



# Schlussbericht zum Thema

Torfmoos-Biomasse (*Sphagnum sp.*) und Grünschnitt-  
Kompost aus Landschaftspflegemaßnahmen als  
Komponenten zur Entwicklung einer neuen Generation  
von nachhaltig produzierten gärtnersichen Substraten

**FKZ: 2812NA109; 2812NA125**

**Projektnehmer: Humboldt-  
Universität zu Berlin; Torfwerk  
Moorkultur Ramsloh Werner  
Koch GmbH & Co. KG**

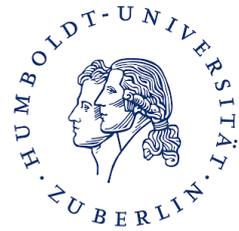
Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung  
und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des  
Deutschen Bundestages im Rahmen des  
Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere  
Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische und nachhaltige Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖLN-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn in die Praxis umgesetzt. Das Programm untergliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder, den Forschungs- und den Informationsbereich.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter  
[www.bundesprogramm.de](http://www.bundesprogramm.de)

**Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:**

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft  
Deichmanns Aue 29  
53179 Bonn  
Tel: 0228-6845-3280  
E-Mail: [boeln@ble.de](mailto:boeln@ble.de)



Humboldt-Universität zu Berlin  
Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften  
FG Urbane Ökophysiologie der Pflanzen  
Prof. Dr. Dr. Christian Ulrichs  
Lentzeallee 55/57  
14195 Berlin

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung  
Referat 312  
Deichmanns Aue 29  
53179 Bonn

### **Abschlussbericht** (zu Nr. 3.1 BNBest-BMBF 98)

Förderkennzeichen: 2812NA109 (Humboldt-Universität zu Berlin)  
2812NA125 (Torfwerk Moorkultur Ramsloh)

Geschäftszeichen: 312-06.01-2812NA109  
312-06.01-2812NA125

Projekt: Torfmoos-Biomasse (*Sphagnum* sp.) und Grünschnitt-Kompost aus Landschaftspflegemaßnahmen als Komponenten zur Entwicklung einer neuen Generation von nachhaltig produzierten gärtnerischen Substraten

Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2015 – 30.06.2018  
01.02.2015 – 31.01.2018

Projektleitung: Prof. Dr. Dr. Christian Ulrichs

Verfasser: Stefan Irrgang (Humboldt-Universität zu Berlin)  
Armin Blievernicht (Humboldt-Universität zu Berlin)  
Silke Kumar (Torfwerk Moorkultur Ramsloh)

Gefördert durch:



**BÖLN**

Bundesprogramm Ökologischer Landbau  
und andere Formen nachhaltiger  
Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis	1
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>7</b>
<b>1. Einführung</b>	<b>8</b>
1.1 Gegenstand des Vorhabens	8
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts,	10
1.2.1. Wissenschaftliche Ziele	10
1.2.2. Technische Ziele	10
1.3 Planung und Ablauf der Projekts	10
<b>2. Wissenschaftlicher und technischer Stand</b>	<b>11</b>
<b>3. Material und Methoden</b>	<b>15</b>
3.1. Versuchspflanzen	15
3.2. Verwendete Substrate	16
3.2.1. Kontrollsubstrate	16
3.2.2. <i>Sphagnum</i> -Kultursubstrate (Eigenmischungen)	16
3.2.3. <i>Sphagnum</i> -Biomasse	16
3.2.4. Kompost	17
3.2.5. Sonstige Zuschlagstoffe und Substratbestandteile	17
3.4. Bewässerung	18
3.5. Düngung	18
3.6. Physikalische und chemische Analysen	19
3.7. Keimpflanzentests	19
3.8. WOK-Analyse (RHP)	19
3.9. Phänotypisierung	20
3.9.1 Analoge Phänotypisierung	20
3.9.2. Digitale Phänotypisierung	20
3.9.3 Nasschemische Analytik	21
<b>4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse</b>	<b>21</b>
4.1. Substratversuche mit Baumschulkulturen	21
4.1.1. <i>Malus x domestica</i> 'Maypole'	21
4.1.2. <i>Malus x domestica</i> 'Karneval'	22
4.1.3. <i>Malus x domestica</i> 'Roter Herbstkalvill'	22
4.1.4. <i>Potentilla fruticosa</i> 'Goldkissen'	23

4.1.5. <i>Hydrangea paniculata</i> 'Kyushu'	24
4.1.6. <i>Pyracantha coccinea</i> 'Red Column'	25
4.1.7. <i>Thuja occidentalis</i>	25
4.1.8. <i>Thuja occidentalis</i> 'Malonyana'	26
4.1.9. <i>Thuja occidentalis</i> 'Columna'	27
4.1.10. <i>Rhododendron x hybrida</i> 'Gomer Waterer'	27
4.1.11. <i>Rhododendron x hybrida</i> 'Scintillation'	28
4.1.12. <i>Rhododendron x hybrida</i> 'Hachmanns Feuerschein'	29
4.1.13. <i>Calluna vulgaris</i> 'Marlies' - 2016	29
4.1.14. <i>Calluna vulgaris</i> - 2017	30
4.2. Substratversuche Zierpflanzenkulturen	31
4.2.1. <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Cosmo Red' - 2015	31
4.2.2. <i>Bidens ferrulifolia</i> 'Bidy Gonzales'	32
4.2.3. <i>Impatiens Neuguinea</i> Hybride 'Pettycoat Blue'	32
4.2.4. <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Viking Red' - 2016	33
4.2.5. <i>Zinnia elegans</i> 'Benary's Riesenlimette'	34
4.2.6. <i>Capsicum annuum</i> 'Feher'	35
4.2.7 <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Premium Ice Crystal'	36
4.3. Kompostierung	37
4.3.1. Kompostierung von Grünschnitt aus Landschaftspflegemaßnahmen	37
4.3.2. Kompostierung von <i>Sphagnum</i> -Biomasse	38
4.4. Physikalische Parameter	39
4.5. WOK-Analyse	40
4.6. Bestimmung des Wassergehalts	40
4.7. Einflussfaktoren auf die Substrat-Physik	40
4.7.1. <i>Sphagnum</i> -Art	40
4.7.2. Fragmentgröße	41
4.7.3. Topfprozess	41
4.8. Keimpflanzentests	41
4.8.1. Keimpflanzentests SBM Anbaufläche Hankhausen	41
4.9. Phytotoxische Inhaltsstoffe	41
4.10. Wasseranalytik	44
<b>5. Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>44</b>
5.1. Substratversuche	44
5.1.1. Baumschulversuche	44
5.1.2. Zier- und Gemüsepflanzenversuche	46
5.2. Kompostierung	47
5.2.1. Kompostierung von Grünschnitt aus Landschaftspflegemaßnahmen	47
5.2.2. Kompostierung von <i>Sphagnum</i>	47
5.3. WOK-Analyse	47
5.4. Substratphysik	48

5.5. Phytotoxische Inhaltsstoffe	48
<b>6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.</b>	<b>49</b>
<b>7. Gegenüberstellung der geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.</b>	<b>49</b>
<b>8. Zusammenfassung</b>	<b>50</b>
<b>9. Literaturverzeichnis</b>	<b>51</b>
<b>10. Veröffentlichungen</b>	<b>52</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung/Definition</b>
MOKURA	Torfwerk Moorkultur Ramsloh
SBM	<i>Sphagnum</i> -Biomasse
SKS	<i>Sphagnum</i> -Kultursubstrat
HU	Humboldt-Universität zu Berlin
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
RAL	RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.
PP	Projektpartner
ICL	Israel Chemicals Ltd.
VNOP	Volumenbasierter Nährerungswert der oberirdischen Pflanzenteile
LZD	Langzeitdünger

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung Nr.</b>	<b>Inhalt der Abbildung</b>	<b>Seite</b>
1	Formeln für die Berechnung des volumenbasierten Nährerungswerts der oberirdischen Pflanzenteile	
2	Die Fotos zeigen jeweils die Südseite der Wurzelballen von <i>Potentilla fruticosa</i> 'Goldkissen' Ende September 2016 in den verschiedenen Substraten a: Kontrollsubstrat, b: BS 85, c: BS 75.	
3	Anzahl der abgängigen Pflanzen der Sorte 'Cosmo Red' während des Poinsettia-Versuchs 2015	
4	Blattlausbefall im Versuch mit <i>Impatiens</i> -Neuguinea Hybride 'Pettiecoat Blue'. Die Pflanze links im SKS zeigt keinerlei Befall, während die Pflanze rechts unmittelbar daneben einen sehr starken Befall aufweist.	
5	Beispiele für Symptome aufgrund von allelopathischen Effekten an den Versuchspflanzen	
6		

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle Nr.</b>	<b>Tabelleninhalt</b>	<b>Seite</b>
1	Übersicht zu den im Projekt untersuchten gärtnerischen Kulturen	15
2	Im Projekt verwendete <i>Sphagnum</i> -Kultursubstrat-Mischungen.	16
3	Innerhalb des Projektes verwendete <i>Sphagnum</i> -Herkünfte	17
4	Stadt-/Trinkwasserzusammensetzung am Standort der Versuchsdurchführung in Berlin	18

5	Methodenübersicht zur Bestimmung der Makro- und Mikronährstoffe in den Substraten	19
6	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Malus X domestica</i> Sorte 'Maypole'	21
7	Zuwachs der Sorte 'Karneval' ( <i>Malus x domestica</i> ) zwischen Mai und November 2016	22
8	Wachstumsleistung der Sorte 'Karneval' ( <i>Malus x domestica</i> ) bis Oktober 2017	22
9	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für die Sorte 'Roter Herbstkalvill' ( <i>Malus x domestica</i> ) bis November 2016	23
10	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für die Sorte 'Roter Herbstkalvill' ( <i>Malus x domestica</i> ) bis einschließlich Oktober 2017	23
11	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Potentilla fruticosa</i> 'Goldkissen'.	24
12	Mittelwerte der Wachstumsparameter für <i>Hydrangea paniculata</i> 'Kyushu'.	24
13	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Pyracantha coccinea</i> 'Red Column'.	25
14	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Thuja occidentalis</i> (Art).	26
15	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Thuja occidentalis</i> 'Malonyana'.	26
16	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Thuja occidentalis</i> 'Columna'.	27
17	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Rhododendron x hybrida</i> 'Gomer Waterer'.	28
18	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Rhododendron x hybrida</i> 'Scintillation'.	28
19	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Rhododendron x hybrida</i> 'Hachmanns Feuerschein'.	29
20	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Calluna vulgaris</i> 'Marlies'. Kultivierung Fa. Graf's.	29
21	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Calluna vulgaris</i> 'Marlies'. Kultivierung Standort Dahlem (Humboldt-Universität zu Berlin).	30
22	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Calluna vulgaris</i> Sorte 'Sandy'.	30
23	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Euphorbia pulcherrima</i> Sorte 'Cosmo Red'.	31
24	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Bidens ferrulifolia</i> 'Bidy Gonzales'.	32
25	Mittelwerte für die erfassten Wachstumsparameter für die <i>Impatiens Neuguinea-Hybride</i> 'Pettycoat Blue'.	33
26	Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für <i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Viking Red' bei Versuchsende.	34
27	Anzahl gekeimter Pflanzen von <i>Zinnia elegans</i> 'Benary's Riesenlimette' 21 Tage nach Aussaat.	34
28	Mittelwerte für die Anzahl der Blätter, Blüten(/-knospen) und Seitentriebe sowie den Wachstumsindex 40 Tage nach Aussaat.	35

29	Mittelwert für Trockengewicht (in g) und Wassergehalt (in %) zum Zeitpunkt der Abschlussbonitur von <i>Zinnia elegans</i> 'Benary's Riesenlimette' (50 Tage nach Aussaat).	35
30	Anzahl gekeimter Pflanzen von <i>Capsicum annuum</i> 'Feher' 21 Tage nach Aussaat.	36
31	Mittelwerte für Blattanzahl, Knospenanzahl und Wachstumsindex von <i>Capsicum annuum</i> 'Feher' 40 Tage nach Aussaat.	36
32	Mittelwerte für Trockengewicht (g) und Wassergehalt (%) von <i>Capsicum annuum</i> 'Feher' 50 Tage nach Aussaat.	36
33	Physikalische Eigenschaften von SKS 85 (FIN-Sph.), SKS 85 (HANK-Sph.) und KD Rez. 590 nach DIN EN 13041, Methode Naaldwijk und Torf-Rohstoffprüfung	39
34	Mittels HPLC-Analytik nachgewiesene Phenolsäuren in <i>Sphagnum</i> -Biomasse.	42

## Kurzfassung

Das Projekt untersuchte erfolgreich die Produktion und Verwendbarkeit von *Sphagnum*-Kultursubstraten (Abk. SKS) für Baumschul- und Zierpflanzenkulturen. Als Mischungspartner für die *Sphagnum*-Biomasse (Abk. SBM) wurde Grünschnitt-Kompost aus Landschaftspflegemaßnahmen verwendet. Die SBM stammte von Versuchsanbauflächen in Hankhausen (Niedersachsen) und Ernteflächen in Westfinnland.

Die SBM wurde zu 75, 85 und 90 Volumen-Prozent verwendet. Es wurden Sorten der Gattung *Rhododendron* und der Arten *Thuja occidentalis*, *Malus x domestica*, *Pyracantha coccinea*, *Potentilla fruticosa*, *Hydrangea panniculata*, *Calluna vulgaris*, *Bidens ferrulifolia*, *Impatiens* Neu-Guinea-Hybriden, *Zinnia elegans*, *Euphorbia pulcherrima* und *Capsicum annum* getestet. Die Entwicklung der Baumschulkulturen in SKS wurde über zwei Vegetationsperioden beobachtet. Dabei konnten wichtige Erfahrungen im Umgang mit den SKS gewonnen werden. Das im Vergleich zu Torf geringere Volumengewicht führt zu einer schnellen und guten Durchwurzelung in den SKS. Dies kann in bestimmten Kulturen mit einer Verkürzung der Kulturdauer verbunden sein. Um eine möglichst hohe Wasserkapazität zu erreichen, sollten SKS feucht getopft werden. Das Material sackt beim Topfen besser und es wird eine höhere Schüttdichte im Topf erreicht. Bei Freilandkulturen wird die Verwendung von hellen Topffarben empfohlen. Dunkle oder schwarze Töpfe absorbieren die Wärmestrahlung besser und können in SKS schneller zu einer starken Aufheizung der Topfrandbereiche und damit möglicherweise zu einer Schädigung der Wurzeln führen.

Die Kombination von Grünschnittkompost und *Sphagnum*-Biomasse erzielte im Vergleich zu den jeweiligen Torfkultursubstraten in der Mehrzahl der Fälle gleichwertige oder bessere Ergebnisse. Damit bestätigen sich die positiven Erfahrungen mit SKS auch für Baumschulkulturen. Für einen flächendeckenden Einsatz von SKS im Gartenbau steht eine Standardisierung der Rohstoffqualität aus. Dabei müssen die Artenzusammensetzung (enthaltene *Sphagnum*-Arten) sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften klar charakterisierbar sein. Die Analyse der physikalischen Parameter stellte klar die Bedeutung der Bestimmung des Wassergehalts für eine exakte Volumenermittlung heraus. Eine verlässliche Echtzeit-Bestimmung des Wassergehalts wird als Grundvoraussetzung für eine exakte Herstellung von Substrat-Mischungsverhältnissen postuliert. Für die Verwendung von SBM in Substraten sollte in Zukunft standardmäßig auch der Gehalt an wasserlöslichen Phenolsäuren und *Sphagnum*-Säure berücksichtigt werden.

# 1. Einführung

## 1.1 Gegenstand des Vorhabens

Im Erwerbsgartenbau wird der überwiegende Teil der verwendeten gärtnerischen Substrate aus dem Rohstoff Torf hergestellt. Die Torfvorkommen an Weißtorf in Mittel- und Westeuropa sind nahezu erschöpft und liegen in Deutschland mittlerweile unter landwirtschaftlich genutzten Flächen, da der Torfabbau seit 30 Jahren nicht mehr auf natürlichen oder naturnahen Moorflächen genehmigt wird (niedersächsisches Moorschutzprogramm Teil I, II; 1981, 1986, Neubewertung 1994). Der Abbau verlagert sich immer weiter in Richtung Osten, wobei auch hier die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Torfe nicht unbegrenzt ist, weil der Abbau in diesen Gebieten nur auf ehemals sowjetischen Abbauf Flächen genehmigt wird und natürliche Moore unter Schutz gestellt wurden. In Deutschland liegen die größten noch bestehenden Torfabbauggebiete in Niedersachsen. Nach dem mehrjährigen Ernteverfahren erfolgt auf den meisten Flächen eine Renaturierung/Vernässung der Abbauf Flächen. Dadurch werden vor allem der Landwirtschaft in Niedersachsen Flächen entzogen. Das birgt Konfliktpotential. Jedoch führt auch eine anschließende Wiedervernässung der Moore nicht immer zur Etablierung der ursprünglichen Flora und Fauna. Zusätzlich emittieren sowohl entwässerte Moorböden (Flächen unter Torfabbau, landwirtschaftlich und forstwirtschaftlicher Nutzung; naturnahe Flächen mit zu tiefen Wasserständen) als auch der geerntete Torf bei seiner Zersetzung für die Klimagasbilanz relevante Gase. Der über Jahrtausende in der nur unvollständig zersetzten Pflanzenmasse gespeicherte Kohlenstoff gelangt in Form von Kohlenstoffdioxid, Lachgas und Methan in die Atmosphäre und trägt damit zur Klimaerwärmung bei.

Nach aktuellen Erkenntnissen einer Studie von E. Schmatzler werden die Torfflächen, für die aktuell Genehmigungen in Deutschland vorliegen, in den nächsten 5 bis 15 Jahren weitgehend abgebaut sein. Hinzu kommt ein restriktives Genehmigungsverfahren der zuständigen Behörden in Bezug auf die Freigabe neuer Abbauf Flächen. Für den Projektpartner **Torfwerk Moorkultur Ramsloh (MOKURA)**, der derzeit auf ca. 600 ha Fläche Torfabbau betreibt und dort etwa 500.000 m<sup>3</sup> Torf pro Jahr abbaut, wird sich diese Menge in den nächsten Jahren auf etwa 350.000 m<sup>3</sup> reduzieren. Dieser Rückgang setzt sich kontinuierlich fort, so dass davon ausgegangen werden kann, dass im Jahr 2035 die genehmigten Abbauvorkommen nahezu erschöpft sein werden. Dementsprechend sind Alternativen zur Existenzsicherung des Unternehmens und seiner Mitarbeiter unumgänglich. Diese Entwicklung betrifft nicht nur **MOKURA**, sondern auch sämtliche anderen Betriebe, deren Existenzgrundlage der Torfabbau in Deutschland ist.

Seit dem Jahr 2007 wird an der **Humboldt-Universität zu Berlin (HU)** daran gearbeitet, einen neuartigen Torfersatzstoff zu etablieren. Torfmoos (*Sphagnum*) – wichtigster Ausgangsstoff der nacheiszeitlichen Torfentstehung – besitzt als getrocknete Pflanze ähnliche Eigenschaften wie Weißtorf. Die Idee besteht darin, *Sphagnum*-Biomasse (SBM) als Substratausgangsstoff in professionellen gärtnerischen Substraten zu etablieren. Dafür müssen einerseits Verfahren zur Produktion von großen Mengen an qualitativ hochwertiger *Sphagnum*-Biomasse entwickelt werden, andererseits müssen aus der geernteten Frischmasse unter Beteiligung verschiedener Zuschlagstoffe praktikable und leistungsfähige

Substrate für den Erwerbsgartenbau entwickelt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sollten im Projekt zwei Schwerpunkte untersucht werden.

