zum Einsatz. Auch mischte er den Kleister 1:3 mit Wasser, bei unseren Versuchen war der Wasseranteil etwas geringer. GRAFSCHAFER (2007) probierte auch noch andere Bindemittel aus, wie Maisstärke, Gelee, Eiklar, Silikon und Latex. Bekannt aus dem Moosgraffiti-Kult verschiedenste Rezepte aus Mischungen von Jogurt, Buttermilch, Bier und/oder Eiern. Aus eigenen Erfahrungen kann ich leider keines der im Internet zu findenden Rezepte empfehlen.

Weitere Versuche über die optimalen Bindemittel, Mischverhältnis und Konzentration, Zerkleinerung der Moose und nutzbare Arten können hier auf jeden Fall hilfreich sein, um diese praktische Methode zur Begrünung mit Moosen nutzbar zu machen.

4.4. Trägerplatten

Der Großteil der Metall-Grundgerüste hat sich als eher schlechte Trägermaterialien ergeben. Worin der Grund der erfolglosen Bepflanzung dieser Paneele liegt, war nicht ganz klar erkennbar. Eine Erklärungsmöglichkeit könnte in der Absonderung moostoxischer Elemente aus den Trägerpaneelen oder deren Beschichtungen liegen. So sind zum Beispiel die Grundlage aller Moosvernichter (SIEBERHEIN 2009, COMPO 2016) Eisen-II- und III-Sulfate. Auch Zn-Verbindungen sind in ihrer moostoxischen Komponente bekannt. Die Abgabe dieser Verbindungen durch die Paneele oder Beschichtungen müsste untersucht werden, um eine negative Wirkung auf das Wachstum der Moose von dieser Seite ausschließen zu können. Diese Elemente könnten aber auch in den Wasserspeichersubstraten enthalten sein. Allerdings gibt es durchaus Moose die auf Metalloberflächen wachsen, zumindest wenn diese bereits am Verwittern und Rosten sind (Abb. 56).

Die Bepflanzung der Kunststoff-Paneele hat sich als völlig erfolglos herausgestellt. Ein Grund war das herausquellende Substrat und die durch das Substrat und durch Regen verursachte Auswaschung von Fragmenten und teilweise von Sprossen. Das herausquellende Substrat hat jene Sprosse, welche in den Löchern haften blieben, umschlossen. Eventuell wurde dadurch ein Kontakt mit der Luft verhindert und die Moose wurden „erstickt“. Rein ökologisch lässt sich auch die Sinnhaftigkeit von Plastikpaneelen in Frage stellen. Umgekehrt könnten vielleicht Plastikaltstoffe als Trägermaterial für Moosbegrünungen „recycelt“ werden. Plastik verwittert prinzipiell sehr langsam, würde also durch Einwirkung von Wetter und Moos nicht gleich zerstört. In den feinen Rissen können sich Protonema und später Würzelchen festhalten. Untersuchungswert wäre in diesem Zusammenhang die Sensibilität von Moosen auf die von verwitterndem Plastik abgegebenen Stoffe wie Weichmacher.

Recht erfolgreich waren die Bepflanzung der SENOVA-Platte (VF 50-54) sowie der Glasfaser- bzw. Glasschaumpaneele (VF 5-16). Bei den silikatischen Materialien könnte die Rauigkeit der Oberfläche eine entscheidende Rolle für den Erfolg spielen, ebenso kann die chemische Zusammensetzung von Glasschaum und Melaminharz geeigneter sein, als jene der metallischen Materialien. Auch die Bepflanzung der Fliese hatte einen gewissen Erfolg, was sicher auch auf die Rauigkeit der Oberfläche als auch auf ihre chemische Eignung hinweist. Allerdings hat sich ausgerechnet der Rasenteppich (VF 3) nicht gut entwickelt, obwohl Moosbewuchs auf (älteren) Rasenteppichen natürlicherweise recht häufig auftritt. FRAHM (2008b) beschreibt ebenfalls das Absterben von Moosen auf bestimmten Rasenmatten durch eventuell vorhandene Giftstoffe.

Für seine Diplomarbeit hat Robert GRAFSCHAFER (2007) experimentell das Wachstum von Moosen auf unterschiedlichen Substraten untersucht. In seinen Versuchen nutzte er zu einem Großteil natürliche

Substrate nämlich Ton, Sandstein, Granit, Kalk und Silikat sowie Beton und erlebte Erfolge mit allen Substraten in Verbindung mit dem Bindemittel Kleister. Dies kann darauf schließen lassen, dass die Metallpaneele als Substrate ungeeignet sind.

Neben dem Chemismus der gewählten Trägermaterialien sollte auch deren Oberflächenstruktur mitbedacht werden. Hier ist, egal für welche Bepflanzungsmethode eine raue Oberfläche einer glatten unbedingt vor zu ziehen. Protonema und Würzelchen benötigen zumindest feinste Strukturen um festzuwachsen und sich zu halten. Die Erfolge von SENOVA Melaninharzplatte, Glasfaserblöcken und Vliesen kann durchaus auch an deren rauer oder faseriger Oberfläche liegen, wohingegen Plastik- und Metallplatten vielleicht einfach zu glatt waren, als das sich Moose daran halten können. Direkte Vergleiche von glatter und rauer Borke gibt es und hier zeigt sich, dass auf rauer Borke Moose natürlich besser wachsen können (SONNLEITNER 2008). Das lässt natürlich vermuten, dass es sich hier um ein generelles Prinzip handelt. Eine Idee für glatte Oberflächen wäre auch der Einsatz von Drahtgittern zur Befestigung von Moosen, allerdings müssten auch diese auf schädliche Stoffe getestet werden (FRAHM 2008b).



Abb. 62: Moos und Stahl

4.5. Füllsubstrate

Die Wasserspeichersubstrate Sanoplant, Stockosorb und Geohumus haben sich in Zusammenhang mit den Bepflanzungen als eher ungeeignet erwiesen. Es gibt viele Gründe die vermutlich im Zusammenspiel gegen den Einsatz der Substrate für Moosbepflanzungen sprechen.

Erstens führte die Quellfähigkeit der Substrate oft zum Aufplatzen der Paneele oder drückte die Stämmchen aus den Löchern. Dadurch war bereits das Anwachsen der Moose schwierig bis unmöglich und auch für die vegetative Vermehrung spricht diese Mobilität des Substrates nicht wirklich.