Der erste Schwerpunkt beinhaltet die Entwicklung und Testung eines Kultursubstrates für den Erwerbsgartenbau, das folgenden Anforderungen genügt:

- ❖ Mindestens gleich hohe Wachstumsleistung der darin kultivierten Pflanzen wie in konventionellen, auf dem Hauptbestandteil Torf basierenden Substraten
- ❖ Frei von Unkrautsamen (entsprechend der Richtlinien der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.); erfordert Forschungsbedarf in Bezug auf die Hygienisierung der Torfmoos-Frischmasse aus der Freilandkultur
- ❖ Standardisiertes Produkt mit definierten Schwankungsbereichen der enthaltenen Inhaltsstoffe (u. a. Salzgehalt) entsprechend der RAL Gütesicherung RAL-GZ 252 „Kultursubstrate“ der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen

Der zweite Projektschwerpunkt fokussierte auf die Erzeugung von in standardisierter Qualität hergestellter Grünschnitt-Komposte bzw. auf die Erarbeitung eines Input- und Maßnahmenkatalogs. Dieser sollte die Voraussage von Qualitätseigenschaften von Grünschnitt-Komposten auf Grundlage von Basisdaten (Ausgangsstoffmengen, Qualitäten, Mischungsverhältnisse, Zeitpunkte des Prozessbeginns) ermöglichen. Der Projektpartner **Mokura** betreibt auf den von ihm verwalteten ehemaligen Torfabbauf Flächenmanagement in Form von Mahd. Dies wirkt einer Verbuschung der Flächen entgegen und sorgt für den Erhalt typischer Feuchtwiesenfauna und -flora. Der dabei anfallende Grünschnitt besteht größtenteils aus Sauergräsern und Ericaceen. Dieses Material ist als Viehfutter ungeeignet, aber als Ausgangsmaterial für Grün-Kompost geeignet.

Die Verbindung der Eigenschaften von Kompost (hohe Wasserkapazität und vergleichsweise hoher Nährstoffgehalt) und *Sphagnum*-Biomasse (hohe Luftkapazität, strukturstabil, geringer pH, praktisch keine Nährstoffe enthalten) können eine völlig von Torf losgelöste, neue Richtung der Substratentwicklung einleiten. Die Forschung, die Substratindustrie und der Gartenbau suchen seit etwa 20 Jahren nach einem geeigneten Ersatzstoff für Torf. Bislang führten diese Bemühungen nicht zur Identifikation eines gleichwertigen Ersatzrohstoffs. Das Potenzial für die Etablierung dieser neuen gärtnerischen Erden ist vorhanden, die Akzeptanz auf dem Markt sowohl im professionellen Gartenbau als auch den Endverbrauchern wird mit dem zunehmenden Nachweis der Leistungsfähigkeit der Substrate und dem Hinweis auf die regionale und nachhaltige sowie ökologisch verträgliche Erzeugung der Ausgangsstoffe erreicht werden.

## 1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts,

### 1.2.1. Wissenschaftliche Ziele

- ❖ Nachweis der Lagerfähigkeit von *Sphagnum*-Kultursubstraten ohne Qualitätsverlust über Lagerzeiträume, die in der Substratwirtschaft bzw. bei der Verwendung in gartenbaulichen Produktionsbetrieben typisch sind
- ❖ Erstellung eines Kompostierungsprotokolls, welches Qualität und Quantität der einzusetzenden Ausgangsstoffe sowie die technische Durchführung des Kompostierungsvorgangs enthält (Zeitpunkt, Dauer, Umsetzungsvorgänge) mit dem Ziel, ein standardisiertes Kompost-Produkt zu erhalten
- ❖ Entwicklung einer *Sphagnum*/Kompost-Substratmischung für den Erwerbsgartenbau
- ❖ Nachweis der Pflanzenverträglichkeit der Substratmischung
- ❖ Nachweis der Leistungsfähigkeit der Substratmischung in Bezug auf das Pflanzenwachstum und im direkten Vergleich mit konventionellen Torf-Substraten
- ❖ Nachweis einer geringen Stickstoffimmobilisierung im *Sphagnum*/Kompost-Substrat

### 1.2.2. Technische Ziele

- ❖ Lösung des Problems der Unkrautsamenbelastung der Torfmoos-Frischmasse durch Entwicklung eines Verfahrens zur Torfmoos-Hygienisierung durch Dampfbehandlung
- ❖ Entwicklung eines Kompostierungsverfahrens unter besonderer Berücksichtigung der verwendeten Ausgangsstoffe (Nassflächen-/Moorvegetation)
- ❖ Optimierung des Ernteverfahrens der Ausgangsstoffe für die Kompostierung im Hinblick auf die Bodenbeschaffenheit und Verlängerung des möglichen Erntezeitraumes im Jahr

Die dargestellten Ziele adressieren besonders den Aspekt der nachhaltigen Erzeugung von landwirtschaftlichen Produkten. Dies betrifft zunächst die Substratrohstoffe *Sphagnum*-Biomasse und Grünschnitt-Kompost als vollständig nachwachsende Rohstoffe. Die *Sphagnum*-Produktion wird derzeit als nasse Bewirtschaftung (Paludikultur) auf Moorböden praktiziert. Dies verhindert effektiv den oxidativen Torfschwund auf diesen Standorten und die damit verbundene Freisetzung von klimarelevanten Gasen. Parallel werden durch die Substitution von Torf dessen Abbau und die negativen Folgen für die betroffenen Standorte gemindert und naturräumliche Ressourcen geschützt. Ebenso wird durch die nasse Bewirtschaftung das im Torf über lange Zeiträume akkumulierte CO<sub>2</sub> nicht in die Atmosphäre freigegeben. Die Etablierung und Weiterentwicklung der *Sphagnum*-Produktion stellt eine Weiterentwicklung landwirtschaftlicher Nutzungssysteme dar und mindert auf Moorbodenstandorten den Zielkonflikt zwischen einer Nutzungsnotwendigkeit und dem Schutz von Boden und Umwelt.

## 1.3 Planung und Ablauf der Projekts

Entgegen der ursprünglichen Planung des Projekts mussten aufgrund unvorhersehbarer Entwicklungen innerhalb der Substratversuche Änderungen am zeitlichen Umfang der Versuche und thematische Erweiterungen vorgenommen werden. Die zunächst verwendete

*Sphagnum*-Herkunft aus Hankhausen (Niedersachsen, Ernte Juni 2015) bewirkte zu Beginn der Substratversuche Schäden an den Versuchspflanzen. Mit dem Auftreten der Pflanzenschäden musste eine Untersuchung der Ursachen eingeleitet werden und Ersatz für den ausgefallenen Rohstoff gefunden werden. Dies gelang mit dem Einsatz einer finnischen *Sphagnum*-Herkunft. Damit konnten die Substratversuche weiter durchgeführt werden. Die Suche nach der stofflichen Ursache für die aufgetretenen allelopathischen Effekte bedingte zusätzliche Arbeiten im Bereich der Probennahme (Wasser und Pflanzenmaterial am Produktionsstandort in Hankhausen) sowie der Probenaufarbeitung und -analytik. Im Ergebnis führten diese zu wertvollen Erkenntnissen für die weitere Verwendung von *Sphagnum* als hochwertigem Rohstoff für den Gartenbau.

## 2. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Bis heute ist Torf nicht zu ersetzen, wenn es darum geht, qualitativ hochwertige Substrate für den Erwerbsgartenbau zu produzieren. In der Europäischen Union werden jährlich etwa 29 Millionen Kubikmeter Torf für die Produktion von gärtnerischen Substraten verbraucht. Das Naturprodukt Torf besitzt viele gewünschte physikalische, chemische und biologische Eigenschaften für die Verwendung als Substrat, die sich bislang in keinem anderen Material finden ließen. Daher ist es nicht überraschend, dass Torf immer noch der wichtigste und mengenmäßig am meisten verwendete Rohstoff für die Substratindustrie ist. Der prozentuale Anteil in allen Substraten, die in der Europäischen Union jährlich produziert werden, liegt bei ca. 80 % (Altmann 2008). Torffreie Substrate spielen nur eine geringe Rolle in der industriellen Produktion. Ungeachtet dessen wächst der Markt für diese Substrate (Schmilewski 2009).

Obwohl Torf grundsätzlich ein nachwachsender Rohstoff ist, muss darauf hingewiesen werden, dass die Geschwindigkeit des Abbaus in keinem Verhältnis zu den Akkumulationsraten steht. Torfakkumulation fand und findet fast ausschließlich in lebenden Hochmooren statt. Im Durchschnitt kann man davon ausgehen, dass die Torfschicht jährlich um nur einen Millimeter wächst. Im Vergleich dazu werden auf Torfabbauflächen pro Jahr etwa zehn cm Torf geerntet; das entspricht der Menge Torfakkumulation von einem Jahrhundert. Die Frage, ob Torf ein nachwachsender oder fossiler Rohstoff ist, wird von Experten unterschiedlich beantwortet. Gerne wird das Argument angeführt, dass so viele Flächen weltweit vorhanden sind, dass rechnerisch mindestens genau so viel Torf akkumuliert wie abgebaut wird. Wenn man sich jedoch die aktuelle Lage ansieht, muss man feststellen, dass die Torfvorkommen in West- und Mitteleuropa nahezu erschöpft sind und sich der Torfabbau immer weiter ostwärts verlagert. Zu Beginn jeder Nutzung ist bisher eine Entwässerung des vorher bestehenden Hochmoores notwendig, der oberste Bodenhorizont, die sogenannte Bunkerde, wird abgetragen, und danach erfolgt land- oder forstwirtschaftliche Nutzung sowie Torfabbau. Dies führt zu Veränderungen bis hin zum vollständigen Verlust der ursprünglichen Hochmoorflora und -fauna, inklusive dem Verlust der durch das Biotop erbrachten Ökosystemdienstleistungen. Die während der Torfbildung akkumulierte CO<sub>2</sub>-Menge wird im Zuge der Nutzung wieder freigesetzt. Diese zusätzliche CO<sub>2</sub>-Quelle kann bei stetig steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalten in der Atmosphäre nicht im Sinne eines nachhaltigen Wirtschaftens im Gartenbau sein. Sie sollte, wenn irgend möglich vermieden werden.

Derzeit wachsen in Forschung und Industrie die Bestrebungen, eine Nutzung von *Sphagnum* als Alternativprodukt zum Torf zu forcieren. Das Interesse besteht international und wird durch die bereits erzielten, viel versprechenden Ergebnisse bezüglich einer *Sphagnum*-Produktion und der Verwendung von *Sphagnum*-Frischmasse als Substratausgangsstoff gestützt. Zurzeit gibt es mehrere Ansätze für die Torfmooskultivierung und -nutzung. In England begann 2010 das MoorLIFE-Projekt. Im Projekt sollen bis zum Jahr 2015 ca. 800 ha devastierte Moorfläche rekultiviert werden. Dazu werden neben anderen moortypischen Pflanzen hauptsächlich Torfmoose verwendet, die von der Micropropagation Services (BM) Ltd. produziert und vertrieben werden (Beadamoss 2013). Mit dem Beginn der UK Peat Campaign im Jahr 1999 sollte der Markt für gärtnerischen Torf in Großbritannien deutlich begrenzt und Aktivitäten zur Rekultivierung von Hochmooren angeregt werden. Die Vorgaben der Regierung waren u.a., bis zum Jahr 2010 die Torfverwendung um 90 % zu reduzieren (Alexander et al. n.d.). Dieses Ziel konnte allerdings noch nicht erreicht werden, da qualitativ mit Torf vergleichbare Substratalternativen in den benötigten Mengen noch nicht zur Verfügung stehen. In der Schweiz ist der Torfabbau seit 1987 verboten. Dennoch werden jährlich bis zu 150.000 Tonnen Torf importiert. Um die dadurch in den Herkunftsländern entstehenden Umweltschäden zu vermeiden, hat im Dezember 2012 der Schweizerische Bundesrat ein Torfausstiegskonzept vorgelegt, dass in einem mehrphasigen Prozess den vollständigen Ausstieg aus der Torfnutzung vorsieht (Schweizerische Eidgenossenschaft 2012). In Litauen wurde kürzlich die spezifische Steuer für natürliche Ressourcen (darunter Torf) um das 5,3-fache erhöht. Laut einer Studie der „Lietuviskos Durpes Peat Enterprise Associatiion“ (2011) wird das in der Folge zu einem Rückgang des Torfabbaus um 20 bis 30 % führen. Der finnische Energie-Konzern Vapo stellte kürzlich Versuche zur Entwicklung einer Methode zur maschinellen Ernte von *Sphagnum* am natürlichen Standort vor. Hintergrund ist die Verwendung der geernteten *Sphagnum*-Biomasse als Substratbestandteil. Die Ergebnisse zeigten, dass die *Sphagnum*-Erntetechnologie eine großmaßstäbige Nutzung der finnischen Moore möglich macht, die für andere Nutzungsformen wie Forstwirtschaft nicht geeignet sind. Der Vorteil dieser Methode ist, dass das *Sphagnum* nach der (nur teilweisen) Ernte wieder austrieb und weiterwuchs und damit auch nur minimale Eingriffe in das dann immer noch intakte Ökosystem notwendig waren (Reinikainen et al. 2012). In den USA soll mit dem „veriflora“-Standard sichergestellt werden, dass u. a. die Substratproduktion neuen gesellschaftlichen Standards entspricht. Diese Zertifizierung sieht vor, nur solche Substrate zu zertifizieren, die – neben weiteren Kriterien – nachhaltig produziert worden sind. Besonders wird darauf hingewiesen, dass der Schutz des Bodens weltweit – insbesondere der Moorflächen – eine besondere Bedeutung hat, da der darin enthaltene Kohlenstoff 82 % des gesamten terrestrischen Kohlenstoffgehalts ausmacht (SCS Global Services 2012). Der Schutz dieses Kohlenstoffspeichers dient unmittelbar der Vermeidung einer weiteren Verschärfung der globalen Klimaerwärmung.

So erhalten beispielsweise in Kanada produzierte Torf-Substrate nur eine Zertifizierung, wenn der Torf-Produzent den Nachweis erbringt, verhältnismäßig zu der abgetorften Moorfläche entsprechende Ausgleichs- und damit Rekultivierungsmaßnahmen durchgeführt zu haben. Für diese Maßnahmen wurde federführend durch die „Canadian Sphagnum Peat Moss Association“ und das „New Brunswick Department of Natural Resources and Energy“ ein „Restoration Guide“ entwickelt, der im Wesentlichen *Sphagnum* als wichtigsten Bestandteil einer Rekultivierungsmaßnahme identifiziert (Quinty and Rochefort 2003). Damit

geht eine kommerzielle Nutzung von *Sphagnum* für entsprechende Rekultivierungsmaßnahmen einher. Der irische Torfproduzent Board na Móna produziert auf 80.000 ha Moorfläche jährlich etwa 4 Millionen Tonnen Torf für den Energiemarkt und die Substratindustrie in Irland. In Kenntnis der erfolgreichen Anwendung der Rekultivierungstechnik in Nordamerika und Europa wird bei Board na Móna derzeit die Möglichkeit des Einsatzes von *Sphagnum* in der Rekultivierung abgetorfter Moore untersucht, mit dem Ziel, einerseits die Vorgaben für Rekultivierungsmaßnahmen einzuhalten und andererseits neue kommerzielle Anwendungen in tiefer abgetorften Mooren zu generieren (Ryan et al. 2012). Klasmann-Deilmann als führender Substrathersteller hat in den vergangenen Jahren selbst *Sphagnum*-Anbauversuche auf eigenen Flächen unternommen. Dabei zeigte sich, dass für einen ertragsoptimierten Anbau noch verschiedene kulturtechnische Fragestellungen zu beantworten sind.

Auf besonders feuchten und nassen Flächen bietet die Paludikultur („Nass-Anbauverfahren“) in mehrfacher Hinsicht Vorteile. Moorflächen können ihre Funktion als bedeutende natürliche Kohlenstoffsenke nur dann erfüllen, wenn diese wassergesättigt sind. Dies steht einer herkömmlichen landwirtschaftlichen Nutzung entgegen (Acker, Hochmoorgrünland). Um diese Flächen nicht für eine kommerzielle Nutzung zu verlieren und gleichzeitig den noch vorhandenen Torfspeicher zu schonen, stellt die Paludikultur einen zu favorisierenden Kompromiss zwischen Moorschutz und Moornutzung dar. Bei der durchzuführenden Landschafts- und Produktionsflächenpflege fallen größere Mengen an Nassflächengrünschnitt an. Dieses Material vergrößert die Ausgangsmengen für die Kompostherstellung. Besonders auf Hochmoorgrünland und auch bei der *Sphagnum*-Produktion stellt sich das Problem eines verstärkten Auftretens verschiedener Binsen-Arten als unerwünschte Begleitflora. Die Mahd und anschließende Verwertung als Kompost-Ausgangsstoff kann demnach gleichzeitig zwei Probleme lösen (Pfleßmaßnahme und Erhöhung der zur Verfügung stehenden Grünschnitt-Mengen für die Kompostierung). Das zu entwickelnde Verfahren der Kompostierung inklusive der im Vorfeld durchzuführenden Arbeiten (Festlegung Schnitzeitpunkt, „Ernteverfahren“) ist ohne Weiteres auf andere Feucht- oder Nassflächen in Deutschland möglich.

Die Substratindustrie hat für bestimmte Pflanzenfamilien bzw. sogar für einzelne Arten und Sorten eine große Anzahl spezifisch angepasster Kultursubstrate entwickelt und bietet diese auf dem Markt an. Diese Substrate sind das Ergebnis jahrzehntelanger Erfahrungen und Forschungsarbeit. Diese Forschungsarbeit muss auch für neu zu entwickelnde Substrate erfolgen, um eine mindestens gleich große Leistungsfähigkeit beim Pflanzenwachstum zu erzielen und damit die Akzeptanz bei den Erwerbsgartenbauern zu erreichen. Alle derzeit verfügbaren Zuschlagstoffe können nicht in beliebiger Menge in Substraten verwendet werden. Es bestehen zumeist niedrige prozentuale Maximalwerte für die Beimischung. Sie können damit nicht als Substrat-Hauptbestandteil eingesetzt werden. Rohstoffe wie Kokosfasern oder Kokosmehl können nicht in größerem Umfang zugemischt werden. Erstens ist beispielsweise die Nutzung von Kokosfasern bzw. Kokosmehl als potenziell gut geeigneter Torfersatzstoff aufgrund der langen Transportwege hinsichtlich der Ökobilanz (CO<sub>2</sub>-Freisetzung durch aufgewendete Transportenergie) als kritisch zu bewerten, gleichzeitig liegen die Einkaufspreise für diese Kokosprodukte deutlich über denen von Torf und sind damit bei einem größeren Einsatz nicht konkurrenzfähig. Zweitens steht die

Nutzung von Nebenprodukten der Holz verarbeitenden Industrie als Substratzuschlagstoff in Konkurrenz zur Energiegewinnung [EEG geförderte Biogaserzeugung, Feststoffverbrennung oder thermochemischen Vergasung von Biomasse; Substratbonus von 2,5 Cent je kWh für Rinde und Waldrestholz, (EEG 2012, BiomasseV 2012)]. Rindenumus und Holzfaser als mögliche Zuschlagsstoffe stehen mit abnehmender Tendenz zur Verfügung, da die genannte Nutzung von Holz und Rinde zunimmt (Meinken 2010). Hinzu kommt, dass diese Zuschlagstoffe nur Beimischungen in Substraten sein können; aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften ist es nicht möglich, diese als Substrat-Hauptbestandteil einzusetzen.

Im Vergleich zu *Sphagnum*-Biomasse besitzt Kompost eine deutlich höhere Wasserkapazität, bessere Wiederbenetzbarkeit und auch eine deutlich höhere Schüttdichte. Eine Mischung aus großen Anteilen *Sphagnum* und geringen Anteilen von Kompost (10 - 30 %, v:v) kann Wasserkapazität und die Schüttdichte erhöhen. Damit würde eine Verbesserung der Standfestigkeit der Pflanzen im Container einhergehen. Gleichzeitig würden geringe prozentuale Anteile von Kompost im Substrat nicht zu erhöhten Salzgehalten oder einer übermäßigen Nährstoffanreicherung führen.