Eine zweite Erklärung ergab sich bei der Untersuchung eines Zusammenhanges des pH-Wertes der Wasserspeichersubstrate in Bezug auf die Vitalität einzelner Moos-Arten. Dabei konnte Folgendes festgestellt werden: Das besonders basische Substrat Stockosorb (pH 7,0-8,0) konnte keinen Neuzuwachs aufweisen, ausschließlich auf ihm kam es bei den angepflanzten Moosen zu Gelbfärbungen. Eine Erklärung warum das besonders erfolgreiche *Hypnum cupressiforme* nicht erfolgreich wachsen konnte, könnte der von MANSKE (2008) für *H. cupressiforme* angegebene präferierte Rinden-pH-Wert von rund 5,1 (Spannweite 4,6-5,3) sein. Aber auch die im Gegensatz dazu eher basophilen Moose *Anomodon viticulosus* mit Werten von rund 7,2 (6,8-7,5), *Homalothecium sericeum* 6,0-7,7, *Leucodon sciuroides* 7,0-8,1 und *Abietinella abietina* 5,6-7,4 konnten sich nicht merkbar besser auf Stockosorb halten (siehe Abb. 55).

Drittens lassen Rot-, Gelb- und Braunfärbungen der Stämmchen (Abb. 57) vielleicht auch auf unbekannte, in den Produktinformationen nicht ersichtliche, für die Moose toxische Inhaltsstoffe der Substrate schließen. Diesbezüglich empfiehlt FRAHM (2001) für Gefäßpflanzen konzipierte Nährböden für die Moosaufzucht immer in geringeren Konzentrationen zu nutzen. Ebenfalls wird in den Produktinformationen der Wasserspeichersubstrate darauf hingewiesen, die Substrate der Erde unterzumischen und vor allem bei Geohumus wird davor gewarnt dieses „überzudosieren“.

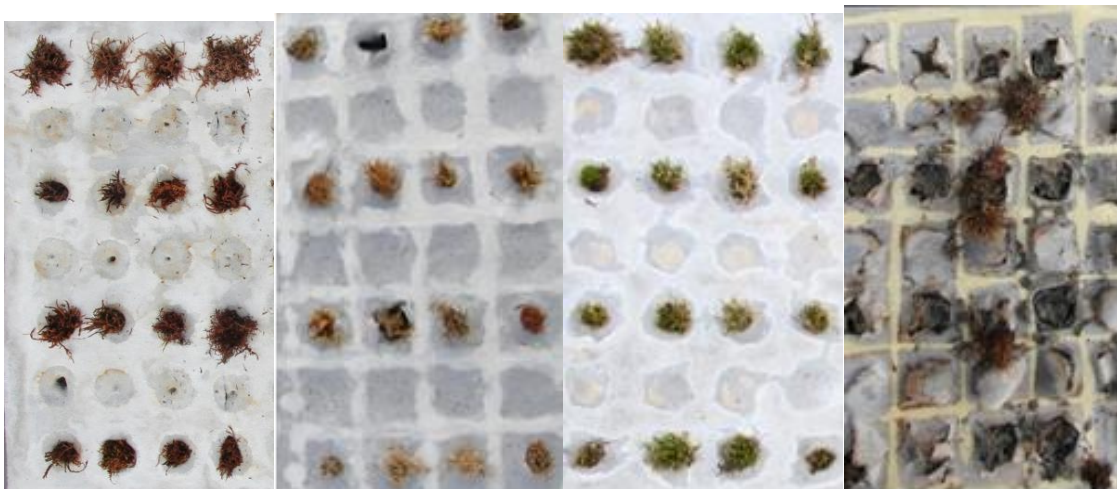


Abb. 63: Verfärbung der Polster nach Substrat (vlnr: Rotfärbung auf SA [VF:5], Gelbfärbung auf ST [VF:6], weiße Spitzenfärbung bei LT [VF:9], aufgesprungenes Substrat auf GH [VF:8].

Eine vierte Erklärungsmöglichkeit der schlechten Ergebnisse für die Wasserspeichersubstrate könnte deren Fähigkeit zur Absorption von Wasser sein. Das nachträgliche Quellen vor allem von Geohumus hat gezeigt, dass das Granulat seine Sättigung noch nicht erreicht hatte und noch weiter Wasser aufnahm. Ein Wasserentzug gegenüber den Moosen durch die Substrate kann also an sich nicht ausgeschlossen werden. Leider lassen die Angaben zu der Wasserabsorptionsfähigkeit der Substrate (für GH: 40 und für ST: 150 mL/g) keinen direkten Vergleich mit den osmotischen Potentialen der Moose zu.

Allgemein haben Laubmoose ein durchschnittliches osmotisches Potential von -1.0 und -2.0 mPa. (PROCTOR 2007: 599) wobei einige der verwendeten Moose durchaus verhältnismäßig hohe Werte aufweisen. Im Vergleich mit den anderen von PROCTOR et al. 1999 und PROCTOR 2001 angegebenen osmotischen Potentialen haben zum Beispiel *Homalothecium lutescens* (-2.08 ± 0.08), *Bryum argenteum* und *Anomodon viticulosus* (-1.65 ± 0.07) Werte im oberen Bereich auf. *Syntrichia ruralis* (-1.36 ± 0.18) weist hingegen einen Wert eher in der Mitte auf. In einer weiteren Untersuchung könnte vielleicht eruiert werden, ob die Wasserspeichersubstrate stärker hygroskopisch wirksam waren, als die Moose mit ihrem osmotischen Potential das Wasser in ihren Zellen halten konnten. In diesem Fall würden die hochkonzentrierten Substrate genau das Gegenteil ihrer Aufgabe (Verfügbarkeit von Wasser verbessern) bewirken, nämlich den Moosen sämtliches Wasser zu entziehen. Wie bereits weiter oben erwähnt, sollten die für höhere Pflanzen konzipierten Wasserspeichersubstrate der Erde untergemischt werden. Die vorhandene Erde könnte dabei auch als Wasserpuffer gedient haben, da Erde bei Trockenheit das Wasser eher abgibt als eine Pflanze. Außerdem waren die Substrate für Gefäßpflanzen gedacht, also an deren Wasseraufnahmekapazität angepasst. Die Zellen der höheren Pflanzen haben ein durchschnittliches osmotisches Potential von rund -0,7 (wobei sich dieser Wert nicht direkt auf das Wasserleitungspotential von Wurzeln übertragen lässt), also generell stärker als jenes der Laubmoose. Auf einer amerikanischen Moosbegrünungsseite (MOSS ACRES 2016) ist von einem Wasserspeichersubstrat die Rede, welche sich für Moosbegrünungen angeblich gut nutzen lässt. Es besteht aus Natrium-Polyacrylamid (HORTICULTURAL ALLIANCE 2016). Ähnlich Stockosorb (Kalium-Polyacrylamid) ist es ein künstliches Substrat. FRAHM (2008b) meint, dass es den Pflänzchen optimal Feuchte zur Verfügung stellt, solange es wassergesättigt ist, warnt aber davor, das Substrat niemals austrocknen zu lassen, da es sonst den Moosen ihr Wasser entzieht.