Hinsichtlich der Inhaltsstoffe schwanken die Eigenschaften von Grünschnitt-Kompost qualitativ und quantitativ sehr stark. Dies gilt sowohl im jahreszeitlichen Verlauf (unterschiedlich hohe Inhaltsstoffkonzentration in Abhängigkeit vom physiologischen Status der Pflanze) als auch bezogen auf regionale Herkunft und Mischungsverhältnis der organischen Abfälle (holzige und krautige Bestandteile). Die Entwicklung eines Protokolls zur Herstellung eines Kompostes kann dazu beitragen, die Qualitätseigenschaften des Kompost-Produktes in hohem Maße zu standardisieren und damit dem Erwerbsgartenbau (in Verbindung mit *Sphagnum*-Biomasse) ein zuverlässiges und leistungsfähiges Substrat zur Verfügung zu stellen.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Versuchspflanzen

Im Projekt wurde eine breite Palette verschiedener Baumschulkulturen in Kombination mit *Sphagnum*-Kultursubstraten untersucht. Die breite Streuung sollte eine Aussage für möglichst viele Kulturansprüche möglich machen. In Tabelle 1 werden alle im Projekt verwendeten Arten und Sorten sowie die Dauer der Versuche dargestellt. Neben den Baumschulkulturen wurden auch Zierpflanzenarten kultiviert, um die in vorangegangenen Projekten begonnene Substratentwicklung fortzusetzen.

Tabelle 1: Übersicht zu den im Projekt untersuchten gärtnerischen Kulturen.

<b>Baumschulkulturen</b>	Kulturdauer/-zeitpunkt
<i>Rhododendron</i> x hybrida 'Gomer Waterer'	2015 bis 2017
<i>Rhododendron</i> x hybrida 'Scintillation'	2015 bis 2017
<i>Rhododendron</i> x hybrida 'Hachmanns Feuerschein'	2015 bis 2017
<i>Pyracantha coccinea</i> 'Red Column'	2015 bis 2017
<i>Potentilla fruticosa</i> 'Goldkissen'	2015 bis 2017
<i>Hydrangea paniculata</i> 'Kyushu'	2015 bis 2017
<i>Thuja occidentalis</i>	2015 bis 2017
<i>Thuja occidentalis</i> 'Malonyana'	2015 bis 2017
<i>Thuja occidentalis</i> 'Columna'	2015 bis 2017
<i>Malus x domestica</i> 'Karneval'	2015 bis 2017
<i>Malus x domestica</i> 'Roter Herbstkalvill'	2015 bis 2017
<i>Malus x domestica</i> 'Ballerina Maypole'	2015 bis 2017
<i>Calluna vulgaris</i> 'Marlies'	Saison 2016
<i>Calluna vulgaris</i> 'Athene'	Saison 2017
<i>Calluna vulgaris</i> 'Hilda'	Saison 2017
<i>Calluna vulgaris</i> 'Sandy'	Saison 2017
<i>Calluna vulgaris</i> 'Alicia'	Saison 2017
<b>Zierpflanzen</b>	
<i>Bidens ferrulifolia</i> 'Bidy Gonzales'	2016
<i>Impatiens</i> Neu-Guinea-Hybride 'Petticoat Blue'	2016
<i>Zinnia elegans</i> 'Benary Riesen Limette'	2017
<i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Viking Red'	2015 und 2016
<i>Euphorbia pulcherrima</i> 'Premium Ice Crystal'	2017
<b>Gemüsepflanzen</b>	
<i>Capsicum annuum</i> 'Feher'	2017

## 3.2. Verwendete Substrate

### 3.2.1. Kontrollsubstrate

Als Referenzsubstrate wurden kulturspezifisch angepasste Rezepturen der Hersteller Klasmann-Deilmann GmbH und Floragard-Vertriebs GmbH ausgesucht. Damit standen für die Vergleiche mit den neu entwickelten *Sphagnum*-Kultursubstraten bewährte Standardmischungen aus den jeweiligen Bereichen zur Verfügung.

Baumschulversuche:

Rezeptur Nr. 266 (Sodenweißtorf (0-25 mm), Weißtorf (10-25 mm), K GreenFibre, Durchfrorener Schwarztorf); Tongranulat; pH 5,2; ohne Aufdüngung; Spurenelemente)

Baumschulversuche - Rhododendron:

Rezeptur Nr. 933 (Lithuanian Peat Moss - Spezial Azerka; Sodenweißtorf (5-15 mm), Sodenweißtorf (10-25 mm), Weißtorf (0-25mm); kein Ton; pH 3,0 bis 3,5; ohne Spurenelemente)

Zierpflanzen- und Gemüseversuche:

Rezeptur Nr. 590 (Durchfrorener Schwarztorf, Weißtorf (0-25 mm), Sodenweißtorf (10-25 mm), Torffasern; Ton; pH 5,5; Aufdüngung 1,5 g/l; extra Spurenelemente)  
Floradur(R)POT Cyclamen-Poinsettia Rezeptur Nr. 11291 (pH-Wert 5,6; Salzgehalt 1,2 g/l)

### 3.2.2. *Sphagnum*-Kultursubstrate (Eigenmischungen)

Die verwendeten *Sphagnum*-Kultursubstrate wurden jeweils selbst hergestellt. Die Rohstoffe (*Sphagnum*-Biomasse und Kompost) wurden vom Projektpartner MOKURA bezogen. Für die Herstellung der Mischungen wurde ein Betonmischer verwendet um eine gleichmäßige Durchmischung der Komponenten zu gewährleisten. Die in Tabelle 2 dargestellten Mischungsverhältnisse wurden für die jeweiligen Versuche um die benötigten Zuschlagstoffe ergänzt. Dazu gehörten neben der Aufkalkung auch Ton und Dünger.

Tabelle 2: Im Projekt verwendete *Sphagnum*-Kultursubstrat-Mischungen.

Bezeichnung	Mischungsverhältnis in Vol.-%
SKS 75	75 : 25; <i>Sphagnum</i> -Biomasse : Kompost
SKS 85	85 : 15; <i>Sphagnum</i> -Biomasse : Kompost
SKS 90	90 : 10; <i>Sphagnum</i> -Biomasse : Kompost
SKS 100	„Extremvariante“ ohne Kompost für Poinsettia-Versuch 2016

### 3.2.3. *Sphagnum*-Biomasse

Die für die SKS verwendete *Sphagnum*-Biomasse stammte aus zwei Herkünften. Es handelte sich um Material von der Produktions-Pilotfläche in Hankhausen/Niedersachsen (PP MOKURA) und Material aus einem Erntegebiet bei Aitoneva/Finnland. Die niedersächsische Herkunft wurde zunächst favorisiert, weil sie von der derzeit größten *Sphagnum*-Produktionsfläche in Deutschland stammt und damit exemplarisch für das derzeit favorisierte Anbauverfahren für SBM steht. Das Material von der Teilfläche BW

bestand hauptsächlich aus *Sphagnum fallax* und unterschied sich damit von der SBM der anderen beiden Teilflächen. Es wurde nach der Ernte kompostiert. Aufgrund der in den ersten Versuchen innerhalb des Projekts beobachteten, unerwarteten Probleme mit Material von diesen Flächen musste auf eine zweite Herkunft zurückgegriffen werden. Diese stammte von Ernteflächen in Finnland (Gebiet um Aitoneva). Dort werden gestörte Hochmoorflächen in einem mehrjährigen Turnus beerntet. Dies stellt ein mit Waldbewirtschaftung vergleichbares System dar und lässt eine mehr oder weniger naturnahe Nutzung dieser Flächen für die *Sphagnum*-Gewinnung zu. Die Arten-Zusammensetzung der verwendeten Herkünfte unterscheidet sich stark (vgl. Tabelle 3) und führt zu Unterschieden bei den physikochemischen Eigenschaften. Die finnische Herkunft wurde bei MOKURA über ein Sternsieb prozessiert und so in eine feinere und eine gröbere Fraktion getrennt. Die SBM-Herkunft Ramsloh wurde in den Praxisversuchen mit *Calluna* in 2016 bei Fa. Grafhs und in 2017 bei Fa. Scheper verwendet.

Tabelle 3: Innerhalb des Projektes verwendete *Sphagnum*-Herkünfte

Herkunft	Enthaltene <i>Sphagnum</i> -Arten
Hankhausen (Niedersachsen/Deutschland)	
Teilfläche BW	<i>Sph. fallax</i>
Teilfläche I	<i>Sph. palustre/papillosum, Sph. fimbriatum</i>
Teilfläche II	<i>Sph. palustre/papillosum</i>
Ramsloh (Niedersachsen/Deutschland)	<i>Sph. papillosum</i>
Aitoneva (Prov. Westfinland/Finnland)	<i>Sph. fuscum, Sph. rubellum</i>

### 3.2.4. Kompost

Im Projekt wurde durchgehend Grünkompost aus einer Charge verwendet (interne Bezeichnung "Miete 18"). Der Kompost wurde bei MOKURA hergestellt. Er bestand in einem Verhältnis von 75 : 25 aus Mähgut und Baum- und Strauchschnitt. Das Mähgut stammte von den betriebseigenen extensiven Hochmoorgrünlandflächen im "Jammertal". Die Zusammensetzung der Pflanzenarten auf diesen Flächen wurde im Rahmen einer Vegetationsaufnahme im Juni 2015 erfasst. Die Zugabe von Strukturmaterial (Baum- und Strauchschnitt) war notwendig, um das ungünstige C:N-Verhältnis des Mähguts zu verbessern. Zusätzlich sorgte es für eine verbesserte Sauerstoffversorgung innerhalb der Kompostmiete.

Laut Analyse erfüllte der Kompost die Qualitätsanforderungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. 2007 für Substratkompost. Eine Ausnahme bildete der Wassergehalt. Dieser lag mit 53,9 % über dem angestrebten Maximalwert von 45 Gew.-% für lose Ware. Der pflanzenverfügbare Kaliumgehalt von 2128 mg/l Frischmasse führte zu einer Einstufung als Substratkompost Typ 2. Dieser sollte mit maximal 20 Vol.-% in Substrate eingemischt werden. Auch der Salzgehalt von 2,6 g/l lag knapp über dem empfohlenen Wert für den Typ 1 Substratkompost, bei dem eine Einmischung von bis zu 40 Vol.-% in Substrate möglich ist.

### 3.2.5. Sonstige Zuschlagstoffe und Substratbestandteile

Florisol rubra - Tongranulat 0-3 mm

Wurde zur Verbesserung der Pufferkapazität zugemischt.

Exemptor - Insektizid (ICL n. d.)

Wurde als Langzeitschutz gegen saugende und beißende Insekten eingemischt.  
Radigen - Spurennährstoff-Mischdünger (Terraflor n.d.)  
Wurde zur Herstellung eines ausgewogenen Nährstoffverhältnisses zur  
Versuchsbeginn verwendet.

### 3.4. Bewässerung

Für die Versuche innerhalb des Projekts wurden verschiedene Bewässerungsverfahren und Wasserqualitäten (Stadt-/Trinkwasser, Regenwasser) verwendet.

Die Baumschulversuche wurden auf einer Containerfläche auf Bändchengewebe durchgeführt. Die Bewässerung wurde kulturspezifisch angepasst. Alle *Thuja*-Arten und -sorten, *Potentilla* sp., *Hydrangea* sp. und *Pyracantha* sp. wurden über Kopf mit einem Gießwagen mit Stadtwasser bewässert. Auch die *Malus x domestica*-Sorten wurden in der ersten Saison 2016 auf diese Weise mit Stadtwasser versorgt. Mit zunehmendem Wachstum konnte die Überkopfbewässerung nicht mehr eingesetzt werden und wurde durch eine Tropfbewässerung ersetzt. Die Callunen in der Saison 2016 wurden ebenfalls über Tropfer versorgt. Hierzu wurde am Standort gesammeltes Regenwasser verwendet. In der Saison 2017 wurden die Callunen aufgrund der gestiegenen Anzahl an Töpfen mit Sprühköpfen der Fa. Netafim über Kopf bewässert. Auch hier wurde Regenwasser verwendet. Die *Rhododendron*-Sorten wurden ebenfalls mit Regenwasser versorgt und jeder Container einzeln mit Tropfern ausgestattet.

Die Versuche mit Zier- und Gemüsepflanzen wurden im Forschungsgewächshaus am Standort Berlin Dahlem auf Gewächshaustischen mit Bewässerungswannen durchgeführt. Die Bewässerung erfolgte im Anstauverfahren. Es standen zwölf getrennt steuerbare Ebbe-Flut-Wannen zur Verfügung. Für alle Versuche wurde Stadtwasser verwendet. Lediglich die Versuche mit *Zinnia* sp. und *Capsicum* sp. wurden durch das drench-Verfahren mit Wasser versorgt. Hierbei wird eine definierte Menge Wasser mit gelösten Nährsalzen direkt in jeden Topf appliziert.

Tabelle 4: Stadt-/Trinkwasserzusammensetzung am Standort der Versuchsdurchführung in Berlin. (lt. interner Analytik der Berliner Wasserbetriebe)

Parameter	
Karbonathärte	9,7 - 13,9 °dH
pH-Wert	7,5
El. Leitfähigkeit bei 25 °C	813 µS/cm
TOC	3,8 mg/l

### 3.5. Düngung

Die Düngung der Versuchspflanzen erfolgte an die entsprechend unterschiedlichen Anforderungen der Arten/Sorten sowie Bewässerungssysteme angepasst. In den Baumschulkulturen wurde vornehmlich mit Depotdüngern gearbeitet. Bei *Rhododendron* und *Calluna* wurde zusätzlich ein Proportionaldosierer für die Nährstoffversorgung über die Bewässerung verwendet. Innerhalb der Versuche im Gewächshaus wurde ebenfalls mit Düngung über die Wassergaben gearbeitet. Durch die Verwendung von zwei Proportionaldosierern ab 2016 konnte bei Bedarf die prozentuale Zumischung oder die

Zusammensetzung der Stammlösung an die verschiedenen Anforderungen der Substrate (Torf- und *Sphagnum*-Kultursubstrate) angepasst werden. Um eine einheitliche Qualität der Nährstoffe zu gewährleisten wurde vornehmlich auf Produkte eines Herstellers zurückgegriffen (ICL Specialty Fertilizers).

### 3.6. Physikalische und chemische Analysen

Die physikalischen Analysen wurden von der LUFA-Nord-West im Auftrag nach folgenden Methoden durchgeführt:

- ❖ Bestimmung der physikalischen Eigenschaften von Bodenverbesserungsmitteln und Kultursubstraten nach DIN EN 13041
- ❖ Bestimmung der physikalischen Substrateigenschaften nach Analysereeks PBG Naaldwijk (LUFA Nord-West AA 1/1-6049)
- ❖ Torf-Rohstoffprüfung (in Anlehnung an DIN 11540:1989)

Die Bestimmung der Makro- und Mikronährstoffgehalte wurde ebenfalls von der LUFA-Nord-West unter der Verwendung der in Tabelle 5 aufgeführten Methoden durchgeführt.

Tabelle 5: Methodenübersicht zur Bestimmung der Makro- und Mikronährstoffe in den Substraten.

Methoden	Bestimmung von
VDLUFA I A 6.2.4.1	Mg (CaCl <sub>2</sub> )
VDLUFA I A 6.2.1.1	P, K (CAL)
VDLUFA I A 5.1.1	pH-Wert
VDLUFA I A 13.4.1	Salzgehalt
VDLUFA I A 7.3.1	Zn (HNO <sub>3</sub> )
VDLUFA I A 13.1.1	N, P, K, Mg, Cu, Zn, Mn, B, Fe, Na (CAT)
VDLUFA I A 6.1.1.1	NO <sub>3</sub> -N (photometrisch)
VDLUFA I A 6.1.2.1	NH <sub>4</sub> -N

### 3.7. Keimpflanzentests

Zur Bestimmung von potentiell vorhandenen phytotoxischen Inhaltsstoffen wurden bei der LUFA-Nord-West regelmäßig Keimpflanzentests für die verwendete *Sphagnum*-Biomasse in Auftrag gegeben. Diese wurden nach der Methode zum "Nachweis von pflanzenschädigenden Stoffen in Böden, gärtnerischen Substraten und Komposten (VDLUFA I A 10.2.1) durchgeführt.

Zusätzlich wurde in 2015 ein geschlossener Kressetest mit den Substraten und Substratzuschlagstoffen durchgeführt, die in Verdacht standen, allelopathischen Effekte auszulösen.

### 3.8. WOK-Analyse (RHP)

Dieser Test der Firma RHP (European Knowledge Centre for Growing Media) bestimmt die Geschwindigkeit, mit der eine luftgetrocknete Substratprobe Wasser aufnimmt. Dazu wird die Probe in einem Behälter platziert, das wenige Millimeter mit Wasser gefüllt ist. Danach

wird die aufgenommene Wassermenge zu festgelegten Zeitpunkten bis maximal 1440 Minuten nach Versuchsbeginn bestimmt. Für den Vergleich verschiedener Proben wird die Wassermenge zu dem Zeitpunkt herangezogen, zu dem 50 Prozent des Substratvolumens mit Wasser gesättigt sind. Der Wert gibt Auskunft über das Wasseraufnahmeverhalten, insbesondere die Wasseraufnahmegeschwindigkeit. (Verhagen n.d.)

### 3.9. Phänotypisierung

#### 3.9.1 Analoge Phänotypisierung

Um den Wachstumszustand der verschiedenen Pflanzen zu beschreiben, wurden jeweils angepasste Messmethoden verwendet. Die habituellen Unterschiede der Arten wurden dabei jeweils berücksichtigt und führten im Ergebnis zur Entwicklung und Nutzung einer digitalen Methode zur Bestimmung des Pflanzenwachstums, die unter dem Punkt Digitale Phänotypisierung beschrieben wird.

Die Bestimmung der Trockenmasse wurde als präzise Methode für die Bestimmung des Biomassezuwachses in fast allen Versuchen verwendet. Lediglich ein Teil der Baumschulkulturen (*Malus*, zwei *Rhododendron*-Sorten, *Pyracantha* und *Thuja*) konnten nicht mit dieser Methode bearbeitet werden. Das Volumen dieser Pflanzen lies eine Trocknung mit den vorhandenen Gerätekapazitäten nicht zu. Zur Bestimmung der Trockenmasse wurden die einzelnen Pflanzen in Papiertüten bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Um die räumliche Ausdehnung der Pflanzen zu beschreiben, wurden je nach Habitus zwei Ansätze verfolgt. Pflanzen mit einem kompakten Habitus (*Thuja*, *Potentilla*, Zierpflanzenkulturen) wurden in Höhe und Breite vermessen. Für die Breite wurden zwei Werte im Winkel von 90° zueinander aufgenommen. Diese Werte wurden anschließend zu einem Wachstumsindex verrechnet. Für Pflanzen, die von diesem Habitus abwichen (*Malus*, *Rhododendron*) wurde die Gesamtrieblänge erfasst. Dazu wurde jeder vorhandene Trieb an der Pflanze vermessen und die Einzelwerte addiert. Bei den *Malus* wurde zusätzlich der Stammumfang unter- und oberhalb der Veredlungsstelle bestimmt.

#### 3.9.2. Digitale Phänotypisierung

Die Bezeichnung digitale Phänotypisierung umfasst im vorliegenden Projekt die näherungsweise Bestimmung des Pflanzenvolumens mit Hilfe digitaler Bilderfassung. Dazu wurden Fotos der Pflanzen in zwei Bildebenen aufgenommen. Ein Foto pro Pflanze in der Aufsicht und jeweils acht Photos aus verschiedenen Perspektiven in der Seitenansicht. Die Pflanzen wurden dazu vor einem einheitlich weißen Hintergrund positioniert und so fotografiert, dass der Bildausschnitt die gesamte Pflanze erfasst. Als Vorbereitung für die Auswertung der Fotos wurden per Stapelverarbeitung in Photoshop (Knoll and John 2015) für jedes Foto die Farbkanäle angepasst und ein rotes Quadrat eingefügt. Dieses Quadrat dient dem verwendeten Python-Skript als Größenreferenz. Das Skript (Easlon, n.d.; Easlon and Bloom 2014) selbst zählt für jedes Bild die Anzahl grüner Pixel innerhalb eines anpassbaren Farbwertebereichs. Im Verhältnis zur eingefügten Referenzfläche wird daraus ein Flächenwert für die grünen Pixel errechnet. Aus den ermittelten Werten wurde mit Hilfe der in Abbildung 1 dargestellten Formeln ein volumenbasierter Nährungswert für die oberirdischen Pflanzenteile (VNOP) berechnet.

$$V_{NOP} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h; \quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{\text{Aufsicht}}}{\pi}}; \quad h = \frac{A_{\text{Seitenflächen}}}{d}$$

Annahmen: Für die angegebenen Berechnungen werden die oberirdischen Pflanzenteile als Zylinder betrachtet.

V = genähertes Volumen der oberirdischen Pflanzenteile  
d = Durchmesser Zylinder  
h = Höhe Zylinder  
 $A_{\text{Aufsicht}}$  = Ermittelte Fläche in der Aufsicht  
 $A_{\text{x' Seitenflächen}}$  = Arithmetisches Mittel der acht ermittelten Seitenflächen-Perspektiven

Abbildung 1: Formeln für die Berechnung des volumenbasierten Näherungswerts der oberirdischen Pflanzenteile

### 3.9.3 Nasschemische Analytik

Für die Bestimmung des Phenolsäuregehalts und -profils wurden insgesamt 140 Proben gezogen und aufbereitet. Diese stammten von der *Sphagnum*-Produktionsfläche in Hankhausen, aus SBM-Rückstellproben der Fa. MOKURA und *Sphagnum* aus dem eigenen Versuchsanbau. Von Juni 2016 bis April 2018 wurden in Hankhausen im vierwöchigen Rhythmus Proben von drei festen Entnahmepunkten entnommen (jeweils in der Nähe des Wasserein- und auslaufs sowie in der Flächenmitte). Zusätzlich wurden im April 2018 50 Proben in zwei Transekten von der gleichen Fläche gezogen. Das frische Material wurde tiefgefroren und bei - 20 °C bis zur Gefrietrocknung gelagert. Nach der Gefrietrocknung wurde das *Sphagnum* mit einer haushaltsüblichen Messermühle (Fa. Moulinex) vor- und anschließend mit einer Kugelmühle (MM400, Fa. Retsch) feingemahlen. Im Anschluss erfolgte eine wässrige Extraktion mit Aqua dest. Die Quantifizierung der Inhaltsstoffe erfolgte durch Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC). Die Qualifizierung der enthaltenen Phenolsäuren wurde per Flüssigchromatographie mit gekoppelter Massenspektrometrie (LC-MS) vorgenommen.

## 4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

### 4.1. Substratversuche mit Baumschulkulturen

#### 4.1.1. *Malus x domestica* 'Maypole'

Aufgrund der Ausfälle im Winter 2015/16 (schadhafte Veredelungsstellen) wurden die Pflanzen dieser Sorte bei der Neutopfung im Frühjahr 2016 auf das Kontrollsubstrat und SPHAKO BS 85 aufgeteilt. Die erfassten Wachstumsparameter zeigten in 2016 einen signifikanten Unterschied beim Durchmesser vom Edelreis, der in 2017 nicht mehr zu beobachten war. In 2017 wurde ein signifikanter Unterschied bei der Pflanzenhöhe festgestellt. Ein negativer Effekt aufgrund einer starken Erwärmung des Wurzelballens konnte bei dieser Sorte nicht festgestellt werden. Der Wurzelbereich war hier allerdings auch stärker beschattet, da die Pflanzen zwischen den höheren anderen Apfelsorten aufgestellt waren und somit im Bereich ihrer Container beschattet waren.

Tabelle 6: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Malus X domestica* Sorte 'Maypole'

Jahr	Parameter	Kontrolle	SKS BS 85
2016	Pflanzenhöhe (cm)	<b>103,4<sup>a</sup></b>	<b>101,2<sup>a</sup></b>
	Durchmesser Unterlage (mm)	<b>27,4<sup>a</sup></b>	<b>26,3<sup>a</sup></b>
	Durchmesser Edelreis (mm)	<b>16,5<sup>a</sup></b>	<b>14,7<sup>b</sup></b>

2017	Pflanzenhöhe (cm)	<b>148,3<sup>a</sup></b> ( $\pm 9,5$ )	<b>144,1<sup>b</sup></b> ( $\pm 7,8$ )
	Durchmesser Unterlage (mm)	<b>34,9<sup>a</sup></b> ( $\pm 4,5$ )	<b>32,2<sup>a</sup></b> ( $\pm 4,5$ )
	Durchmesser Edelreis (mm)	<b>20,5<sup>a</sup></b> ( $\pm 1,4$ )	<b>20,1<sup>a</sup></b> ( $\pm 1,2$ )

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test ( $P < 0,05$ ). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

#### 4.1.2. *Malus x domestica* 'Karneval'

In der Vegetationsperiode 2016 zeigte sich zwischen den Pflanzen in den SKS und den Pflanzen im Kontrollsubstrat ein signifikanter Wachstumsunterschied bezüglich aller aufgenommenen Parameter. Die Pflanzen im Kontrollsubstrat zeigten in der Saison 2016 eine bessere Wachstumsleistung. Die Pflanzen innerhalb der SKS unterschieden sich nicht signifikant, allerdings wurden für die Pflanzen in den SKS BS 75 im Mittel tendenziell geringere Werte ermittelt.

Tabelle 7: Zuwachs der Sorte 'Karneval' (*Malus x domestica*) zwischen Mai und November 2016

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 75
Höhenzuwachs (cm)	<b>56,60<sup>a</sup></b>	<b>45,68<sup>b</sup></b>	<b>41,30<sup>b</sup></b>
Zuwachs Stammdurchmesser (cm)	<b>0,92<sup>a</sup></b>	<b>0,84<sup>b</sup></b>	<b>0,77<sup>b</sup></b>
Zuwachs Summe Seitentriebe (cm)	<b>353<sup>a</sup></b>	<b>297<sup>b</sup></b>	<b>296<sup>b</sup></b>

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test ( $P < 0,05$ ). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

In der folgenden Vegetationsperiode 2017 holten die Pflanzen in SKS BS 85 den Wachstumsnachteil der vergangenen Saison auf und übertrafen die Pflanzen der Kontrolle und des SKS BS 90 bezüglich der Gesamtrieblänge signifikant. Hinsichtlich des Durchmessers der Unterlage behielten die Pflanzen der Kontrolle ihren Vorsprung.

Tabelle 8: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für die Sorte 'Karneval' (*Malus x domestica*) bis Oktober 2017.

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 90
Gesamtrieblänge (cm)	<b>1580<sup>b</sup></b> ( $\pm 197$ )	<b>1759<sup>a</sup></b> ( $\pm 178$ )	<b>1510<sup>b</sup></b> ( $\pm 175$ )
Durchmesser UL (mm)	<b>36,6<sup>a</sup></b> ( $\pm 11,9$ )	<b>32,6<sup>b</sup></b> ( $\pm 2,9$ )	<b>32,1<sup>b</sup></b> ( $\pm 3,7$ )

#### 4.1.3. *Malus x domestica* 'Roter Herbstkalvill'

Die Pflanzen dieser Sorte entwickelten sich im Vergleich zwischen den Substraten sehr gleichmäßig. Die in Tabelle 9 aufgeführten Ergebnisse der Saisonabschlussbonitur 2016 verdeutlichen dies. Es zeigten sich keine statistisch belegbaren Unterschiede zwischen den Varianten.

Tabelle 9: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für die Sorte 'Roter Herbstkalvill' (*Malus x domestica*) bis November 2016

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 75
Höhe über Topfrand (cm)	175 <sup>a</sup> (±28)	180 <sup>a</sup> (±22)	181 <sup>a</sup> (±11)
Durchmesser UL (cm)	22,9 <sup>a</sup> (±3,4)	22,7 <sup>a</sup> (±3,0)	24,1 <sup>a</sup> (±2,3)
Durchmesser EL (cm)	19,0 <sup>a</sup> (±3,3)	17,7 <sup>a</sup> (±3,6)	18,2 <sup>a</sup> (±2,0)
Gesamtrieblänge (cm)	256 <sup>a</sup> (±96)	188 <sup>a</sup> (±84)	201 <sup>a</sup> (±70)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb der Messparameter sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

Zum Ende der Vegetationsperiode 2017 waren zwischen den Pflanzen der verschiedenen Substrate keine statistisch nachweisbaren Unterschiede messbar (vgl. Tabelle 10). Die Pflanzen hatten ganz klar vom Wechsel der Containerfarbe profitiert. Die Wurzeln waren nunmehr gleichmäßig im gesamten Container entwickelt.

Tabelle 10: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für die Sorte 'Roter Herbstkalvill' (*Malus x domestica*) bis einschließlich Oktober 2017

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 90
Stammdurchmesser UL (cm)	28,5 <sup>a</sup> (±4,8)	28,2 <sup>a</sup> (±4,5)	29,7 <sup>a</sup> (±2,1)
Stammdurchmesser EL (cm)	24,3 <sup>a</sup> (±4,7)	24,0 <sup>a</sup> (±4,1)	24,0 <sup>a</sup> (±3,4)
Gesamtrieblänge (cm)	852,05 <sup>a</sup> (±231)	824,56 <sup>a</sup> (±184)	749,84 <sup>a</sup> (±153)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

#### 4.1.4. *Potentilla fruticosa* 'Goldkissen'

Die Pflanzen zeigten in den Substraten unterschiedliche Entwicklungstendenzen. Nach der ersten Vegetationsperiode im November 2016 wiesen die Pflanzen im Kontrollsubstrat im Mittel den höchsten Wert bezüglich des Wachstumsindex auf. Sie unterschieden sich dabei aber nicht signifikant vom SKS BS 85. Zu Beginn der folgenden Saison im März 2017 wurde eine klar ausgeprägte Abstufung zwischen den Varianten erfasst. Die Pflanzen der Kontrolle liegen mit 35,1 g durchschnittlichem Trockengewicht der zurückgeschnittenen Biomasse 5 beziehungsweise 10 g über dem der Sphagnum-Kultursubstrate.

Im Verlauf der Vegetationsperiode glich sich die Wachstumsleistung der Pflanzen in den SKS an, unterschied sich aber dennoch signifikant von den Kontrollpflanzen.

Die Abschlussbonitur für die Saison 2017 wurde bereits im August durchgeführt. Ein Ausfall der automatischen Bewässerung hatte zu starken Welkeerscheinungen geführt. Ein einheitlicher Rückschnitt auf 15 cm über dem Topfrand (Zusammenbinden aller Triebe vor dem Schnitt) sollte einen gleichmäßigen Wiederaustrieb bei allen Pflanzen ermöglichen.

Mit dem Wechsel in den 5-l-Container zu Beginn der Vegetationsperiode 2017 wurde auch bei *Potentilla* ein Wechsel zu terracotafarbenen Containern vorgenommen. In der vorangegangenen Saison waren bei den Pflanzen in den SKS deutliche Hitzeschäden im Wurzelraum aufgetreten (vgl. Abb. 2), insbesondere auf der nach Süden gerichteten Seite der Container.

Tabelle 11: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Potentilla fruticosa* 'Goldkissen'.

Parameter		Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 75
Wachstumsindex <sup>1</sup>	Mai 2016	19,2 <sup>a</sup> (±4,6)	21,1 <sup>a</sup> (±5,4)	20,6 <sup>a</sup> (±4,1)
Wachstumsindex <sup>1</sup>	Nov. 2016	38,9 <sup>a</sup> (±9,3)	34,4 <sup>ab</sup> (±10,2)	31,7 <sup>b</sup> (±7,8)
Trockengewicht (g)	März 2017	35,1 <sup>a</sup> (±9,0)	30,0 <sup>b</sup> (±6,3)	24,5 <sup>c</sup> (±4,8)
Trockengewicht (g)	August 2017	133,2 <sup>a</sup> (±8,2)	115,3 <sup>b</sup> (±10,0)	114,5 <sup>b</sup> (±8,9)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

1: Wachstumsindex = (Höhe x Breite 1 x Breite 2) / 1000

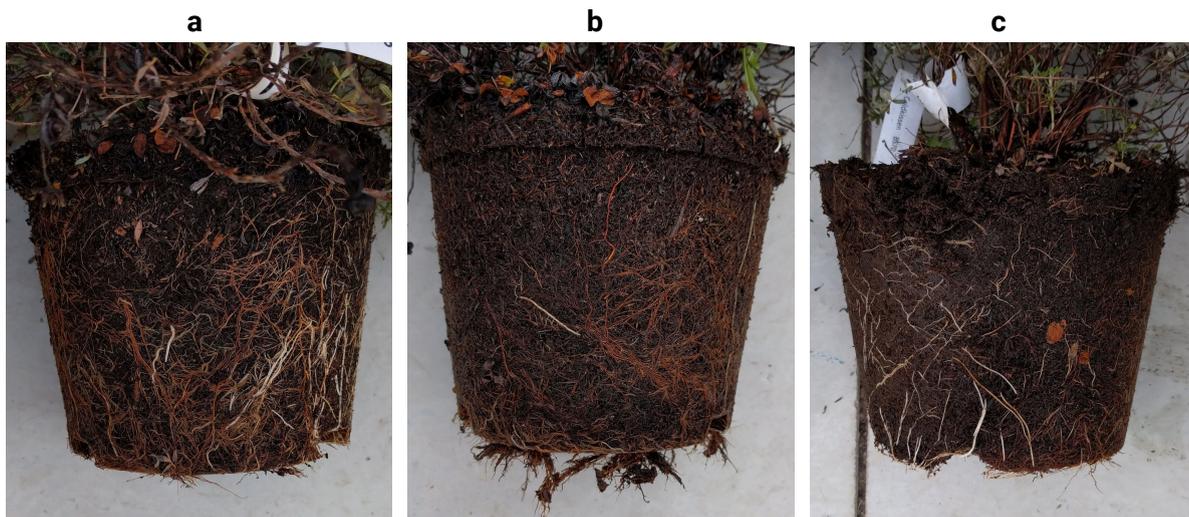


Abbildung 2: Die Fotos zeigen jeweils die Südseite der Wurzelballen von *Potentilla fruticosa* 'Goldkissen' Ende September 2016 in den verschiedenen Substraten (a: Kontrollsubstrat, b: BS 85, c: BS 75).

#### 4.1.5. *Hydrangea paniculata* 'Kyushu'

Die Rispenhortensiensorte 'Kyushu' entwickelte sich in den SKS sehr gut. Bereits bei der ersten Bonitur Ende Mai 2016 gab es einen klaren Wachstumsvorteil für die Pflanzen im SKS BS 85 gegenüber der Kontrolle. Die Pflanzen im SKS BS 75 waren im Mittel ebenso gut entwickelt wie die Pflanzen im Kontrollsubstrat. Bis zur nächsten Bonitur im März 2017 hatten sich die Unterschiede zwischen den Pflanzen der drei Varianten verwachsen, sodass zu diesem Zeitpunkt keine statistisch nachweisbaren Unterschiede bestanden.

Ebenso wie die *Potentilla*-Pflanzen waren die *Hydrangea* im August 2017 vom Ausfall der automatischen Bewässerung betroffen. Damit wurde auch die Abschlussbonitur für die *Hydrangea* in den August vorgezogen, um die Ergebnisse für die Saison 2017 nicht zu verlieren. Die Auswertung dieser Bonitur zeigt zwischen der Kontrolle und den SKS BS 85 keinen Unterschied zwischen den Varianten. Die Pflanzen aus dem SKS BS 75 lagen bezüglich des Trockengewichts im Mittel 11 g niedriger als im SKS BS 85, beziehungsweise 20 g unter der Kontrolle.

Tabelle 12: Mittelwerte der Wachstumsparameter für *Hydrangea paniculata* 'Kyushu'.

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 75
Wachstumsindex <sup>1</sup> Mai 2016	12,0 <sup>a</sup> (±3,5)	17,3 <sup>b</sup> (±4,1)	12,4 <sup>a</sup> (±4,8)
Trockengewicht (g) Rückschnitt März 2017	18,6 <sup>a</sup> (±4,2)	19,7 <sup>a</sup> (±3,6)	17,3 <sup>a</sup> (±3,5)
Trockengewicht (g) Abschluss August 2017	142,6 <sup>a</sup> (±15,5)	133,9 <sup>a</sup> (±19,1)	122,9 <sup>b</sup> (±17,4)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test ( $P \leq 0,05$ ). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Wachstumsindex = (Höhe x Breite 1 x Breite 2) / 1000

#### 4.1.6. *Pyracantha coccinea* 'Red Column'

*Pyracantha coccinea* 'Red Column' wurde als wintergrünes Laubgehölz mit in die Baumschulversuche aufgenommen. Die habituellen Herausforderungen bei der Bonitur wurden dabei nicht in ausreichendem Maß berücksichtigt. Die Erfassung von Höhe und Breite oder die Messung der Trieblänge erzielte nicht die gewünschte Aussagequalität. Die Pflanzen wurden zum Versuchsende ausschließlich mit der digitalen Phänotypisierung erfasst. Dies ergab eine statistisch übereinstimmende Wachstumsleistung der Pflanzen im Kontrollsubstrat und dem SKS BS 85. Die Pflanzen im SKS BS 90 schnitten durchschnittlich 2 beziehungsweise 4 dm<sup>3</sup> schlechter ab.

Tabelle 13: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Pyracantha coccinea* 'Red Column'.

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 90
VNOP <sup>1</sup> (dm <sup>3</sup> ) Mai 2016	42,4 <sup>a</sup> (±3,5)	40,5 <sup>a</sup> (±4,1)	38,1 <sup>b</sup> (±6,4)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test ( $P \leq 0,05$ ). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

#### 4.1.7. *Thuja occidentalis*

Nach der ersten Wachstumsphase nach der Topfung wurde im Frühjahr 2016 bei den Pflanzen im SKS BS 75 das stärkste Wachstum gemessen. Bei den Pflanzen im SKS BS 85 wurde im Mittel ein etwas geringerer Wachstumsindex erfasst. Die Differenz ist statistisch nicht signifikant. Die Pflanzen im Kontrollsubstrat unterschieden sich dagegen signifikant von den *Sphagnum*-Kultursubstraten. Bezüglich der Pflanzenhöhe konnten im Mai 2016 keine Unterschiede zwischen den Pflanzen festgestellt werden.

Bei der Ermittlung des Wachstumsindex im November 2016 zeigte sich eine Änderung im Verhältnis zwischen den getesteten Substraten. Zwischen allen drei Substraten bestand nunmehr kein statistisch gesicherter Unterschied mehr. Hinsichtlich der Pflanzenhöhe schnitten die Pflanzen der Kontrolle mit 59,2 cm im Mittel besser ab, als die beiden SKS mit 56,3 cm (SKS BS 85) und 55,6 cm (SKS BS 75). Das zum Abschluss des Versuchs 2017 ermittelte, genährte Volumen der oberirdischen Pflanzenteile zeigte keine statistisch belegbaren Unterschiede zwischen den Substraten.

Tabelle 14: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Thuja occidentalis* (Art).