In diesem Zusammenhang sollte generell über die Sinnhaftigkeit von Wasserspeichersubstraten für Moospanelee, speziell für gegen vollständige Austrocknung resistente Arten wie *Syntrichia ruralis* (ABEL 1956) reflektiert werden. Auch OESAU (2011) gibt diese Art, sowie *Homalothecium lutescens* als Trockenzeiger an. Es lässt sich hinterfragen ob diese ökologische Anpassung an Austrocknung nicht besser genutzt werden sollte und ob nicht eventuell permanente Feuchte für die genutzten Moose (z.B. *S. ruralis*) vor allem in Verbindung mit heißen Temperaturen eine Gefahr darstellt. FRAHM (2008) hat hierzu mit seinen Hitzetoleranzversuchen aufzeigen können, wie Hitzeschocks bei feuchten

Moospflänzchen zu starken Verbraunungen und teilweise Absterben führte, wohingegen trockene Moose die Hitze oft ohne Probleme überstehen konnten.

Interessant aber nicht ganz unerwartet hat sich der Erfolg auf dem Substrat Lehm/Ton erwiesen. Leider wurden die Paneele mit Lehm/Ton Substrat erst gegen Ende der Bepflanzungen fertiggestellt, was eine direkte Vergleichbarkeit mit den anderen drei Substraten erschwert. Trotzdem kann ein Zusammenhang der quantitativ höheren Vitalität der Polster und Sprosse auf Lehm/Ton im Gegensatz zu den anderen Substraten erkannt werden. Das natürliche Ton/Lehm-Substrat erfüllt nicht jene, die drei künstlichen Substrate erfüllende Wasserspeicherfunktion. Trotzdem, oder vielleicht gerade deswegen hat es so gute Ergebnisse auf diesem Substrat gegeben. Interessant war das Auftreten weißgefärbter Spitzen an den Stämmchen in Zusammenhang mit dem Substrat Lehm/Ton. Eine Erklärung der Weißfärbung aufgrund des LT-Substrats müsste in weiteren Versuchen gefunden werden.

Auch hier kann man die Versuche mit denen von Robert GRAFSCHAFER (2007) vergleichen. Er nutzte auch Ton und hatte damit durchaus Erfolg. Bei ihm konnten sich vor allem die Arten *Hypnum cupressiforme*, *Tortula muralis* und *Anomodon viticulosus* auf Ton gut halten. In unseren Versuchen konnte sich nur *H. cupressiforme* halten, bei *T. muralis* und *Anomodon viticulosus* konnten wir auf Ton kein Wachstum nachweisen. Allerdings nutzen wir unser Lehm/Ton Substrat als Füllstoff in den Trägerplatten, wohingegen GRAFSCHAFER direkt auf Ton seine Bepflanzung durchführte. Und in unserem Fall war durch das späte Fertigstellen der Lehm/Ton Substrate auch nicht so ein umfassendes und langes Monitoring auf diesen Versuchsflächen möglich.

4.6. Versuchsbedingungen

Die Braunverfärbung mancher Moospolster und das teilweise Absterben (z.B. bei *Thuidium tamariscinum* und *Abietinella abietina*) bereits in der Lagerung, lässt auf Staunässe durch die Bewässerung bei gleichzeitig hohen Temperaturen im Glashaus schließen. Prinzipiell sollte auf eine Befeuchtung der Moose (egal ob in Lagerung oder nach der Bepflanzung) bei heißen Temperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung verzichtet werden. GRAFSCHAFER (2007) diskutierte nach seinen Versuchen ein ähnliches Problem. Sie hatten in wärmeren Monaten die Moose (wenn auch nur morgens und abends) bewässert was bei einigen Pflänzchen zum Absterben führte. Diese plötzliche Bewässerung bei hohen Temperaturen erscheint in Zusammenhang mit den Austrocknungsanpassungen der Moose wenig sinnvoll.

Bereits diskutiert wurde die Wichtigkeit vor allem Fragmente und Sprossen an einem von Tieren und Wetter geschützten Ort erst einmal anwachsen zu lassen, um ein sofortiges Abspülen durch Regen oder Abfressen durch Tiere zu verhindern. Bei der Aufstellung der Paneele sollte weiter auf folgendes geachtet werden: Durch horizontale Lagerung kam es bei einigen Paneelen zu einer Verdichtung des Substrates und ein Abrutschen im Paneel, wodurch die Sprosse dieses nicht mehr erreichen konnten. Bei der weiteren Beobachtung hat sich aber gezeigt, dass das auf die einzelnen Moossprosse keinen

(negativen) Einfluss hatte. Eine sofortige senkrechte Lagerung kann vor allem bei BPM 2 sowie BPM 3 nicht empfohlen werden, da vor dem Anwachsen die Gravitation gerade auf glatten Paneelen eine große Gefahr darstellt.

Leider war es aus unterschiedlichen Gründen (va. unterschiedliche Anlieferungszeiten der Trägerpaneele) nicht möglich alle Versuchsflächen in zeitgleich zu bepflanzen und so eine optimale Vergleichbarkeit herzustellen. Dies sollte in weiteren Versuchsreihen berücksichtigt werden, um zum Beispiel den Einfluss unterschiedlicher klimatischer Witterung auf die Ergebnisse ausschließen zu können.

Von der Lagerung der Moose in unbeschatteten Glashäusern ist unbedingt abzuraten. Besonders wichtig erscheint auch die Bewässerung der Moose nur bei geeigneter Witterung (kühl, bewölkt) und zur richtigen Uhrzeit (frühmorgens oder abends).

Trotz zeitweiliger Austrocknung und teilweiser Schimmelbildung konnten sich der Großteil der Moose über mehrere Monate (August bis Dezember) sehr gut und ohne Probleme im Glashaus zur Lagerung halten, wachsen und teilweise sogar Sporophyten bilden. In manchen Fällen kam es zur Braunfärbung und zum Absterben einiger Polster während der Lagerung. Konträr dazu verhielt sich die Vitalität der meisten Moosarten nach der Aufbringung auf die Versuchsflächen.

5. Conclusio und Ausblick

Im Projektantrag wurden zahlreiche Fragen aufgeworfen, welche im Rahmen der Versuchsreihen getestet wurden. Durch die intensive Beschäftigung mit der Materie und die Komplexität der Versuchsreihe konnten viele wertvolle Hinweise für künftige Arbeiten aber kaum für eine industrielle Verwertung gegeben werden. Für weitere Antworten werden weniger umfangreiche Versuchsreihen, dafür aber mit einer größeren Anzahl an gleichen Ansätzen (z.B. weniger Paneelen, weniger Substrate) von Nöten sein, um eine statistisch signifikante Auswertung zu ermöglichen. Vor allem aber sollten auch natürliche Trägermaterialien und Substrate getestet werden. Diese konnten leider in diesem Projekt von den Projektpartnern nicht zu Verfügung gestellt werden.

Als wichtigste Ergebnisse können zusammenfassend genannt werden:

- 1) Es konnten für Bepflanzungen geeignete **Moos-Arten** gefunden werden, allen voran *Homalothecium sericeum* und *H. lutescens* sowie *Hypnum cupressiforme* und *Abietinella abietina*.
- 2) Eine großflächige, industrielle **Bepflanzung** mit BPM 1 (Bepflanzung mit Sprossen) kann aus Zeitgründen nicht empfohlen werden. Diese Methode eignet sich aber für weitere experimentelle Versuchsreihen ausgezeichnet. BPM 2 (Moos-Fragmente-Kleister-Mischung) scheint hohes kommerziell verwertbares Potential zu haben. Eine Untersuchung der Eignung

verschiedener Kleisterarten und -konzentrationen, sowie geeigneter Oberflächen zur Bepflanzung erscheint notwendig. Von BPM 3 (der Bepflanzung mit ganzen Polstern) wird aus ökologischen Gründen abgeraten.

- 3) Die getesteten **Trägerpaneele** haben unterschiedliches Potential zur Begrünung mittels Moosen. Eine Eignung von Metallpaneelen für die Moosbegrünung konnte nicht nachgewiesen werden. Dafür erscheint silikatisches sowie raues Material (Fließe) potentiell geeignet.
- 4) Als **Füllsubstrat** war in unseren Versuchsreihen Lehm/Ton deutlich besser geeignet als alle anderen beprobten Wasserspeichersubstrate, welche für Moose negative (Dehydrierung) bzw. sogar toxische Wirkung haben.

Folgende Aspekte haben sich im Rahmen des Projektes als in weiterer Folge interessant ergeben:

- Untersuchung der verwendeten Paneele und Substrate auf für Moose toxische Inhaltsstoffe
- Testung von natürlichen Trägerpaneelen (z.B. Stein und Holz) mit rauer Oberfläche
- Bepflanzungen von Paneelen ohne (Wasserspeicher-) Substrate
- Vergleiche verschiedener Kleister, Konzentrationen und Fragmentationsintensitäten
- Untersuchung der Moose auf ihre Wasserleit- und -speicherfähigkeit sowie auf die von ihnen bevorzugten pH-Werte und Feuchtigkeitsmilieus unter nicht-natürlichen Bedingungen
- Testung der Wasserspeichersubstrate in anderen Konzentrationen oder in Mischung mit anderen natürlichen oder künstlichen Materialien
- Bepflanzungsmoose mit speziellen Stadtmoosen (z.B. *Ceratodon purpureus* und *Tortella inclinata*)

Zuletzt möchte ich noch einige Orte vorschlagen, an denen eine Begrünung mit Moose besonders praktisch, vorteilhaft oder wertvoll wäre.

- In unansehlichen, grauen, betonierten Innenhöfen (wie im „Neuen Institutsgebäude“ der Universität Wien),
- auf nördlich exponierten Häuser- oder Garagenwänden, Betontrennmauern in Wohnhausanlagen, auf Spielplätzen oder bei Garagenabfahrten,
- auf Dächern und Seitenwänden von Bussen und Straßenbahnen bzw. deren Stationen,
- in U-Bahn- und Schnellbahn-Trassen,
- im Kanalbett von Wienflusses, Donaukanal oder anderen städtischen Fließgewässern und
- auf den Lärmschutzwänden von Autobahnen.

6. Verzeichnisse

Alle Abbildungen die nicht mit dem Kürzel E.H. (für Ernst Heiduk) gekennzeichnet sind, wurden von mir selbst angefertigt.