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 75
Wachstumsindex <sup>1</sup> Mai 2016	<b>24,2<sup>a</sup></b> (±3,5)	<b>27,5<sup>a,b</sup></b> (±9,1)	<b>29,8<sup>b</sup></b> (±9,0)
Pflanzenhöhe (cm) Mai 2016	<b>37,4<sup>a</sup></b> (±3,8)	<b>37,7<sup>a</sup></b> (±3,1)	<b>38,1<sup>a</sup></b> (±3,3)
Wachstumsindex <sup>1</sup> November 2016	<b>84,1<sup>a</sup></b> (±16,7)	<b>79,1<sup>a</sup></b> (±21,1)	<b>71,2<sup>a</sup></b> (±19,6)
Pflanzenhöhe (cm) November 2016	<b>59,2<sup>a</sup></b> (±6,9)	<b>56,3<sup>a,b</sup></b> (±4,8)	<b>55,6<sup>b</sup></b> (±8,1)
VNOP <sup>2</sup> Abschluss August 2017	<b>110,5<sup>a</sup></b> (±15,6)	<b>108,7<sup>a</sup></b> (±17,8)	<b>102,5<sup>a</sup></b> (±19,5)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Wachstumsindex = (Höhe x Breite 1 x Breite 2) / 1000

<sup>2</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

#### 4.1.8. *Thuja occidentalis* 'Malonyana'

Zum Zeitpunkt der ersten Bonitur im Mai 2016 konnte für die Pflanzen im SKS BS 85 mit durchschnittlich 21,4 dm<sup>3</sup> Volumen der oberirdischen Pflanzenteile das beste Wachstum gemessen werden. Statistisch ergab sich daraus allerdings kein nachweisbarer Unterschied gegenüber den Pflanzen der andern beiden Substrate. Bei den Messungen der Bonitur im November 2016 ließ sich ein Unterschied zwischen den Pflanzen in SKS BS 85 und den Pflanzen der Kontrolle und SKS BS 75 statistisch belegen. Hinsichtlich der Pflanzenhöhe konnte zu beiden Boniturterminen in 2016 kein Unterschied zwischen den Pflanzen der drei Substratvarianten ermittelt werden. Auch bei der Abschlussbonitur zum Ende der Vegetationsperiode 2017 konnte für den Mittelwerte des genährten Volumens der oberirdischen Pflanzenteil kein signifikanter Unterschied zwischen den Pflanzen der getesteten Substrate nachgewiesen werden.

Tabelle 15: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Thuja occidentalis* 'Malonyana'.

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 75
Volumen Pflanze (dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup> Mai 2016	<b>19,6<sup>a</sup></b> (±3,7)	<b>21,4<sup>a</sup></b> (±5,1)	<b>20,8<sup>a</sup></b> (±4,7)
Pflanzenhöhe (cm) Mai 2016	<b>41,4<sup>a</sup></b> (±2,7)	<b>40,8<sup>a</sup></b> (±3,0)	<b>41,2<sup>a</sup></b> (±3,3)
Volumen Pflanze (dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup> November 2016	<b>43,5<sup>b</sup></b> (±8,2)	<b>47,0<sup>b</sup></b> (±8,8)	<b>54,5<sup>a</sup></b> (±9,1)
Pflanzenhöhe (cm) November 2016	<b>67,7<sup>a</sup></b> (±7,7)	<b>66,1<sup>a</sup></b> (±6,1)	<b>64,1<sup>a</sup></b> (±6,8)
VNOP <sup>2</sup> (dm <sup>3</sup> ) Abschluss August 2017	<b>17,8<sup>a</sup></b> (±3,2)	<b>17,2<sup>a</sup></b> (±2,7)	<b>16,9<sup>a</sup></b> (±3,8)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb einer Sorte sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Volumen der oberirdischen Pflanzenteile auf Basis der Messung von Höhe und zweimal der Breite im 90°-Winkel;

Berechnung:  $V=(\pi/4*d^2*h)/1000$

<sup>2</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

#### 4.1.9. *Thuja occidentalis* 'Columna'

Zum Zeitpunkt der ersten Bonitur im Mai 2016 konnte für die Pflanzen im SKS BS 75 der höchste Wert für das Pflanzenvolumen ermittelt werden. Er unterscheidet sich jedoch nicht signifikant von den Mittelwerten des Kontrollsubstrats und des SKS 85. Die Pflanzenhöhe war im Mai 2016 im Mittel bei den Pflanzen in allen Substraten auf einem Niveau. Zum Abschluss des Versuchs im November 2017 wurde im Mittel für die Pflanzen im SKS BS 85 der höchste VNOP-Wert von 15,9 dm<sup>3</sup> ermittelt. Danach folgte mit 15,4 dm<sup>3</sup> das Kontrollsubstrat und mit 14,4 dm<sup>3</sup> das SKS BS 75. Auf Basis dieser Zahlen ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Substraten nachweisen.

Tabelle 16: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Thuja occidentalis* 'Columna'.

Parameter	Kontrolle	SKS BS 85	SKS BS 75
Volumen Pflanze (dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup> Mai 2016	16,4 <sup>a</sup> (±3,8)	16,7 <sup>a</sup> (±3,7)	18,4 <sup>a</sup> (±4,6)
Pflanzenhöhe (cm) Mai 2016	36,0 <sup>a</sup> (±3,8)	36,1 <sup>a</sup> (±3,0)	36,1 <sup>a</sup> (±3,4)
Volumen Pflanze (dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup> November 2016	30,7 <sup>b</sup> (±6,6)	37,9 <sup>b</sup> (±7,8)	40,3 <sup>a</sup> (±6,5)
Pflanzenhöhe (cm) November 2016	53,3 <sup>a</sup> (±8,1)	53,6 <sup>a</sup> (±6,4)	50,9 <sup>a</sup> (±5,8)
VNOP <sup>2</sup> (dm <sup>3</sup> ) Abschluss August 2017	15,4 (±1,1)	15,9 <sup>a</sup> (±2,9)	14,4 <sup>a</sup> (±3,4)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Volumen der oberirdischen Pflanzenteile auf Basis der Messung von Höhe und zweimal der Breite im 90°-Winkel;

Berechnung:  $V=(\pi/4)*d^2*h)/1000$

<sup>2</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

#### 4.1.10. *Rhododendron x hybrida* 'Gomer Waterer'

Bei der ersten Bonitur im späten Frühjahr 2016 konnten zwischen den Pflanzen der drei getesteten Substrate keine Unterschiede festgestellt werden. Zum Ende der Vegetationsperiode 2016 hatten sich die Pflanzen im Substrat SKS RHO 75 am besten entwickelt. Im Mittel unterschieden sie sich mit 138,4 cm damit nicht signifikant von der Kontrolle mit 123,3 cm, aber von den Pflanzen im SKS RHO 85 mit 114,6 cm Gesamtrieblänge pro Pflanze. Im Frühjahr 2017 ergab die Auswertung der aus dem Versuch entnommenen Pflanzen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der mittleren Gesamtrieblänge pro Pflanze.

Tabelle 17: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Rhododendron x hybrida* 'Gomer Waterer'.

Parameter	Kontrolle	SKS BS RHO 85	SKS BS RHO 75
Gesamtrieblänge pro	43,5 <sup>a</sup> (±10,1)	44,4 <sup>a</sup> (±8,8)	43,0 <sup>a</sup> (±9,6)

Pflanze (cm)	Mai 2016		
Gesamttrieblänge pro Pflanze (cm)	<b>123,3<sup>ab</sup></b> (±21,4)	<b>114,6<sup>b</sup></b> (±35,8)	<b>138,4<sup>a</sup></b> (±23,3)
	November 2016		
Gesamttrieblänge <sup>1</sup> pro Pflanze (cm)	<b>84,1<sup>a</sup></b> (±16,7)	<b>79,1<sup>a</sup></b> (±21,1)	<b>71,2<sup>a</sup></b> (±19,6)
	Frühjahr 2017		

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>:Der Versuchsumfang (Pflanzenanzahl) musste reduziert werden. Für den Wert wurden nur die aussortierten Pflanzen berücksichtigt.

#### 4.1.11. *Rhododendron x hybrida* 'Scintillation'

Die *Rhododendron* der Sorte 'Scintillation' entwickelten sich in den SKS sehr gut. Dies wurde bereits bei der ersten Zwischenbonitur im Mai 2016 deutlich. Die Pflanzen in der Variante SKS RHO 75 wiesen hier den höchsten Mittelwert von 39,0 cm Trieblänge pro Pflanze auf. Auch zum Abschluss des Versuchs im November 2017 zeigten die Pflanzen das höchste durchschnittliche Trockengewicht. Der zu diesem Zeitpunkt ebenfalls ermittelte genährte Wert für das Pflanzenvolumen bestätigt das Verhältnis zwischen den Substraten. Die Pflanzen im SKS BS RHO 75 erreichten mit 13,8 dm<sup>3</sup> den höchsten Wert. Habituell zeigten die Pflanzen in den SKS während der Kultur keine Unterschiede zu den Kontrollpflanzen. Es wurde ein gleichwertiger Blütenflor ausgebildet.

Tabelle 18: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Rhododendron x hybrida* 'Scintillation'.

Parameter	Kontrolle	SKS BS RHO 85	SKS BS RHO 75
Gesamttrieblänge pro Pflanze (cm)	<b>28,4<sup>a</sup></b> (±15)	<b>31,6<sup>a,b</sup></b> (±12,7)	<b>39,0<sup>b</sup></b> (±11,0)
	Mai 2016		
Gesamttrieblänge pro Pflanze (cm)	<b>99,3<sup>a</sup></b> (±24,2)	<b>84,4<sup>a</sup></b> (±22,7)	<b>99,1<sup>a</sup></b> (±32,4)
	November 2016		
Gesamttrieblänge <sup>1</sup> pro Pflanze (cm)	<b>84,1<sup>a</sup></b> (±16,7)	<b>79,1<sup>a</sup></b> (±21,1)	<b>71,2<sup>a</sup></b> (±19,6)
	Frühjahr 2017		
Trockenmasse (g)	<b>497<sup>a</sup></b> (±109)	<b>482<sup>a,b</sup></b> (±117)	<b>609<sup>b</sup></b> (±162)
	November 2017		
VNOP <sup>2</sup>	<b>11,6<sup>a</sup></b> (±2,1)	<b>10,9<sup>a,b</sup></b> (±2,3)	<b>13,8<sup>a</sup></b> (±1,7)
	Abschluss November 2017		

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>:Der Versuchsumfang (Pflanzenanzahl) musste reduziert werden. Für den Wert wurden nur die aussortierten Pflanzen berücksichtigt.

<sup>2</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

#### 4.1.12. *Rhododendron x hybrida* 'Hachmanns Feuerschein'

Bei der ersten Bonitur im Mai 2016 wurden zwischen den Pflanzen der drei Substrate keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Gesamtrieblänge festgestellt. Sechs Monate später hatte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Pflanzen im SKS BS RHO 85 und den anderen Substraten entwickelt, wobei die Pflanzen der Kontrolle und des SKS BS RHO 75 eine höhere Wachstumsleistung als die Pflanzen im SKS BS RHO 85 zeigten. Die Abschlussbonitur im November 2017 ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mittelwerten des VNOP für die Versuchssubstrate.

Tabelle 19: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Rhododendron x hybrida* 'Hachmanns Feuerschein'.

Parameter	Kontrolle	SKS BS RHO 85	SKS BS RHO 75
Gesamtrieblänge pro Pflanze (cm) Mai 2016	<b>30,8<sup>a</sup></b> (±7,3)	<b>32,4<sup>a</sup></b> (±9,2)	<b>30,8<sup>a</sup></b> (±9,7)
Gesamtrieblänge pro Pflanze (cm) November 2016	<b>123,3<sup>a,b</sup></b> (±21,4)	<b>114,6<sup>b</sup></b> (±35,8)	<b>138,4<sup>a</sup></b> (±23,3)
VNOP <sup>1</sup> (dm <sup>3</sup> ) Abschluss November 2017	<b>14,2<sup>a</sup></b> (±3,5)	<b>13,8<sup>a</sup></b> (±2,9)	<b>14,5<sup>a</sup></b> (±3,2)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

#### 4.1.13. *Calluna vulgaris* 'Marlies' - 2016

Die Callunen wurden bei Fa. Graf's Gartenbau getopft und kultiviert. 180 dieser Pflanzen wurden zu Kulturbeginn an die HU versandt und am Versuchsstandort Dahlem weiterkultiviert. Die Topfung der Callunen und damit der Versuchsbeginn erfolgten im Mai und damit erheblich verzögert. Das Substrat war entsprechend dem eigentlich üblichen Kulturbeginn im zeitigen Frühjahr im März von MOKURA hergestellt worden. Der in das Substrat eingemischte Langzeitdünger begann innerhalb der 8 wöchigen Zwischenlagerung bereits Nährstoffe in das Substrat abzugeben. Damit erhöhte sich der Salzgehalt der SKS auf einen für Callunen ungünstigen Wert. Die Callunen in den SKS hatten damit schlechtere Startbedingungen. Aufgrund unangepasster Kulturführung und ungünstiger Wetterbedingungen konnten die Pflanzen bei der Fa. Graf's diesen Nachteil während der Vegetationsperiode nicht kompensieren.

Tabelle 20: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Calluna vulgaris* 'Marlies'. Kultivierung Fa. Graf's.

Parameter	Kontrolle	<i>Sphagnum</i> Finland	<i>Sphagnum</i> Ramsloh
Frischgewicht (g)	<b>11,4<sup>a</sup></b> (±5,9)	<b>6,5<sup>a,b</sup></b> (±5,6)	<b>3,9<sup>b</sup></b> (±2,7)
LZD Gewicht pro Topf (g) August 2016 - Versuchsende	<b>1,3<sup>a</sup></b> (±0,5)	<b>1,0<sup>a,b</sup></b> (±0,4)	<b>0,7<sup>b</sup></b> (±0,2)
LZD Anzahl Kügelchen pro Topf August 2016 - Versuchsende	<b>34<sup>a</sup></b> (±13)	<b>35<sup>a</sup></b> (±9)	<b>24<sup>a</sup></b> (±6)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: LZD = Langzeitdünger

Im Ergebnis der Kultivierung an der HU konnten für die Pflanzen im Kontroll-Substrat und dem Substrat mit der finnischen SBM-Herkunft gleichwertige Wachstumsleistungen erzielt werden. Die im Substrat auf Basis der Herkunft Ramsloh kultivierten Pflanzen schnitten bezüglich beider erfasster Wachstumsparameter signifikant schlechter ab.

Tabelle 21: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Calluna vulgaris* 'Marlies'. Kultivierung Standort Dahlem (Humboldt-Universität zu Berlin).

Parameter	Kontrolle	<i>Sphagnum</i> Finland	<i>Sphagnum</i> Ramsloh
Trockengewicht (g)	<b>9,4<sup>a</sup></b> (±1,5)	<b>8,2<sup>a</sup></b> (±2,1)	<b>7,7<sup>b</sup></b> (±1,6)
VNOP <sup>1</sup> (cm <sup>3</sup> )	<b>749<sup>a</sup></b> (±199)	<b>733<sup>a</sup></b> (±307)	<b>602<sup>b</sup></b> (±239)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

Aufgrund unangepasster Kulturführung und witterungsbedingter Ausfälle konnten die beim Praxispartner selbst kultivierten Pflanzen nicht in die Auswertung einbezogen werden. Die Zusammenarbeit mit diesem Betrieb wurde nach Abschluss dieses Praxisversuchs beendet.

#### 4.1.14. *Calluna vulgaris* - 2017

Wie auch in der vorangegangenen Vegetationsperiode wurden die Callunen in 2017 parallel an zwei Standorten kultiviert. Die Praxisversuche wurden von der Baumschule Franz Scheper durchgeführt. Von den dort getopften Pflanzen wurden jeweils 20 Pflanzen pro Sorte und Substrat nach Berlin geliefert und auf der Versuchsfläche der HU weiterkultiviert. Während der Kultur kam es in diesem Bestand zu einem Pilzbefall, der dazu führte, dass nicht ausreichend Pflanzen für eine Auswertung vorhanden waren. Im Gegensatz dazu kam es im Praxisbetrieb zu keinen Problemen während der Kultur, sodass dort eine ausreichende Anzahl von Pflanzen zur Abschlussbonitur zur HU geschickt werden konnte (jeweils 20 Pflanzen pro Sorte und Substrat).

Die Mittelwerte der Trockenmassen und des VNOP für die Sorte 'Sandy' bestätigen die im Betrieb gesammelten positiven Erfahrungen mit den *Sphagnum*-Substraten. Die Pflanzen beider SKS erreichten signifikant höhere Wachstumsleistungen als die Pflanzen der Kontrolle.

Tabelle 22: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Calluna vulgaris* Sorte 'Sandy'.

Parameter	Kontrolle	<i>Sphagnum</i> Finland	<i>Sphagnum</i> Ramsloh
Trockengewicht <sup>1</sup> (g)	<b>24,0<sup>b</sup></b> (±2,2)	<b>26,3<sup>a</sup></b> (±3,7)	<b>28,4<sup>a</sup></b> (±3,3)
VNOP <sup>2</sup> (cm <sup>3</sup> )	<b>721<sup>b</sup></b> (±182)	<b>833<sup>a</sup></b> (±157)	<b>905<sup>a</sup></b> (±175)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Für die Ermittlung des Trockengewichts wurde nur die Sorte 'Sandy' berücksichtigt.

<sup>2</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

## 4.2. Substratversuche Zierpflanzenkulturen

### 4.2.1. *Euphorbia pulcherrima* 'Cosmo Red' - 2015

Für den Poinsettia-Versuch 2015 wurden vier Substrate verwendet und in drei Verdichtungsstufen miteinander verglichen. Für die Mischung der SKS wurde *Sphagnum*-Biomasse aus Hankhausen verwendet. Im Versuch konnten bereits frühzeitig Symptome wie Wachstumsdepression, Welke und Absterben beobachtet werden. Im Verlauf des Versuchs war in den SKS insgesamt rund ein Viertel des Bestandes abgängig ( 53 von 204 Pflanzen, vgl. Abb. 3). Ein solches Phänomen wurde in allen vorangegangenen Versuchen noch nicht beobachtet. In den "fest" getopften Varianten der SKS wurden die meisten abgängigen Pflanzen verzeichnet (42 von 53 Pflanzen). Im Gegensatz zu den SKS-Varianten war in den Kontrollsubstraten nur eine einzelne Pflanze abgängig. Die Wachstumsleistung der verbliebenen Pflanzen blieb ebenfalls deutlich hinter den Ergebnissen aus den vorangehenden Versuchen zurück. Die beiden SKS unterschieden sich bezüglich der Trockenmasse signifikant von den beiden Kontrollsubstraten auf Torfbasis. Das Poinsettien-Spezialsubstrat der Firma Floradur wies mit durchschnittlich rund 18 g pro Pflanze den höchsten Trockensubstanzgehalt auf und setzte sich damit auch vom Kontrollsubstrat der Fa. Klasmann-Deilmann ab.

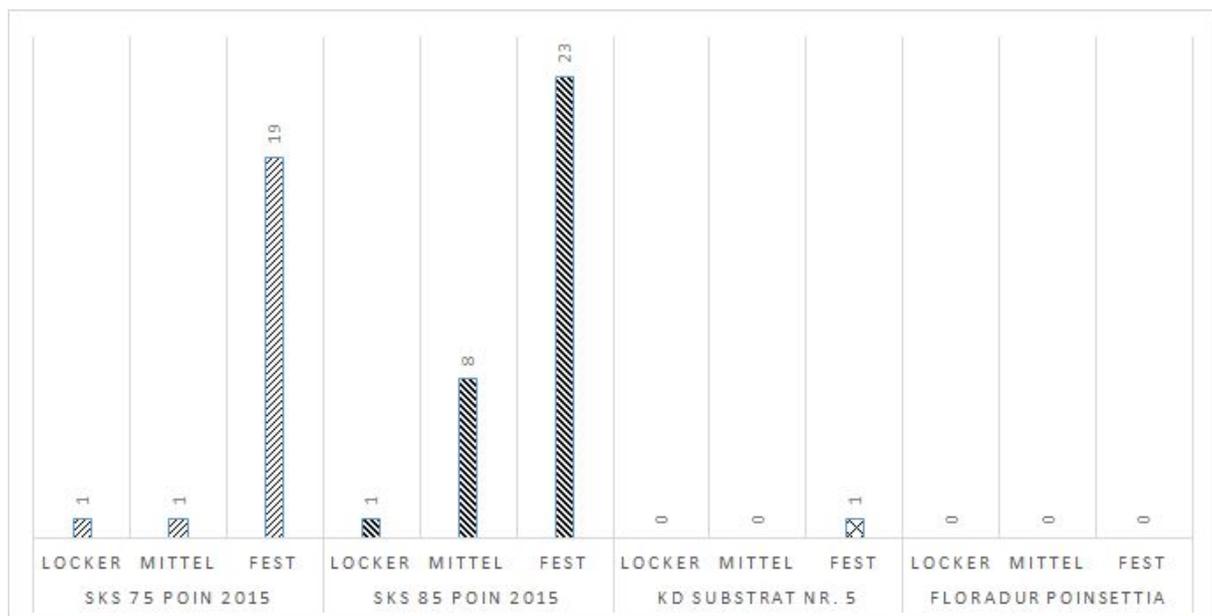


Abbildung 3: Anzahl der abgängigen Pflanzen der Sorte 'Cosmo Red' während des Poinsettia-Versuchs 2015. Für die Substrate werden die drei jeweils verwendeten Topffestigigkeiten dargestellt.