Abbildungen

Abb. 1: Schematischer Überblick über die Verwandtschaftsverhältnisse von Moosen.	2
Abb. 2: <i>Syntrichia ruralis</i> : Gametophyt und Sporophyt.....	4
Abb. 3: Junger und reifer Sporophyt von <i>Syntrichia ruralis</i>	8
Abb. 4: Lebenszyklus von <i>Bryum argenteum</i>	9
Abb. 5: Blättchen von <i>Syntrichia ruralis</i>	15
Abb. 6: Eingedrehte Blättchen und typischer Polsterwuchs eines xerophytischen Mooses.....	15
Abb. 7: Wachstumsoptimaltemperaturen ausgewählter Laubmoose	18
Abb. 8: Städtische Bryotope.....	23
Abb. 9: <i>Hypnum cupressiforme</i>	25
Abb. 10: Die Moosdekoration in der Damentoilette des asiatischen Gourmet-Restaurants SHIKI.....	30
Abb. 11: Bestandteile der Paneele (E.H., bearb. J.G.).....	33
Abb. 12: Drainagefließ und Rasenteppichtextil (E.H.).....	34
Abb. 13: StoDeco Plan Platte und Glasschaum-Blöcke (E.H.)	35
Abb. 14: ALUCORE Aluminiumwabenplatte (E.H.).....	35
Abb. 15: Aluminium-Lärmschutzplatte bei der Entstehung (E.H.).....	36
Abb. 16: Aluminium- und Edelstahlbleche (E.H.).....	37
Abb. 17: Gewellte Streckmetallplatte, SENOVA-Melaninharzplatte (E.H.)	37
Abb. 18: PVC-Platte bei der Erstellung (E.H.)	38
Abb. 19: <i>Tortula muralis</i>	45
Abb. 20: <i>Syntrichia ruralis</i> s.l.....	45
Abb. 21: <i>Grimmia</i> sp.	45
Abb. 22: <i>Bryum argenteum</i>	45
Abb. 23: <i>Leucodon sciuroides</i>	46
Abb. 24: <i>Abietinella abietina</i>	46
Abb. 25: <i>Anomodon viticulosus</i>	46
Abb. 26: <i>Homalothecium lutescens</i>	46
Abb. 27: <i>Homalothecium sericeum</i>	47
Abb. 28: <i>Ctenidium molluscum</i>	47
Abb. 29: <i>Pleurozium schreberi</i>	47
Abb. 30: <i>Hypnum cupressiforme</i> Varietäten.....	47
Abb. 31: Glashaus Hirschstetten: Lagerung der Moose	49
Abb. 32: Generelles Plattenmuster	50
Abb. 33: Methode 2 auf Fließposter.....	50
Abb. 34: Pinzetten zur Bepflanzung nach BPM 1.....	52
Abb. 35: BPM 1 in Aktion (E.H.)	52
Abb. 36: Bepflanzungsmuster 1	53
Abb. 37: Bepflanzungsmuster 2 auf Kunststoff-Doppelstegplatte	53
Abb. 38: Bepflanzungsmuster 3	54
Abb. 39: Bepflanzungsmuster 4	54
Abb. 40: Kaffeemühle	56
Abb. 41: Kleister	56

Abb. 42: Verwendete Malerpinsel.....	56
Abb. 43: Moose fragmentieren.....	56
Abb. 44: Auftragen der Mischung.....	56
Abb. 45: Fragmentierte Moose.....	57
Abb. 46: Beispiel 1 für Methode 2	57
Abb. 47: Beispiel 2 für Methode 2	57
Abb. 48: Bepflanzungsmuster auf Glasschaumplatte mit Lehm/Ton-Substrat	58
Abb. 49: Auflegen ganzer Polster auf Lehm/Ton-Substrate (E.H.)	58
Abb. 50: Nördlicher Teil der Anlage (E.H.).....	59
Abb. 51: Südlicher Teil der Anlage (E.H.).....	59
Abb. 52: Anordnung der Versuchsflächen (E.H.)	60
Abb. 53: Vitalität der Sprosse auf LT-Substrat (Stand: 18.2.2015) (E.H.)	64
Abb. 54: Abgestorbene Sprosse der Kunststoff-Doppelsteg-Platten (E.H.).....	64
Abb. 55: Wachstum und Verfärbung der Sprosse nach Substraten.....	65
Abb. 56: Überlebenshäufigkeit einzelner Sprosse nach Arten und Substraten	65
Abb. 57: Vitalität der Fragmente nach Substraten	69
Abb. 58: Vitalität der Fragmente auf den Polster- und Glasschaum-Versuchsflächen	69
Abb. 59: Vitalität der Moose auf dem SENOVA-Paneel	71
Abb. 60: Polster, Fragmente und Sprosse auf der SENOVA-Platte.....	71
Abb. 61: Sprosshöhe der Moos-Arten	74
Abb. 62: Moos und Stahl.....	79
Abb. 63: Verfärbung der Polster nach Substrat.....	80

Tabellen

Tab. 1: Unterschiede von Lebermoosen, Laubmoosen und Hornmoosen.....	3
Tab. 2: Liste der bepflanzten Paneele [VF 1-41]	40
Tab. 3: Liste der bepflanzten Paneele [VF 42-65]	41
Tab. 4: Charakterisierung der Moose nach Substratpräferenz in natürlichen Lebensräumen	45
Tab. 5: Standorte der Moos-Aufsammlungen	48
Tab. 6: Ergebnisse der BPM 1: Sprosse [VF 13-32]	61
Tab. 7: Ergebnisse der BPM 1: Sprosse [VF 33-65]	62
Tab. 8: Durchschnittliche Vitalität der Sprosse nach Substraten	63
Tab. 9: Ergebnisse der BPM 2: Fragmente-Kleister-Mischung [VF 1-36]	67
Tab. 10: Ergebnisse der BPM 2: Fragmente-Kleister-Mischung [VF 37-65]	68
Tab. 11: Ergebnisse der BPM 3: Polster	70

Literatur

- ABEL, Wolfgang O. (1956): Die Austrocknungsresistenz der Laubmoose. – In: Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse, Universität Wien Abt. I, 165 (9 & 10): 619-707.
- AMMON (2016): Raumbegrünung. (online auf: <http://www.ammon.at/>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- BATES, Jeff W. (2009): Mineral nutrition and substratum ecology. – In: GOFFINET, Bernard und A. Jonathan SHAW (Hrsg.): Bryophyte Biology. – Cambridge University Press, Cambridge: 299-356.
- BECKER, Thomas (1999): Die Xerothermrassen-Gesellschaften des unteren Unstruttals und einige ökologische Gründe für ihre Verteilung im Raum. – In: Mitteilungen zur floristischen Kartierung in Sachsen-Anhalt 4: 3-29.
- BLANC, Patrick (2006): Vertical Garden Patrick Blanc. (online auf: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- BRESINSKY, Andreas, Christian KÖRNER, Joachim W. KADEREIT, Gunther NEUHAUS, Uwe SONNWALD (2008): Strasburger. Lehrbuch der Botanik. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- BROWN, D. H. (1982): Mineral Nutrition – In: SMITH, A. J. E. (Hrsg.): Bryophyte Ecology. – Chapman and Hall, London: 383-444.
- CRANDALL-STOTLER, Barbara, Raymond E. STOTLER und David G. LONG (2009): Morphology and classification of the Marchantiophyta. – In: GOFFINET, Bernard und A. Jonathan SHAW (Hrsg.): Bryophyte Biology – Cambridge University Press, Cambridge: 1-54.
- COMPO (2016): Moos im Rasen (online auf: <https://www.compo.de/de/de/pflanzenratgeber/krankheiten-schaedlinge/Moos-im-Rasen.html>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- DAVIDSON, Alison J., J. B. HARBORNE und R. E. LONGTON. (1990): The acceptability of mosses as food for generalist herbivores, slugs in the Arionidae. – In: Botanical Journal of the Linnean Society 104: 99-113.
- DIERßEN, Klaus und Barbara DIERßEN (2001): Moore. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- DURING, Hein J. (1979): Life Strategies of Bryophytes: A Preliminary Review. – In: Lindbergia 5 (1): 2-18.
- DURING, Hein J. und Bart F. VAN TOOREN (1990): Bryophyte interactions with other plants. – In: Botanical Journal of the Linnean Society 104: 79-98.