Tabelle 23: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Euphorbia pulcherrima* Sorte 'Cosmo Red'.

Parameter	KD Nr. 5	Floradur Poin	SKS 85	SKS 75
VNOP <sup>1</sup> (dm <sup>3</sup> )	4,6 <sup>a</sup> (±0,7)	5,1 <sup>a</sup> (±1,2)	3,4 <sup>b</sup> (±0,9)	3,6 <sup>b</sup> (±1,2)
Trockengewicht (g)	15,8 <sup>b</sup> (±2,4)	17,7 <sup>a</sup> (±4,1)	12,0 <sup>c</sup> (±2,2)	12,6 <sup>c</sup> (±2,2)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test ( $P < 0,05$ ). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

Aufgrund der starken Schäden an den Pflanzen und dem allgemein schlechten Wachstum in den SKS, wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zu möglichen Ursachen durchgeführt. Auf Basis der in den Keimpflanzentests gewonnen Erkenntnisse wurde auf die *Sphagnum*-Biomasse und möglicherweise darin enthaltenen Fremdstoffen als Ursache fokussiert. Auch eine potentielle Anreicherung von Glyphosat wurde geprüft. Der im Rahmen der Analyse ermittelte Wert betrug 0,013mg/kg Substrat.

#### 4.2.2. *Bidens ferrulifolia* 'Bidy Gonzales'

In diesem Versuch wurde die SBM von der Teilfläche BW in Hankhausen verwendet. Diese bestand hauptsächlich aus *Sphagnum fallax*. Zusätzlich wurde diese SBM vor dem Versuch kompostiert (vgl. Abschnitt 3.2.3). Die Verwendung dieser SBM sollte den möglichen Abbau von der/den allelopathischen Substanz/en während der Kompostierung ausschließen oder bestätigen.

Während des Versuchs wurden die Unterschiede zwischen dem Torfsubstrat (Kontrolle) und den beiden SKS erneut deutlich. Dies ließ sich bezüglich aller erfasster Parameter eindeutig nachweisen. Die SKS liegen bei allen Parametern auf einem einheitlichen Niveau und zeigen keine signifikanten Unterschiede.

Tabelle 24: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Bidens ferrulifolia* 'Bidy Gonzales'.

Parameter	Kontrolle	SKS 85	SKS 75
Wachstumsindex	12,8 <sup>a</sup> ( $\pm 1,6$ )	10,4 <sup>b</sup> ( $\pm 1,1$ )	10,7 <sup>b</sup> ( $\pm 1,4$ )
Blüten pro Pflanze (Anz.)	9 <sup>a</sup> ( $\pm 3$ )	7 <sup>b</sup> ( $\pm 2$ )	7 <sup>b</sup> ( $\pm 2$ )
Frischgewicht (g)	20,8 <sup>a</sup> ( $\pm 5,9$ )	12,4 <sup>b</sup> ( $\pm 3,1$ )	12,4 <sup>b</sup> ( $\pm 3,5$ )
Trockengewicht (g)	2,5 <sup>a</sup> ( $\pm 0,7$ )	1,5 <sup>b</sup> ( $\pm 0,4$ )	1,5 <sup>b</sup> ( $\pm 0,4$ )

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test ( $P < 0,05$ ). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

#### 4.2.3. *Impatiens Neuguinea* Hybride 'Pettycoat Blue'

Die Pflanzen der beiden SKS auf Basis der finnischen SBM reichten bezüglich ihrer Wachstumsleistung nicht an das Niveau der Kontrolle heran. Sie heben sich bei den Parametern Frisch- und Trockengewicht deutlich negativ von der Kontrolle ab und erreichen nur ca. 60 % von deren Wachstumsleistung. Zwischen den beiden SKS bestehen trotz der unterschiedlichen Mengenverhältnisse zwischen SBM und Kompost keine Unterschiede.

Zum Ende des Versuchs zeigte ein Teil der Pflanzen einen Befall mit Blattläusen. Dabei zeigte sich im Bestand ein atypisches Ausbreitungsmuster. Zwischen den Pflanzen der verschiedenen Substrate bildete sich eine scharfe Abgrenzung der Ausbreitung. Diese verlief exakt zwischen den Pflanzen der Kontrolle und den Pflanzen der SKS (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4: Starker Blattlausbefall im Versuch mit *Impatiens*-Neuguinea Hybride 'Petticoat Blue'. Die Pflanze links im SKS zeigt keinerlei Befall, während die Pflanze rechts unmittelbar daneben einen sehr starken Befall aufweist.

In den Versuchen wurde auch die Substrattemperatur erfasst. Diese wies an mehreren Tagen Ende Mai/Juni 2016 sehr hohe Temperaturen von über 35 °C, teilweise bis zu 40 °C auf. Die höchsten Werte wurden dabei in den *Sphagnum*-Substraten gemessen.

Tabelle 25: Mittelwerte für die erfassten Wachstumsparameter für die *Impatiens Neuguinea*-Hybride 'Petticoat Blue'.

Parameter	Kontrolle	SKS 85	SKS 75
Wachstumsindex	117 <sup>a</sup> (±5)	102 <sup>b</sup> (±7)	95 <sup>b</sup> (±9)
Blüten pro Pflanze (Anz.)	9 <sup>a</sup> (±3)	7 <sup>b</sup> (±2)	7 <sup>b</sup> (±2)
Frischgewicht (g)	20,8 <sup>a</sup> (±5,9)	12,4 <sup>b</sup> (±3,1)	12,4 <sup>b</sup> (±3,5)
Trockengewicht (g)	2,5 <sup>a</sup> (±0,7)	1,5 <sup>b</sup> (±0,4)	1,5 <sup>b</sup> (±0,4)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

#### 4.2.4. *Euphorbia pulcherrima* 'Viking Red' - 2016

Die Auswahl der Substratmischungen für diesen Versuch sollte eine Aussage zum Einfluss der beiden Hauptmischungskomponenten (SBM, Kompost) auf die Wachstumsleistung zulassen. Zugrunde lag zu diesem Zeitpunkt bereits die Annahme, dass einer der beiden Rohstoffe eine stoffliche Ursache für die allelopathischen Effekte enthält.

Die beste Wachstumsleistung erzielten in diesem Versuch die Pflanzen in der Torf-Kompost-Mischung. Sie übertrafen bezüglich der Pflanzenbewertung und des VNOP die Kontrolle, mit der sie bei den verbleibenden Wachstumsparametern gleich auf lagen. Die

Pflanzen in den beiden SKS-Mischungen erreichten im Vergleich eine deutlich schlechtere Wachstumsleistung.

Tabelle 26: Mittelwerte der erfassten Wachstumsparameter für *Euphorbia pulcherrima* 'Viking Red' bei Versuchsende.

Parameter	Kontrolle	TORFKOMP 20	SKS POIN 100	SKS POIN 80
Trockengewicht (g)	17,13 <sup>a</sup>	18,41 <sup>a</sup>	13,02 <sup>b</sup>	14,34 <sup>b</sup>
Wachstumsindex <sup>1</sup>	12,65 <sup>a</sup>	13,10 <sup>a</sup>	11,62 <sup>b</sup>	12,60 <sup>a</sup>
Pflanzenbewertung <sup>2</sup>	7,33 <sup>b</sup>	8,58 <sup>a</sup>	3,08 <sup>c</sup>	5,50 <sup>c</sup>
Anzahl der Brakteen	4,17 <sup>a</sup>	4,04 <sup>a</sup>	3,96 <sup>a</sup>	4,17 <sup>a</sup>
VNOP <sup>3</sup> (cm <sup>3</sup> )	5739 <sup>b</sup>	6500 <sup>a</sup>	5028 <sup>c</sup>	5280 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>: Berechnung des Wachstumsindex: (Höhe x Breite I x Breite II) / 1000

<sup>2</sup>: Ordinal skalierte Boniturskala (1 = abgängig bis 9 = Merkmale idealtypisch)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb eines Parameters sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>3</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

#### 4.2.5. *Zinnia elegans* 'Benary's Riesenlimette'

In diesem Versuch wurden die SBM-Herkünfte aus Hankhausen und Finnland miteinander verglichen. Die Mischungsverhältnisse der SKS waren exakt gleich. Die SBM aus Hankhausen stammte aus der Juni-Ernte 2015, die in vorangegangenen Versuchen die stärksten allopathischen Effekte zeigte. Aufgrund des geringen Wassergehalts des Materials wurde es vor dem Mischen gewässert. Das überschüssige Wasser wurde ausgedrückt. Die Keimrate differierte zwischen den Substraten. Von jeweils 60 ausgelegten Samen keimten im Kontrollsubstrat nur 37 Prozent, während in der Hankhausen-Mischung 55 Prozent beziehungsweise in der finnischen Mischung 63 Prozent keimten.

Tabelle 27: Anzahl gekeimter Pflanzen von *Zinnia elegans* 'Benary's Riesenlimette' 21 Tage nach Aussaat.

Parameter	Kontrolle	SKS 85 HANK	SKS 85 FIN
Anzahl gekeimter Pflanzen	22	33	38
Keimrate (%)	37	55	63

Mit der vollen Entwicklung der Pflanzen und dem Erreichen der generativen Phase (Blühbeginn) wurden die Pflanzen anhand der Blatt- und Blütenanzahl, der Anzahl der Seitentriebe und des Wachstumsindex phänotypisch beschrieben. Alle Varianten wiesen eine hohe Blütenanzahl auf. Im SKS 85 Hank blühten weniger Pflanzen, ohne dass dieser Unterschied statistisch signifikant war. Auch bezüglich der Anzahl der Seitentriebe gab es zwischen den Varianten leichte Schwankungen ohne statistische Signifikanz. Die Pflanzen in SKS 85 Hank besaßen signifikant weniger Blätter als die Pflanzen in den Vergleichssubstraten. Auch der Wachstumsindex lag bei diesen Pflanzen signifikant niedriger.

Tabelle 28: Mittelwerte für die Anzahl der Blätter, Blüten(/-knospen) und Seitentriebe sowie den Wachstumsindex 40 Tage nach Aussaat.

Parameter	Kontrolle	SKS 85 HANK	SKS 85 FIN
Blätter (Anz.)	27 <sup>a</sup> (±9)	19 <sup>b</sup> (±7)	24 <sup>a</sup> (±9)
Pflanzen mit Blüten(/knospen) (%)	95	88	95
Seitentriebe (Anz.)	5 <sup>a</sup> (±3)	3 <sup>b</sup> (±2)	4 <sup>a,b</sup> (±3)
Wachstumsindex <sup>1</sup>	13,5 <sup>b</sup> (±4,4)	11,4 <sup>a,b</sup> (±4,1)	15,7 <sup>a</sup> (±4,9)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten und innerhalb eines Parameters sind durch abweichende Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Wachstumsindex = (Höhe x Breite 1 x Breite 2)/1000

Zum Abschluss des Versuchs 40 Tage nach der Keimung ließen sich zwischen den Pflanzen in der Kontrolle und dem Substrat mit der finnischen SBM keine Unterschiede hinsichtlich des Trockengewichts feststellen. Auch der Wassergehalt dieser beiden Varianten war mit jeweils 85 % gleich. Die Pflanzen im Substrat aus der SBM aus Hankhausen wiesen im Mittel eine signifikant geringere Trockenmasse von 4,2 Gramm pro Pflanze auf. Der prozentuale Wassergehalt lag im Mittel zwei Prozent unter dem der anderen Varianten, wobei die Standardabweichung mit 8 Prozent doppelt so hoch war.

Tabelle 29: Mittelwert für Trockengewicht (in g) und Wassergehalt (in %) zum Zeitpunkt der Abschlussbonitur von *Zinnia elegans* 'Benary's Riesenlimette' (50 Tage nach Aussaat).

Parameter	Kontrolle	SKS 85 HANK	SKS 85 FIN
Wassergehalt (%)	85 <sup>a</sup> (±4)	83 <sup>a</sup> (±8)	85 <sup>a</sup> (±4)
Trockengewicht (g)	5,0 <sup>a</sup> (±0,9)	4,2 <sup>b</sup> (±1,0)	5,0 <sup>a</sup> (±1,3)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Parameters sind durch abweichende Buchstaben gekennzeichnet.

#### 4.2.6. *Capsicum annuum* 'Feher'

Parallel zum Versuch mit *Zinnia elegans* wurde unter den gleichen Versuchsbedingungen die Paprikasorte 'Feher' kultiviert. Die Ergebnisse unterscheiden sich allerdings hinsichtlich des Substrateinflusses. Das Substrat mit der SBM aus Hankhausen schneidet besser ab als im Versuch mit *Zinnia elegans*. Die Pflanzen unterscheiden sich mit einem durchschnittlichen Trockengewicht von 3,5 g nicht von denen der Kontrolle. Die Pflanzen im Substrat mit der finnischen SBM unterscheiden sich hingegen im Mittel mit 3,2 g signifikant von der Kontrolle.

Entgegen der dem *Zinnia*- und *Capsicum*-Versuch zugrunde liegenden Hypothese zeigten sich auch bei *Capsicum* im Versuch keine Schäden an den vegetativen Pflanzenteilen oder gar Ausfälle. Diese wären aufgrund der Erfahrungen aus den ersten Versuchen mit der SBM aus Hankhausen (Juni Ernte 2015) zu erwarten gewesen. Die Pflanzen zeigten im Vergleich zwischen den Substraten ein einheitliches Wachstumsbild.

Tabelle 30: Anzahl gekeimter Pflanzen von *Capsicum annuum* 'Feher' 21 Tage nach Aussaat.

Parameter	Kontrolle	SKS 85 HANK	SKS 85 FIN
Anzahl gekeimter Pflanzen	51	45	46
Keimrate (%)	85	75	77

Tabelle 31: Mittelwerte für Blattanzahl, Knospenanzahl und Wachstumsindex von *Capsicum annuum* 'Feher' 40 Tage nach Aussaat.

Parameter	Kontrolle	SKS 85 HANK	SKS 85 FIN
Blätter pro Pflanze (Anz.)	8,7 <sup>a</sup> (±1,5)	8,2 <sup>a,b</sup> (±2,2)	7,6 <sup>b</sup> (±2,2)
Generative Knospen pro Pfl. (Anz.)	2,3 <sup>a</sup> (±3,0)	2,9 <sup>a</sup> (±3,2)	1,9 <sup>a</sup> (±3,3)
Wachstumsindex <sup>1</sup>	7,3 <sup>a</sup> (±3,6)	7,6 <sup>a</sup> (±4,3)	6,9 <sup>a</sup> (±4,9)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten und innerhalb eines Parameters sind durch abweichende Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Wachstumsindex = (Breite 1 x Breite 2 x Höhe) / 1000

Tabelle 32: Mittelwerte für Trockengewicht (g) und Wassergehalt (%) von *Capsicum annuum* 'Feher' 50 Tage nach Aussaat.

Parameter	Kontrolle	SKS 85 HANK	SKS 85 FIN
Wassergehalt (%)	85 <sup>a</sup> (±2)	78 <sup>a,b</sup> (±10)	82 <sup>b</sup> (±8)
Trockengewicht (g)	3,8 <sup>a</sup> (±0,9)	3,5 <sup>a,b</sup> (±0,7)	3,2 <sup>b</sup> (±0,9)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten und innerhalb eines Parameters sind durch abweichende Buchstaben gekennzeichnet.

#### 4.2.7 *Euphorbia pulcherrima* 'Premium Ice Crystal'

Aufgrund der Erfahrungen aus dem vorangegangenen Versuch mit *Zinnie* sp. und *Capsicum* sp. wurde der Poinsettia-Verusch 2017 für einen direkten Vergleich zwischen den *Sphagnum*-Herkünften aus Hankhausen, Niedersachsen (SKS 85 HANK) und Aitoneva, Finnland (SKS 85 FIN) genutzt.

Tabelle 33: Mittelwerte für Trockengewicht und VNOP von *Euphorbia pulcherrima* 'Premium Ice Crystal'.

Parameter	Kontrolle	SKS 85 HANK	SKS 85 FIN
Trockengewicht (g)	12,1 <sup>a</sup> (±2,6)	8,7 <sup>b</sup> (±3,1)	12,1 <sup>a</sup> (±2,2)
VNOP <sup>1</sup> (l)	15,5 <sup>a</sup> (±4,1)	13,5 <sup>b</sup> (±3,7)	15,5 <sup>a</sup> (±3,8)

Statistische Auswertung mit Tukey's HSD-Test (P<0,05). Signifikante Unterschiede zwischen den Substraten innerhalb einer Sorte sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

<sup>1</sup>: Berechnung VNOP vgl. Abschnitt 3.9.2

## 4.3. Kompostierung

### 4.3.1. Kompostierung von Grünschnitt aus Landschaftspflegemaßnahmen

Im Rahmen der Kompostierungsversuche konnte Kompost erzeugt werden der den Anforderungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost entspricht. Dieser basierte ausschließlich auf dem Grünschnitt der Landschaftspflegeflächen. Im Verlauf der Versuche wurde auch die Zumischung von Grasschnitt zur Verringerung des C/N-Verhältnis gearbeitet. Die Zugabe von holzigem Strukturmaterial wurde getestet. Es zeigte sich allerdings, dass sie nicht notwendig ist.

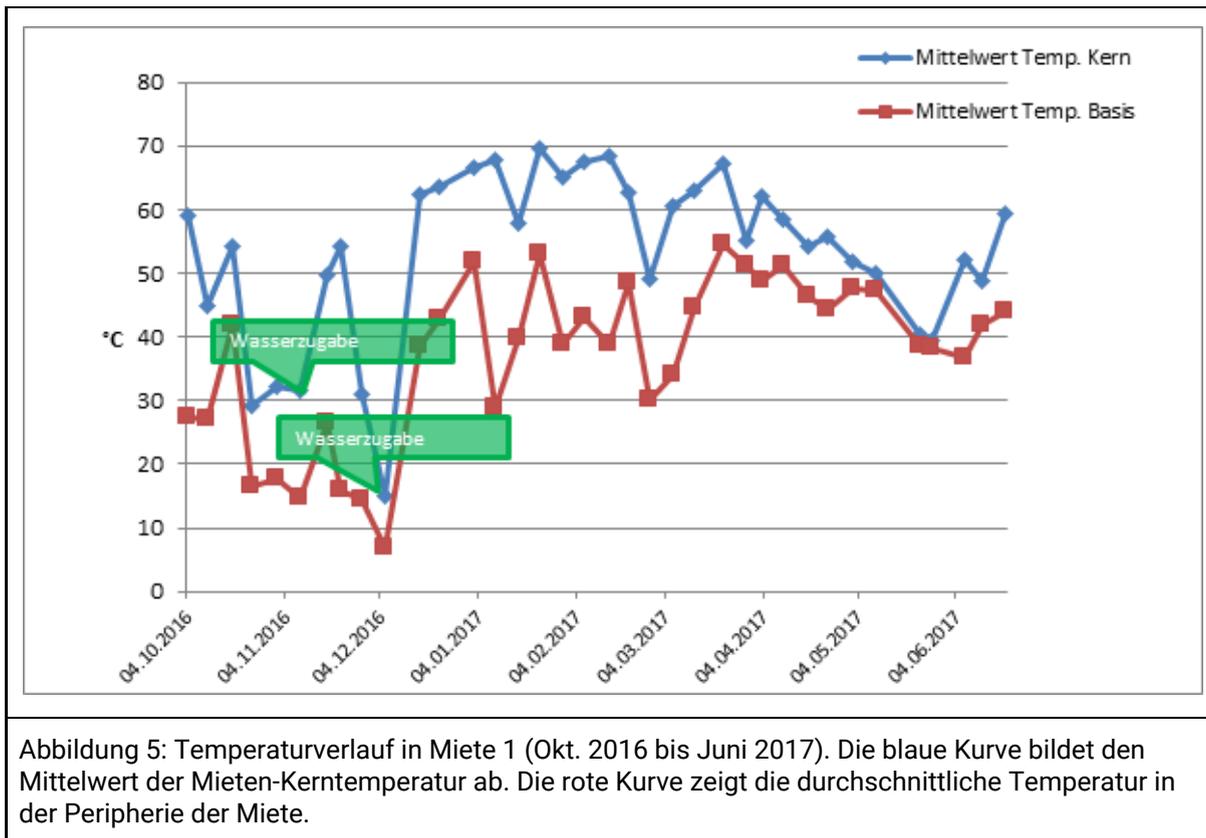
Die Heißrottephase der Miete dauerte im Vergleich zur Kompostierung anderer Materialien lange. Ein anhaltender Temperaturabfall unter 50° C setzte erst nach sieben Monaten ein. Die Mieten wurden regelmäßig mit Wasser versorgt. Nach den Wassergaben stieg die Temperatur jeweils erneut an. Abbildung zeigt exemplarisch den Temperaturverlauf für die Miete 1. Bei ausreichend feuchter Witterung in den Wintermonaten konnte auf Wassergaben verzichtet werden.