- ELT EASY GREEN (2016): Living Wall Vertical Planter. (online auf: <http://www.eltlivingwalls.com/LIVING-WALL-VERTICAL-PLANTER>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- ENZI, Vera (2010): Fassadenbegrünungen – Innovation und Chance. – Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.
- EVONIC NUTRITION & CARE GMBH (2015): Stockosorb. (online auf: <http://www.creasorb.com/product/creasorb/en/products/stockosorb/Pages/default.aspx>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- FRAHM, Jan-Peter (2001): Biologie der Moose. – Weißdorn-Verlag, Jena.
- FRAHM, Jan-Peter (2008a): Hitzeschäden an Moosen. – In: Archive for Bryology 36.
- FRAHM, Jan-Peter (2008): Begrünen mit Moosen. – Weißdorn-Verlag, Jena.
- FRAHM, Jan-Peter und Wolfgang FREY (1983): Moosflora. –Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- FRAUENHOFER-GESELLSCHAFT (2012): BryoEngineering. (online auf: <https://www.youtube.com/watch?v=3MqeSgoZ9FU>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- FURNESS, A. B. und J. P. GRIME (1982): Growth Rate and Temperature Responses in Bryophytes: II. A Comparative Study of Species of Contrasted Ecology. – In: Journal of Ecology, 70 (2): 525-536.
- GARTENPIRATEN (2011): Moosgraffiti und Schablonen D. I. Y. (online auf: <http://gartenpiraten.net/moosgraffiti-und-schablonen/>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- GEOHUMUS GMBH (2016): Geohumus. (online auf: <http://www.geohumus.com/de/produkte.html>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- GLIME, Janice M. (2007): Bryophyte Ecology. – EBook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists (online auf: <http://www.bryoecol.mtu.edu/>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- GOFFINET, Bernard, William R. BUCK, und A. Jonathan SHAW (2009): Morphology, anatomy, and classification of bryophytes. – In: VANDERPOORTEN, Alain und Bernard GOFFINET (Hrsg.): Introduction to Bryophytes. – Cambridge University Press, Cambridge: 55-138.
- GRAFSCHAFTER, Robert (2007): Experimentelles Wachstum von Moosen auf unterschiedlichen Substraten. – Diplomarbeit, Universität Wien.
- HAAS GARTEN-, DACH- UND LANDSCHAFTSBAU GMBH, Firma (2016): Fassadenbegrünung. (online auf: <http://www.haas-garten.at/fassadenbegrueung/>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- HEBRARD, J. P. (1970): Note sur la colonisation du milieu saxicole par les bryophytes. – In: Bulletin de la Société Botanique de France 117: 563-592.

- HOHENWALLNER, Daniela (2000): Bioindikation mittels Moosen im dicht bebauten Stadtgebiet Wiens. – In: Limprichtia. Zeitschrift zur Moosforschung in Deutschland 15.
- HOLZ, I., S. R. GRADSTEIN and J. HEINRICHS (2002): Bryophyte Diversity, Microhabitat Differentiation, and Distribution of Life Forms in Costa Rican Upper Montane *Quercus* Forest. – In: The Bryologist 105 (3): 334-348.
- HORTICULTURAL ALLIANCE (2016): Horta-Sorb. (online auf: <http://www.horticulturalalliance.com/products>, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- KÖCKINGER, H., C. SCHRÖCK, R. KRISAI und H. G. ZECHMEISTER (2016): Checkliste der Moose Österreichs (online auf: <http://131.130.59.133/projekte/moose/>, letzter Zugriff: 11.2016).
- LINDGREN, Astrid (1981): Ronja Räubertochter. – Verlag Friedrich Oetinger Hamburg, Stockholm.
- MÄGDEFRAU Karl (1968): Die Lebensformen der Laubmoose. – In: Plant Ecology 16 (5), 285–297.
- MÄGDEFRAU, Karl (1982): Life-forms of Bryophytes. – In: SMITH, A. J. E. (Hrsg.): Bryophyte Ecology. – Chapman and Hall, London: 45-58.
- MANZKE, W. (2008): pH-Wert an der Rindenoberfläche und Substratpräferenz epiphytischer Moose in alten Eichen-Hainbuchen-Beständen der Kinzig-Aue (Untermainebene, Hessen). – In: Archive for Bryology 30.
- MARSHALL, Mariann und Michael C. F. PROCTOR (2004): Are Bryophytes Shade Plants? Photosynthetic Light Response and Proportions of Chlorophyll a, Chlorophyll b and total Carotinoids. – In: Annals of Botany 94: 593-603.
- MOSS ACRES (2016): Moss-tac. (online auf: http://store.mossacres.com/water_retention_gel_s/1835.htm, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- OESAU, Albert (2011): Beiträge zur Moosflora des Naturschutzgebietes “Ölberg Wöllstein” (Rheinhessen, Rheinland-Pfalz). – In: Archive for Bryology 109.
- OLIVER, Melvin J. (2009): Biochemical and molecular mechanisms of desiccationj tolerance in bryophytes. In: GOFFINET, Bernard und A. Jonathan SHAW (Hrsg.): Bryophyte Biology. – Cambridge University Press, Cambridge: 269-298.
- OLIVER, Melvin J., Jeff VELTEN und Andrew J. WOOD (2000): Bryophytes as experimental models for the study of environmental stress tolerance: *Tortula ruralis* and desiccation-tolerance in mosses. – In: Plant Ecology 151: 73-84.
- PROBST, Wilfried (1986): Biologie der Moos- und Farnpflanzen. – Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg, Wiesbaden.