Aufgrund des niedrigen Volumens tendierten die Mieten gegen Ende der Rotte zu Vernässung. Der Prüfbericht von Miete 1/2015 weist einen Feuchtegehalt von 81,5% auf. Bei der weiteren Prozessierung führt der hohe Wassergehalt zur Klumpenbildung. Dieser ist für die Absiebung problematisch weil er zu einer Abtrennung der verklumpten Bestandteile führt. Der Kompost aus dem Jahr 2015 wies einen erhöhten Cadmium-Gehalt von 2,3 mg/kg TM auf. Damit wurde der laut Bioabfall-Verordnung zulässige Grenzwert von 1,5 mg/kg Trockenmasse überschritten. Ein Vergleich mit dem in 2016 erzeugten Kompost ist nicht möglich, da hier Grasschnitt zugemischt wurde.

Die Ernte des Grünschnitts auf dem Feuchtgrünland ist aufgrund des wassergesättigten Bodens technisch anspruchsvoll. Es wurden daher verschiedene technische Umsetzungen für den Erntevorgang getestet.

- a) Kettenfahrzeug mit Mähwerk und Sammeleinrichtung. Die Lademenge auf dem Kettenfahrzeug war sehr gering. Dadurch dauerte der Mähvorgang sehr lange und erzeugte höhere Personalkosten. Das geschnittene Material musste am Feldrand zwischengelagert werden. Die Mietkosten für Kettenfahrzeug und Fahrzeugführer lagen deutlich höher als die Beauftragung eines Lohnunternehmers für Mähen und Schwaden.
- b) Mahd mit Kreiselmäher und Abfahrt im Ladewagen - Mahd und Abtransport erfolgten hier gleichzeitig mit einem Doppelgespann. Diese Fahrzeugkombination verfügte über eine deutlich höhere Flächenleistung pro Stunde.

Das Aufsetzen der Mieten auf dem Betriebsgelände erfolgte mit Radlader. Aufgrund der begrenzten Flächenverfügbarkeit konnten nur Mieten vergleichsweise kleine Mieten von 250 bis 300 m<sup>3</sup> aufgesetzt werden. Auch das Umsetzen der Mieten wurde mit dem Radlader vorgenommen. Die Umsetzung erfolgte zu Beginn der Kompostierung im 14 tägigen Rythmus und anschließend in größeren Abständen.



#### 4.3.2. Kompostierung von *Sphagnum*-Biomasse

In Ergänzung zu den Untersuchungen hinsichtlich der Hygienisierung von *Sphagnum*-Biomasse wurde ein Kompostierungsversuch mit einem Kubikmeter *S. fallax* durchgeführt. Dazu wurde das fraktionierte Moos aus der März-Ernte 2016 mit Holzhackschnitzel [aus *Salix sp./Carpinus betulus*; 1 : 1 (Vol.%) ] im Verhältnis 80 : 20 (Vol.%) vermischt und Anfang Juni als Kompostmiete aufgeschichtet (Volumen ca. 1,9 m<sup>3</sup>). Der Anfangswassergehalt lag bei 59 %. Der Temperaturverlauf wurde mittels Temperatursonden am Rand (20 cm unter Oberkante Miete), im Kern und an der Basis (15 cm oberhalb Mietenboden) täglich aufgenommen und dokumentiert. Nach zwei Wochen erreichte die Temperatur im Mietenkern mit 50,2 °C ihren Maximalwert. Temperaturen über 46 °C wurden über einen Zeitraum von zehn Tagen im Mietenkern gehalten. Nach dem Umsetzen der Miete kam es erneut zu einem Temperaturanstieg als Zeichen starker mikrobieller Aktivität. Der Anstieg war allerdings deutlich geringer als in der ersten Umsetzungsphase und erreichte sein Maximum mit knapp 39 °C. Höhere Temperaturen auch in der ersten Kompostierungsphase wären sicherlich erreicht worden, wenn die Miete ein größeres Volumen eingenommen hätte, so wie es bei der professionellen Kompostierung der Fall ist. Die Randeffekte wirken sich besonders stark aus, wenn die Mietenoberfläche mit abnehmendem Mietenvolumen im Verhältnis immer größer wird. Der Versuch sollte allerdings auch nur die grundsätzliche Möglichkeit einer Kompostierung für eine erfolgreiche Hygienisierung darstellen.

#### 4.4. Physikalische Parameter

Im Rahmen der Substratanalytik wurden physikalische Untersuchungen nach mehreren Standardprüfmethoden in Auftrag gegeben. Das Substrat SKS 85 FIN wurde in dreifacher Wiederholung geprüft, um einen Eindruck zu bekommen, wie stark die Werte bei *Sphagnum*-Substraten innerhalb der Methode schwanken. Bei den Untersuchungen nach DIN EN 13041 und der Methode Naaldwijk traten nur minimale Schwankungen bezüglich der ermittelten Parameter auf. Bei der Torf-Rohstoffprüfung waren die Abweichungen zwischen den Einzelproben stärker ausgeprägt. Die ermittelten Werte sind besonders im Hinblick auf die Wasserkapazität interessant. Auf die Trockenmasse bezogen weist das SKS mit der finnischen *Sphagnum*-Biomasse die höchsten Werte für die Wasserkapazität auf. Danach folgt das SKS mit dem *Sphagnum* aus Deutschland und dann das Torfsubstrat. Im Gegensatz dazu lag die Rohdichte des Torfsubstrats deutlich höher als die Rohdichte der *Sphagnum*-Kultursubstrate. Die Werte der Torf-Rohstoffprüfung wurden seitens des Labors unter Vorbehalt abgegeben, da die Methode für die Spezifika von Torfen optimiert ist. Besonders das *Sphagnum* aus Deutschland weicht hier in seinen Eigenschaften ab, da es eher Eigenschaften eines sehr jungen Weißtorfs aufweist. Die Ergebnisse der Torf-Rohstoffprüfung zeigten nicht exakt die gleichen Werte wie die Prüfung nach DIN EN 13041 und nach der Methode Naaldwijk, bestätigten die Werte aber in der Verhältnissen zwischen den Substraten.

Tabelle 33: Physikalische Eigenschaften von SKS 85 (FIN-Sph.), SKS 85 (HANK-Sph.) und KD Rez. 590 nach DIN EN 13041, Methode Naaldwijk und Torf-Rohstoffprüfung

Parameter	SKS 85 FIN I	SKS 85 FIN II	SKS 85 FIN III	SKS 85 HANK	KD Rez. 590
Trockensubstanz <sup>1</sup> (Gew.-%)	49,3	50,0	50,7	37,2	40,7
Rohdichte <sup>1</sup> (g/l)	106	112	116	91	<b>160</b>
Gesamtporenvolumen <sup>1</sup> (Vol.-%)	94	94	94	95	91
Luftvolumen <sup>1</sup> (Vol.-%)	31	28	22	39	11
Wasserkapazität <sup>1</sup> (Vol.-%)	63	66	72	56	80
(g/100gTM)	595	593	<b>619</b>	619	498
Trockensubstanz <sup>2</sup> (Gew.-%)	50,7	53,5	49,4	40,5	38,4
Rohdichte <sup>2</sup> (g/l)	131	133	141	122	<b>168</b>
Gesamtporenvolumen <sup>2</sup> (Vol.-%)	93	93	93	94	90
Luftvolumen <sup>2</sup> (Vol.-%)	18	15	15	26	12
Wasserkapazität <sup>2</sup> (Vol.-%)	75	78	78	68	78
Wassergehalt <sup>3</sup> (Gew.-%)	52,3	50,6	46,5	62,6	60,4
Trockensubstanz <sup>3</sup> (Gew.-%)	47,7	49,4	53,5	37,4	39,6
Rohdichte der org. Masse <sup>3</sup> (g/l)	64	70	73	76	<b>137</b>
Wasserkapazität der org. Masse <sup>3</sup> (g/100g)	<b>1267</b>	<b>1179</b>	<b>1143</b>	1099	625

<sup>1</sup>: nach DIN EN 13041

<sup>2</sup>: nach Analysereeks Naaldwijk (LUFA Nord-West AA 1/1-604)

<sup>3</sup>: Torf-Rohstoff-Prüfung (in Anlehnung an DIN 11540:1989)

## 4.5. WOK-Analyse

Diese Analysen wurden vom Projektpartner MOKURA in Auftrag gegeben. Sie umfassten zwei Teilproben. Einerseits wurden drei Rohstoffproben (Torfsubstrat der Fa. MOKURA, SBM aus Hankhausen und SBM aus Aitoneva ,Finnland) sowie jeweils fünf Töpfe aus den Praxisversuchen der Baumschule Scheper nach Kulturrende analysiert. Das finnische *Sphagnum* zeigte mit sieben Minuten die schnellste Zeit, um in 50 % des Substratvolumens Wasser aufzunehmen. Die SBM aus Hankhausen schnitt mit zehn Minuten unwesentlich schlechter ab. Das Torfsubstrat benötigte für die gleiche Menge Wasser 44 Minuten Aufnahmezeit. Zum Ende des Versuchs hatte die finnische SBM die größte Wassermenge (78 Vol.-%) aufgenommen. Die SBM aus Hankhausen hatte 73 und das Torfsubstrat 76 Vol.-% Wasser aufgenommen.

## 4.6. Bestimmung des Wassergehalts

Die Bestimmung des Volumens von SBM ist maßgeblich von deren Wassergehalt abhängig. Zu jeder Volumenbestimmung sollte der aktuelle Wassergehalt vermerkt werden. Für die Bestimmung des Wassergehalts konnten im Zuge einer ausführlichen Recherche keine Messgeräte identifiziert werden, die eine präzise Ermittlung der in der SBM enthaltenen Wassermenge in Echtzeit ermöglichen. Innerhalb der Versuche im Projekt wurde daher ausschließlich auf die gravimetrische Bestimmung des Wassergehalts zurückgegriffen. Diese ist durch den langwierigen Trocknungsprozess sehr zeitaufwendig. Im Zuge der Recherche kristallisierten sich zwei potentiell geeignete Messverfahren heraus. Aus dem Bereich der dielektrischen Messmethoden bietet sich das Mikrowellenresonanzverfahren an. Hierbei treten die im Material gebundenen Wassermoleküle mit einem von außen angelegten hochfrequenten Wechselfeld in Wechselwirkung. Der Vorteil liegt in der Erfassung des gesamten Wasseranteils sowohl des kapillar gebundenen als auch des außen anhaftenden Wassers. Weiterhin kommt eine Bestimmung mit Hilfe der Nahinfrarotspektroskopie in Frage. Hierbei wird das spezifische Reflektionsvermögen der Wassermoleküle in einem Bereich von 1100 und 2450 nm genutzt. Es handelt sich hierbei vornehmlich um eine Messung der oberflächennahen Schichten. Damit eignet sich dieses Verfahren hauptsächlich für den Einsatz in Mischanlagen an Förderbändern und ähnlichem. Eine Bewertung einer geschütteten Charge ist so nicht möglich.

## 4.7. Einflussfaktoren auf die Substrat-Physik

### 4.7.1. *Sphagnum*-Art

Die verschiedenen *Sphagnum*-Arten weisen unterschiedliche morphologische Eigenschaften hinsichtlich ihres Gewebeaufbaus auf (Anzahl und Geometrie der Hyalocyten, Zellwandstärke, Größe und Anordnung der Astblätter und Äste). Diese bedingen eine unterschiedliche Wasser- und Luftkapazität sowie Materialelastizität. Besonders hingewiesen werden soll auf die unterschiedliche strukturelle Stabilität der *Sphagnum*-Stämmchen. Dies betrifft das Ablöseverhalten der Äste vom Stämmchen. Bei Arten wie *Sphagnum fallax* lösen sich die Äste und Blättchen während der Prozessierung des

Materials relativ leicht. Bei *Sphagnum palustre* oder *papillosum* bleiben sie auch bei mechanischer Beanspruchung länger am Stämmchen. Diese Eigenschaft führt bei der Absiebung des Materials zu unterschiedlichen Ergebnissen. Bei *Sphagnum fallax* ergibt sich eine starke Fraktionierung der Pflanzenteile, die bei *Sphagnum palustre/papillosum* deutlich weniger auftritt.

#### 4.7.2. Fragmentgröße

Frische SBM ist bei der Ernte zunächst fasrig, da die Pflanzen als Ganzes erhalten bleiben. Für eine Verwendung in Substraten müssen sie geschnitten werden. Je kleiner die Fragmente sind, desto komprimierter ist eine Schichtung im Topf möglich. Damit kann pro Topf eine höhere Materialdichte und damit ein höherer Trockenmassegehalt erreicht werden. Dieser ermöglicht wiederum eine höhere Wasserkapazität. Der Schnitt, aber auch die Absiebung des Materials ermöglichen damit eine Einstellung der physikalischen Eigenschaften und damit die Anpassung an verschiedene Anwendungsbereiche.

#### 4.7.3. Topfprozess

Beim Topfen können zwei Parameter die spätere Wachstumsleistung stark beeinflussen. Je höher der Wassergehalt beim Topfen ist, desto besser sackt das Material im Topf. Je trockener die *Sphagnum*-Biomasse ist, desto elastischer reagiert sie auf Druck. Es entsteht beim Topfen ein hohes Luftporenvolumen. Dies kann beim Topfen von trocknerem Material durch höheren Druck beim Andrücken der Pflanze kompensiert werden.

### 4.8. Keimpflanzentests

#### 4.8.1. Keimpflanzentests SBM Anbaufläche Hankhausen

Die Proben für die Keimpflanzentests wurden in den Jahren 2016 und 2017 jeweils an drei Terminen im Sommer und Herbst gezogen. Dabei kam es entgegen der eigentlich vorausgesetzten Unbedenklichkeit des Materials zu Auffälligkeiten. Vier der insgesamt 18 nach VDLUFA I A 10.2.1 untersuchten *Sphagnum*-Proben wurden als auffällig eingestuft. Es handelte sich um Proben aus Juni und August 2017. Dabei stach die Probe aus der Mitte der Produktionsfläche im Juni 2017 besonders heraus. Die Keimpflanzen, die in dieser Probe angezogen wurden, starben während des Versuchs komplett ab. Auch die Probe vom Auslass der Fläche (Juni 2016) zeigte starke Einschränkungen bei der Bewurzelungsintensität der Keimpflanzen und erreichte zu Versuchsende nur 66 % des Frischgewichts der Kontrolle.

### 4.9. Phytotoxische Inhaltsstoffe

Nach dem Auftreten starker allelopathischer Effekte bei den Baumschul- und Zierpflanzenkulturen wurde eine umfangreiche Recherche zu möglichen Ursachen durchgeführt. Schlussendlich wurden Phenolsäuren, die von *Sphagnum*-Arten innerhalb ihres Sekundärstoffwechsels gebildet werden können, als wahrscheinliche Ursache identifiziert. Diese werden in der Literatur (Blum 1996) als Ursache allelopathischer Effekte aufgeführt. Tabelle 33 listet in Frage kommende Phenolsäuren mit allelopathischer Wirkung auf. Daraus wurde die Hypothese abgeleitet, dass die SBM vom Produktionsstandort in Hankhausen (Niedersachsen) diese Phenolsäuren in erhöhten Mengen enthalten und die durchgeführte

Prozessierung (Teilentwässerung, Heißdampfbehandlung) diese nicht aus dem Material entfernen kann. Die gegenüber natürlichen Standorten erhöhte Bildung von Phenolsäuren auf den Produktionsflächen kann in Zusammenhang mit den stark erhöhten Nährstoffgehalten dieser Flächen (Temink et al. 2017/1) stehen. Der Nährstoffeintrag erfolgt in erster Linie über das Bewässerungswasser. Dieses wird aus einem Grabensystem entnommen, das Wasser aus den Entwässerungsgräben der umliegenden landwirtschaftlichen Flächen führt. Diese Flächen, zumeist Grünland, werden innerhalb der gesetzlichen Vorschriften mit Gülle gedüngt. Durch Auswaschung gelangen die Nährstoffe aus der Gülle in das Grabensystem. Für *Sphagnum* stellt das Vorhandensein hoher Nährstoffkonzentrationen eine physiologische Belastung dar. Die Nährstoffe können von *Sphagnum* nur zum Teil in Biomasse umgewandelt werden. Der andere Teil wird durch die Synthese von Sekundärmetaboliten umgesetzt. .

Tabelle 34: Mittels HPLC-Analytik nachgewiesene Phenolsäuren in *Sphagnum*-Biomasse.

Phenolsäure
<i>p</i> -Hydroxybenzoesäure
<i>p</i> -Coumarsäure
<i>Sphagnum</i> -Säure
Hydroxybutenolid
Vanillinsäure
Syringinsäure
Kaffeesäure

Abbildung sechs gibt einen Überblick über die in den Versuchen beobachteten allelopathischen Effekte in den Substratversuchen. Besonders schnell und stark reagierten zu Beginn des Baumschulversuchs (2015) Pflanzen aus den *Malus*-Varianten. Es kam hier innerhalb weniger Tage zur Bildung von Nekrosen. Besonders auffällig war die in Abbildung 5 b) zu beobachtende Chlorosenbildung bei einigen Unkrautsamen, die im Substrat gekeimt waren. Abbildung 5 c) stellt beispielhaft die deutlichen Wachstumsdepressionen dar, die in Versuchen mit der SBM-Herkunft Hankhausen (Ernte Juni 2015) gemacht wurden.



c)



Abbildung 6: Beispiele für Symptome aufgrund allelopathischer Effekte an den Versuchspflanzen a) Eine Pflanze der Sorte 'Roter Herbstkalvill' (*Malus x domestica*) aus der Variante SKS BS 75 ist nach wenigen Tagen im Substrat abgängig. b) Im Substrat enthaltene Beikrautsamen keimten aus und zeigten umgehend starke Chlorosen. c) Vergleich zwischen drei Pflanzen aus dem Poinsettia-Versuch 2015. Die beiden linken Pflanzen in den *Sphagnum*-Kultursubstraten zeigen deutliche Wachstumsdepressionen gegenüber der Pflanze rechts im Kontrollsubstrat.

Bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung wurden alle für die Analytik gezogenen Proben der Jahre 2016 bis 2018 aufbereitet und extrahiert. Es konnte bisher allerdings nur ein Teil der Proben bezüglich der Phenolsäurezusammensetzung und des -gehalts qualifiziert und quantifiziert werden. Dies begründet sich durch eine vorübergehende Nichtnutzbarkeit des am Fachgebiet vorhandenen Massenspektrometers. Mit Abschluss der bereits begonnenen Aufarbeitung des entstandenen Analysestatus werden die noch fehlenden Ergebnisse nachgeliefert.