- PROCTOR, M. C. F (1982): Physiological Ecology: Water Relations, Light and Temperature Responses, Carbon Balance. – In: SMITH, A. J. E. (Hrsg.) Bryophyte Ecology. – Chapman and Hall, London: 333-382.
- PROCTOR, Michael C. F., (1990): The physiological basis of bryophyte production. – In: Botanical Journal of the Linnean Society 104: 61-77.
- PROCTOR, Michael C. F. (2009): Physiological ecology. – In: GOFFINET, Bernard und A. Jonathan SHAW (Hrsg.): Bryophyte Biology. – Cambridge University Press, Cambridge: 237-268.
- PROCTOR, Michael C. F., Zoltán NAGY, Zsolt CSINTALAN and Zoltán TAKÁCS (1998): Water-content components in bryophytes: analysis of pressure-volume relationships. – In: Journal of Experimental Botany 49 (328): 1845-1854.
- PROCTOR, Michael C. F., Melvin J. OLIVER, Andrew WOOD , Peter ALPERT, Lloyd R. STARJ, Natalie L. CLEAVITT und Brent D. MISHLER (2007): Desiccation-tolerance in bryophytes: a review. – In: The Bryologist 110 (4): 595-621.
- PUNZ, Wolfgang, Manfred ENGENHART und Rosemarie SCHINNINGER (1986): Zur Vegetation einer Eisenerzschlackenhalde bei Leoben/Donawitz. – In: Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins Steiermark 116: 205-210.
- RENZAGLIA, Karen S., Juan C. VILLARREAL and R. Joel DUFF (2009): New insights into morphology, anatomy, and systematics of hornworts. – In: GOFFINET, Bernard und A. Jonathan SHAW (Hrsg.): Bryophyte Biology. – Cambridge University Press, Cambridge: 139-172.
- RICHARDSON, D. H. S. (1981): The Biology of Mosses. – Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne.
- RYDIN, Hakan (2009): Population and community ecology of bryophytes. – In: GOFFINET, Bernard und A. Jonathan SHAW (Hrsg.): Bryophyte Biology. – Cambridge University Press, Cambridge: 393-444.
- SANOWAY GMBH (2016): Sanoplant. (online auf: http://www.sanoway.com/german/overview_sanoplant.php, letzter Zugriff: 20.11.2016).
- SIEBERRHEIN, Klaus (2009): Moosbekämpfung im Rasen. – In: Information des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie: Gartenakademie.
- SMITH, A. J. E. (1982): Epiphytes and Epiliths. – In: SMITH, A. J. E. (Hrsg.) Bryophyte Ecology – Chapman and Hall, London: 191-228.

- SMITH, Richard M., Ken THOMPSON, Philip H. WARREN und Kevin J. GASTON (2010): Urban domestic gardens (XIII): Composition of the bryophytes and lichen floras and determinants of species richness. – In: *Biological Conservation* 143: 873-882.
- SONNLEITNER, Michaela (2008): Einfluss mikroklimatischer Faktoren auf das Vorkommen epiphyller Moose im Unterwuchs des Esquinas Regenwaldes, Costa Rica. – Diplomarbeit der Universität Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2013): Arten der Anhänge II, IV und V der FFH-Richtlinie in Österreich: Referenzliste und Bewertungen 2007 und 2013 (online auf: http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/naturschutz/ffh_richtlinie/, letzter Zugriff: 11.2016).
- ZECHMEISTER, Harald (1992): Die Vegetation auf Flachdächern von Großbauten aus der Jahrhundertwende. – In: *Tuexenia* 12: 307-314.
- ZECHMEISTER, Harald G., Krystyna GRODZIŃSKA und Grazyna SZAREK-ŁUKASZEWSKA (2003): Bryophytes. – In: MARKERT, B.A., A.M. BREURE, H.G. ZECHMEISTER: *Bioindicators and biomonitors. Principles, concepts and applications*. – Elsevier Verlag, Michigan: 329-376.

Anhang

- Deutsche Zusammenfassung
- Abstract in english
- Lebenslauf

Zusammenfassung

Das Ziel der von August 2014 bis Mai 2015 durchgeführten Bepflanzungsversuche im Rahmen des BeMoFa-Projekts war die Sondierung geeigneter Fassadenpaneele, die Auswahl brauchbarer Moosarten sowie die Testung unterschiedlicher Methoden für eine mögliche kommerzielle Bepflanzung. Die dahinterstehende Idee ist die Möglichkeit einer vertikalen Bepflanzung von Gebäudefassaden, welche ohne komplizierte Bewässerungsmechanismen auskommen und bei welchen durch das Pflanzenwachstum keine Schäden an der Fassade entstehen. Insgesamt 43 verschiedene Paneele welche sich hinsichtlich Gerüst- und Füllmaterial, sowie Lochgröße unterschieden wurden von der TU Wien zur Verfügung gestellt. Bepflanzt wurden diese Platten mit 12 verschiedenen Moosen nach drei Techniken. Einerseits wurden einzelne Stämmchen mittels Pinzetten in die dafür vorgesehenen Löcher der Lochplatten eingebracht, andererseits wurden sie in Form einer Moosfragmente-Kleister-Mischung auf die Paneele aufgetragen. Zuletzt wurden auch ganze Moospolster auf bestimmten Paneelen aufgelegt.

Ein Großteil der genutzten Paneele stellte sich aufgrund des Träger- als auch des Füllmaterials als ungeeignet heraus, als erfolgversprechend können die SENOVA®-Melaninharzplatte sowie die Fließ- und Rasenpolster angesehen werden. Alle drei Bepflanzungsmethoden weisen Vor- und Nachteile auf: Die Bepflanzung mit ganzen Polstern scheint auf den ersten Blick erfolgversprechend, lässt sich ökologisch jedoch nicht vertreten, da stets ganze Polster der Natur entnommen werden müssten. Das Einbringen einzelner Stämmchen in die Lochplatten ist für eine kommerzielle Nutzung viel zu arbeitsaufwändig und eignet sich nur für Testverfahren. Das Aufbringen der Moosfragmente-Kleister-Mischung hat das größte Potential da die Methode einfach, schnell und ökologisch vertretbar ist, jedoch können auch hier Kleisterart, Mischverhältnissen und Moosarten noch variiert und die Methode verbessert werden. Von den ausgewählten Moosen waren die meisten gut geeignet, als besonders herausragend zeigten sich *Homalutecium lutescens*, *Homalothecium sericeum*, *Abietinella abietina* und *Hypnum cupressiforme*.

Abstract

The Aim of the planting investigations as part of the BeMoFa-project, which was carried out from August 2014 to May 2015, was firstly the exploration of suitable façade boards, secondly the selection of useful mosses and thirdly the testing of different methods for possible commercial planting. The underlying idea is the possibility of vertical façade planting that works without watering systems and does not damage the wall.

43 different boards, diverse in framework, filling material and in hole size, were provided by TU Vienna. 12 different mosses were planted onto the boards by using three different planting methods. As a first planting method (BM 1) individual moss stems were placed into the boards' holes via tweezers. BM 2 worked by distributing the moss-fragment-paste-mixture onto the boards. BPM 3 was applying whole moss pads to particular panels.

A large part of the used boards was not suitable because of framework and filling. SENOVA®-Melaninharzplatte showed good results and the cushions seem to be promising. Of these three planting methods, planting individual stems cannot be recommended, because it is too much work for commercial use and considering the ecological factor, the usage of whole pads is also not advisable. The mossfragment-paste-mixture seems to bear the most promising potential, but can also be varied in paste, mixture ratio and moss species. The mosses we had chosen were all suitable. Worth mentioning mosses are the particularly outstanding *Homalothecium lutescens*, *Homalothecium sericeum*, *Abietinella abietina* and *Hypnum cupressiforme*.

Persönliche Daten

Vorname Judith
Nachname Gätz
Geburtsdatum 08.10.1990
Geburtsort Wien
Adresse Linzerstraße 300/8
A-1140 Wien
Telefonnummer 0664 88 60 41 47
E-Mail a0907547@unet.univie.ac.at
Judith.gaetz@univie.ac.at

Familie

Mutter Christa Gätz-Thurnher; Geschäftsführerin Firma ALCO Wintergärten
Vater Norbert Gätz; Biologielehrer am BORG 3 Landstraße
Bruder Gabriel Gätz; Studierender der Universität Wien (Meteorologie)
Bruder Matthias Thöny, Doktorant der ETH Zürich (Informatik)

Ausbildung

1997 – 2001 Volksschule Karl-Toldt-Weg, 1140 Wien
2001 – 2005 AHS Goethe-Gymnasium Astgasse, 1140 Wien
2005 – 2009 Borg 1, Hegelgasse 12, 1010 Wien
10. Juni 2009 Maturaabschluss mit gutem Erfolg

Studienverlauf

2009W Bachelorstudium Philosophie, Bildungswissenschaften (abgebrochen)
2010S Bachelorstudium Physik (abgebrochen)
2009W – 2011S Bachelorstudium Biologie (abgebrochen)
2010W Lehramtsstudium Biologie & Umweltkunde und Deutsch (abgebrochen)
2011S – 2016W Lehramtsstudium Biologie & Umweltkunde und Geographie & Wirtschaftskunde

Studienschwerpunkte

- Ökologie (Limnologie, Moore)
- Spezielle Botanik (Algen, Moose)
- Erdwissenschaften (Paläontologie, Geologie, Geoökologie)

Titel der Diplomarbeit:

Versuche zur Begrünung von Gebäudefassadenpaneelen mit Moosen

Auslandsaufenthalte zu Studienzwecken

4.-18. September 2010	Inselkeeping für die Meeresschule Pula Pflege einer Insel-Außenstation der Meeresschule Pula in Kroatien (Abteilung Meeresbiologie der Karl-Franzens-Universität Graz) und Betreuung von und „biologisches Forschen“ mit SchülerInnen-Gruppen.
27. März - 3. April 2015	Exkursionen in Madeira Privat organisierte Exkursionen mit botanischen, ökologischen und geologischen Schwerpunkten geführt von lokalen Guides.
1.-31. Februar 2016	Projektpraktikum Costa Rica Vom Institut für Botanik und Biodiversitätsforschung unter mit J. Schöneberger, V. Meyer und A. Weber zum Thema „Tropenbotanik und Pflanze-Tier-Interaktionen“.
16. März – 17. April 2016	Auslandsexkursion Nepal Vom Institut Geographie und Regionalforschung der Universität Wien unter Leitung von Prof. Dr. Ronald Pöpl zum Thema „Geomorphologie, Geoökologie und Naturgefahren“.

Fremdsprachen

- Englisch fließend
- Französisch und Spanisch Grundkenntnisse

Beruflicher Werdegang

- **Promotionarbeit**

auf den Messen „*Bauen und Energie*“ und „*Wohnen und Interieur*“ in den Jahren 2008, 2009, 2010 und 2011 für die Internetplattform WOHN.NET und die Firmen ALCO Wintergärten und SCHUBERT Steinböden.

- **Praktika und Urlaubsvertretung**

im Büro der Firma ALCO von 2006 bis 2014. Hier Tätigkeiten im Bereich Empfang, Sekretariat, Buchhaltung, Einkauf, Promotion und Kundenbetreuung.

- **Angestellt als Fotografin**

im August 2011 bis September 2012 beim Wiener Riesenrad im Fotoshop (fotografieren der Besucher des Wiener Riesenrades und Verkauf der Bilder).

- **Praktikum**

Im September 2012 Praktikum bei ED: HÖLZEL GesmbH Nfg KG mit der Aufgabe des Korrekturlesens von Schulbüchern und des Erstellens eines Online-Schulatlas.

- **Organisation und Durchführung der ÖFA-Camps**

je 1 Woche in den Sommern 2013, 2014 und 2015. (Ökologisches Forschungs- und Abenteuercamp für Kinder zwischen 7 und 13 Jahren).

- **Tutorin**

von 2013 bis 2016 an der Universität Wien für „*Theorie und Praxis der Fachdidaktik in Biologie & Umweltkunde*“ sowie „*Diversität, Organisation und Biologie der Tiere*“ mit hauptsächlichlichen Tätigkeiten im Bereich von Organisation und der Betreuung der Lernplattform.

- **Privatlehrerin**

Seit September 2013 (bezahlt durch den „*Fonds Soziales Wien*“) bei einem körperlich beeinträchtigten Schüler in den Fächern Biologie & Umweltkunde sowie Geographie & Wirtschaftskunde.

Studienbezogene Auslandsaufenthalte in Costa Rica (Februar) und Nepal (März, April) im Sommersemester 2016.