#### 4.10. Wasseranalytik

Der postulierte Zusammenhang zwischen den aufgetretenen allelopathischen Effekten an den Pflanzen und den im *Sphagnum*-Material identifizierten Phenolsäuren bedingte auch eine Charakterisierung der Bedingungen am Produktionsstandort in Hankhausen. Hierbei muss die Wasserzusammensetzung, insbesondere der Nährstoffgehalt des Wassers, als zentral bedeutend herausgestellt werden. Wie im Gewässermonitoring üblich wurden hierzu im vierwöchigen Rhythmus Wasserproben aus der Schanze (Oberflächengewässer aus dem das Bewässerungswasser gepumpt wird) und von zwei Punkten der Produktionsteilflächen (Wasserein- und auslauf des "Beckens") entnommen. Die Schanze entwässert die umliegenden landwirtschaftlichen Flächen, auf denen regelmäßig Gülle ausgebracht wird. Die Probennahme erfolgte zwischen Februar 2017 und April 2018. Die Proben zeigten hohe Werte für wasserlöslichen Phosphor. Diese schwankten im Jahresverlauf. So lagen sie in der Schanze im Februar, März und April bei 0,27 mg/l, 0,78 mg/l und 0,60 mg/l. Im Grabensystem der Teilfläche lagen sie im April zur gleichen Zeit bereits deutlich höher bei 1,93 mg/l am Einlass und 2,23 mg/l am Auslass. Auch die Stickstoffwerte schwankten im Zeitverlauf. In 2017 konnten in der Schanze im Februar 5,69 mg/l Nitrat gemessen werden. Im März sank der Wert auf 2,96 mg/l. Im April lag er bei 0,73 mg/l und sank bis Juni auf 0,21 mg/l. In den Gräben der beprobten Produktionsteilfläche lagen die Werte jeweils deutlich tiefer. Der Ammoniumgehalt des Schanzenwassers pendelte in 2017 bei Werten unter einem Milligramm pro Liter und stieg nur im Juli mit 1,32 mg/l darüber. In 2018 konnten bereits im zeitigen Frühjahr Werte von 1,34 mg/l (Februar) und 1,50 mg/l Ammonium im März gemessen werden. Im April sank dieser Wert auf 0,93 mg/l NH<sub>4</sub>. Auch hier konnte im Grabensystem der Produktionsteilfläche nur noch ca. ein Drittel des Gehalts nachgewiesen werden.

## 5. Diskussion der Ergebnisse

### 5.1. Substratversuche

#### 5.1.1. Baumschulversuche

Im ersten Jahr der Baumschulversuche, der Vegetationsperiode 2015 wurden erstmalig umfangreiche Probleme mit *Sphagnum*-Kultursubstraten beobachtet. Diese basierten auf *Sphagnum*-Biomasse (SBM), die im Juni 2015 auf der Pilotfläche in Hankhausen geerntet worden war. Die aufgetretenen Blattschäden und Welkeerscheinungen standen in diametralen Gegensatz zu den erwarteten Entwicklungen auf Basis der Vorerfahrungen. Wie

sich im Verlauf der umfangreichen Recherche und Analysen herausstellte, handelte es sich nicht um ein grundlegendes Problem von SBM, sondern um eine vermehrte Bildung von Phenolsäuren in der verwendeten *Sphagnum*-Herkunft. Der genaue Wirkmechanismus der Wachstumsdepressionen bei den Versuchspflanzen ließ sich anhand der durchgeführten Versuche und Analysen noch nicht erklären. Aufgrund der periodisch auftretenden suboptimalen Wachstumsbedingungen am Produktionsstandort in Hankhausen (Niedersachsen) ist von einer Stressreaktion bei *Sphagnum* auszugehen. Das für die Versorgung der SBM verwendete Wasser stammt aus einem Grabensystem, das die umliegenden landwirtschaftlichen Flächen drainiert. In der Vergangenheit kam es immer wieder zur Ausbringung von Gülle, die zum Eintrag erhöhter Nährstoffmengen in das Grabenwasser führte. Für die meisten Pflanzen der umliegenden landwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft stellt dies kein Problem dar. *Sphagnum*, Zeigerpflanze zumeist nährstoffarmer oder nährstoffärmster Standorte, ist an hohe Nährstofffrachten nicht adaptiert. Sie stellen einen Stressfaktor dar. Die Verwertung im Sekundärstoffwechsel unter anderem durch die erhöhte Bildung der identifizierten Phenolsäuren stellt eine mögliche physiologische Strategie zur Kompensation dar. Da bezüglich der Nährstoffeinträge eine jahreszeitliche Dynamik besteht, schwanken auch die Phenolsäuregehalte der SBM. Diese sollte deshalb zum Zeitpunkt der niedrigsten Gehalte geerntet werden. Mit dieser Maßnahme sollten sich die aufgetretenen allelopathischen Effekte vermeiden lassen. Im Zuge einer möglichen Ausweitung der *Sphagnum*-Produktion auf Hochmoorgrünland oder abgetorften Flächen in Niedersachsen sollte der Phenolsäuregehalt von *Sphagnum* stets Berücksichtigung finden. Die Bestimmung von Grenzwerten muss dabei als Voraussetzung für die spätere Inverkehrbringung der SBM gesehen werden.

Mit dem Wechsel zu einer alternativen SBM-Herkunft (Aitoneva, Finnland) im weiteren Verlauf der Baumschulversuche bestätigten sich die hohen Erwartungen an die *Sphagnum*-Kultursubstrate (SKS). Die Wachstumsleistung reichte immer wieder an die Ergebnisse des Torfsubstrats heran oder übertraf diese. Für den überwiegenden Teil der Kulturen manifestierten sich Unterschiede zwischen den Pflanzen der verschiedenen Substrate nur in den Messwerten, jedoch nicht visuell im Bestand. Trotz der in den Versuchen bewusst nicht auf SKS optimierten Bedingungen, entwickelten sich die Pflanzen zur Verkaufsreife. Optimierungspotential besteht hauptsächlich in einem angepassten Bewässerungs- und Nährlösungsmanagement. Die absolute Wasserkapazität der SKS liegt im Durchschnitt unter der von Torfsubstraten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit für kürzere Gießintervalle. Dabei wird pro Bewässerungsgang weniger Wasser benötigt, da die maximal aufnehmbare Wassermenge je Topf geringer ist. In der Summe resultiert daraus kein erhöhter Wasserverbrauch. Der hohe Anteil luftgefüllter Poren in den SKS bedingte in mehreren Versuchen eine sehr schnelle und gute Durchwurzelung der Töpfe. Die bessere Durchwurzelung kann in der Folge den Wasserentzug aus dem Substrat zusätzlich beschleunigen und bedingt gleichzeitig potentiell eine bessere Nährstoffaufnahme. Mangels eines geeigneter technischer Verfahren konnte sie nicht durch Messungen nachgewiesen werden.

Während der Vegetationsperiode wurden Wurzelschäden in den Bereichen von Containern beobachtet, die besonders stark sonnenexponiert waren. Die durch die Topffarbe bedingte Aufheizung der Töpfe bei hohen Temperaturen und hoher Sonneneinstrahlung führt in den SKS zu höheren Substrattemperaturen als im Torfsubstrat. Die im Topfrandbereich

erreichten Temperaturen von 40 °C und mehr führen in der Folge zu einem Absterben der betroffenen Wurzelbereiche. Bedenkt man die zuvor beschriebene schnelle und raumgreifende Durchwurzelung der SKS, wandelt sich der Wurzelwachstumsvorteil unter diesen Bedingungen in einen Entwicklungsnachteil. Der gut entwickelten Pflanze wird in einer physiologisch sehr aktiven Phase wertvolles Wurzelvolumen genommen. Basierend auf diesen Beobachtungen wurden die Versuchspflanzen in der folgenden Vegetationsperiode in terracottafarbene Container umgetopft. Dies resultierte in einer deutlich moderateren Aufheizung der Container während der am Versuchsstandort häufigen Strahlungswetterlagen. Für die Verwendung von SKS in Containerkulturen leitet sich daraus eine klare Empfehlung für die Nutzung von hellen, reflektierenden Containerfarben ab.

Das für SKS häufig postulierte Problem einer erhöhten oder beschleunigten Sackung des Substrats konnte auch in den am längsten dauernden Versuchen bzw. in den größten Containern nicht beobachtet werden. Das geringere Volumengewicht der SKS bedingt im Verlauf der Kultivierung ein tendenziell ungünstigeres Verhältnis zwischen Gesamtopfgewicht (Substrat + Wurzelmasse + Wasser) und dem Gewicht der oberirdischen Pflanzenteile. Da baumschulische Kulturen ab einer bestimmten Größe ohnehin gegen Windwurf gesichert werden müssen, stellt dies keinen betriebswirtschaftlichen Nachteil dar. Für den im Projekt verwendeten Substratkompost zeigte das Mischungsverhältnis 85 : 15 (SBM : Kompost) die besten Ergebnisse. Je nach chemischer Zusammensetzung des verwendeten Komposts kann eine Spannweite von 10 bis 30 Vol.-% als unkritisch angesehen werden.

In der Summe aller Ergebnisse aus den baumschulischen Versuchen bestätigen sich die positiven Erfahrungen vorangegangener Versuche. Damit kann eine Verwendung von *Sphagnum*-Kultursubstraten unter der Beachtung der zuvor beschriebenen kulturtechnischen Anpassungen für die Containerkultur empfohlen werden. Die positiven Erfahrungen der Firma Scheper mit rund 8000 in SBM kultivierten *Callunen* in 2017 untermauern die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse. Die Firma Scheper arbeitet im Ergebnis der guten Verkäufe auch in der aktuellen Vegetationsperiode 2018 wieder mit SKS.

#### 5.1.2. Zier- und Gemüsepflanzenversuche

Die Zierpflanzenversuche zu Beginn des Projekts waren stark von den allelopathischen Effekten der SBM-Herkunft Hankhausen (Juni Ernte 2015) geprägt. Sie führten im *Poinsettia*-Versuch 2015 und im *Bidens*-Versuch zu schlechteren Wachstumsleistungen und erhöhten Ausfallraten in den SKS. Die höheren Ausfallraten in den fester getopften Varianten der SKS im *Poinsettia*-Versuch 2015 lieferten trotzdem wichtige Indizien für die Dosisabhängigkeit der allelopathischen Effekte. Die Zierpflanzen- und Gemüseversuche wurden im weiteren Projektverlauf genutzt, um dem Einfluss verschiedener Mischungskomponenten zu bestimmen. So zum Beispiel der *Poinsettia*-Versuch 2017, in dem ein negativer Einfluss der verwendeten Kompostcharge ausgeschlossen werden konnte. Im Versuch mit *Capsicum* sp. und *Zinnia* sp. konnte gezeigt werden, dass sich der Phenolsäuregehalt durch Trocknung, Wassersättigung und erneutes Auspressen reduzieren lässt. Trotz der verwendeten SBM-Charge Hankhausen (Juni 2015) zeigten sich in diesen Versuchen nur leichte Wachstumsdepressionen ohne stärkere allelopathische Symptome. Schließlich konnten mit dem *Poinsettia*-Versuch 2017 im SKS auf Basis der finnischen SBM der Kontrolle gleichwertige Wachstumsergebnisse erzielt werden.

## 5.2. Kompostierung

### 5.2.1. Kompostierung von Grünschnitt aus Landschaftspflegemaßnahmen

Hochwertiger Substratkompost ist für die Herstellung von Substraten, insbesondere von Biosubstraten von großer Bedeutung. Auch für SKS stellt Kompost eine ideale Mischungskomponente dar. Die Erfahrungen im Bezug auf die Verwendung in Kombination mit SBM waren sehr positiv. Die Marktverfügbarkeit ist allerdings nicht immer reibungslos gegeben. Im Projekt wurde daher der Ansatz verfolgt innerhalb der Fa. Torfwerk Moorkultur Ramsloh eigenen Substratkompost herzustellen. Der dafür verwendete Grünschnitt stammte von betriebseigenen Feuchtgrünlandflächen. Die Kompostierung der dort vorkommenden Pflanzen konnte, trotz eines hohen Anteils der Flatterbinse (*Juncus effusus*) in mehreren Durchgängen erfolgreich umgesetzt werden. Die Dauer der Kompostierung dauerte dabei länger als mit herkömmlichen Grünschnittmaterialien und musste durch Wassergaben zusätzlich unterstützt werden. Im Ergebnis konnte verwendungsfähiger Substratkompost hergestellt werden. Dadurch wird eine effektive Nutzung des im Rahmen der Landschaftspflege (Offenhaltung der Nassflächen) anfallenden Grünschnitts möglich. Im Ergebnis ist die Durchführung der naturschutzfachlich notwendigen Maßnahmen auch eine Wertschöpfung durch die Nutzung als Substratrohstoff möglich geworden. In der Kombination mit SBM steht damit ein technisch voll funktionsfähiges Torfersatzsubstrat zur Verfügung.

Die in einzelnen Chargen festgestellten Cadmiumwerte müssen für eine weitere Nutzung des Grünschnitts auf ihre Ursache zurückgeführt werden.

### 5.2.2. Kompostierung von *Sphagnum*

Der im Projekt durchgeführte Versuch zur Kompostierung lieferte einen ersten Nachweis, dass die Kompostierung von *Sphagnum* eine Option für die Hygienisierung darstellt. Es bietet sich damit potentiell eine kostengünstige und energiesparende Alternative zu Hitze- oder UV-basierten Verfahren. Nach der Ernte der SBM müsste vor der weiteren Prozessierung ohnehin eine Lagerung erfolgen und könnte damit parallel zur Hygienisierung genutzt werden. Im Versuch wurden Temperaturen von über 45° C über zehn Tage gehalten. Dies führte im durchgeführten Unkrauttest zu einer Abtötung der enthaltenen Pflanzensamen. Weitere Versuche mit ausreichend großen Mieten müssten nun die Einflussfaktoren auf die Temperaturentwicklung identifizieren.

## 5.3. WOK-Analyse

Die Prüfung der beiden *Sphagnum*-Proben aus Hankhausen und Finnland zeigte eine rund sechs mal schnellere Wasseraufnahme des finnischen *Sphagnum*-Materials gegenüber dem Torfsubstrat. Diese schnelle Wiederbenetzung mit Wasser ist als positive Eigenschaft zu werten und spricht für eine schnelle und gleichmäßige Versorgung des Wurzelraums mit Nährlösung während des Bewässerungsvorgangs. Dies kann insbesondere für Ebbe-Flut-Systeme von Vorteil sein.

Die Aussagen der WOK-Analyse sind insofern von großem Vorteil, als dass die Messungen an getopften und bewachsenen Wurzelballen durchgeführt wurden und somit eine Aussage zu den tatsächlichen Verhältnissen während der Kultur möglich ist.

## 5.4. Substratphysik

Die Substratphysik übt bei SKS einen entscheidenden Einfluss auf die Wachstumsleistung aus. Während die relative Wasserkapazität von SKS die von Torfsubstraten häufig übersteigt, liegt die absolute Wasserkapazität pro Topf niedriger. Das niedrigere Volumengewicht kann eine insgesamt geringere Substrattrockenmasse pro Topf bedingen. Bei der Verwendung von reinen SKS unter Produktionsbedingungen (Kulturführung, Einstellung der Topfmaschine, usw.), die für die Verwendung von Torfsubstraten optimiert sind, bestehen folgende Möglichkeiten, die potentiell geringere Wasserkapazität pro Topf zu kompensieren:

- ❖ Verkürzung der Gießintervalle und -dauer
- ❖ Verwendung fein geschnittener SBM

Das Volumengewicht von *Sphagnum*-Substraten ist maßgeblich von dessen aktuellen Wassergehalt abhängig, da es im Verhältnis zum Trockengewicht der SBM einen hohen Anteil am Gesamtgewicht hat. Dies ist ein deutlicher Unterschied zu Torfsubstraten. Daraus ergibt sich eine mögliche Erklärung für die in den Versuchen teilweise beobachtete verminderte Wachstumsleistung in den SKS. Der Gewebeaufbau von *Sphagnum* ist, verglichen mit anderen Gefäßpflanzen, relativ einfach. Einen Großteil der Pflanzenmasse machen Chlorozyten und Hyalozysten aus. Diese verleihen der SBM eine hohe Elastizität. Sie wird sehr stark vom Wassergehalt beeinflusst. Mit steigendem Wassergehalt verliert das Material seine Elastizität und wird durch das höhere Eigengewicht stärker komprimiert. In einem gegebenen Volumen füllt es dann weniger Raum aus. Damit würde beim Einfüllen von Substrat in Töpfe der Anteil von Substrattrockenmasse mit dem Wassergehalt steigen. Dies sollte beim Umgang mit SKS in der Praxis unbedingt stets Berücksichtigung finden.

## 5.5. Phytotoxische Inhaltsstoffe

*Sphagnum* bildet innerhalb seines Sekundärstoffwechsels unter anderem Phenolsäuren. Diese werden vornehmlich in die Zellwandstrukturen eingelagert, können aber auch wasserlöslich innerhalb von SBM vorkommen. Diese Phenolsäuren können bei der Verwendung von SBM in gärtnerischen Substraten gelöst werden und allelopathische Wirkung auf die darin kultivierten Pflanzen haben. Die Reaktion der Pflanzen ist artabhängig. Die Symptome sind vielfältig und häufig unspezifisch (Welke, Chlorosen, Nekrosen, geringes Wachstum). Allgemein kommt es zu einer Wachstumsdepression. Die Ursachen liegen in einer verminderten Aufnahmefähigkeit für Wasser und Nährstoffe durch die Schädigung der Wurzeln und eine Störung der Aufnahmeprozesse in die Wurzel. Phenolsäuren wirken sowohl allein als auch in Kombination phytotoxisch. Das gemeinsame Auftreten verschiedener Phenolsäuren verringert die für eine Schädigung notwendige Konzentration der einzelnen Phenolsäuren (Blum 1996).

Der Nachweis von pflanzenschädigenden Phenolsäuren in SBM stellt eine wichtige, zu beachtende Tatsache für die Verwendung im professionellen Gartenbau dar. Sie wird dadurch nicht verhindert oder maßgeblich eingeschränkt. Allerdings wird sie zum wichtigen Prüfkriterium für den Rohstoff SBM und sollte in jedem Fall in die Liste der Gütekriterien von substratfähiger SBM aufgenommen werden. Bislang stehen hierfür keine Grenzwerte zur Verfügung. Um diese für einzelne Phenolsäuren oder deren Kombination zu definieren, sind systematische wissenschaftliche Untersuchungen dringend notwendig.

Neben der Charakterisierung der Effekte erhöhter Phenolsäuregehalte sollten die Zusammenhänge bezüglich der Bildung genauer untersucht werden. Der Einfluss der Umweltbedingungen, insbesondere der Nährstoffkonzentration am Produktionsstandort steht im Vordergrund. Die Wachstumsbedingungen für *Sphagnum* im Hinblick auf den Sekundärmetabolismus könnten damit in Zukunft ein zentrales Auswahlkriterium für den Produktionsstandort oder das Produktionssystem darstellen. Neben den bislang stark landwirtschaftlich geprägten Ansätzen der *Sphagnum*-Produktion bieten gartenbautechnisch basierte Systeme zahlreiche Optimierungsmöglichkeiten und sollten daher wieder stärker in den Fokus der wissenschaftlichen Betrachtung rücken.

## 6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.

Innerhalb des vorliegenden Projekts konnte die Machbarkeit gärtnerischer Pflanzenproduktion in Kultursubstraten gezeigt werden, die ohne Torfzusatz aus den Hauptbestandteilen *Sphagnum*-Biomasse und Grünschnittkompost bestehen. Dies konnte sowohl für Zierpflanzen- als auch für Baumschulkulturen erfolgreich nachgewiesen werden. Die entwickelten Substratmischungen sind so ohne weitere Anpassungen in der Praxis anwendbar. Sie können allerdings, wie auch sonst bei Torfsubstraten üblich, an die speziellen Erfordernisse von Kulturen und Betrieben angepasst werden. Die Erfahrungen mit den beiden im Projekt verwendeten *Sphagnum*-Herkünften und damit auch Artenmischungen unterstreichen klar die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen zu den unterschiedlichen Eigenschaften der *Sphagnum*-Arten. Dies sind in erster Linie morphologisch bedingte Unterschiede der Arten, die zu unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften führen. Diese bedingen wiederum abweichende Eigenschaften bezüglich der Wasserkapazität, des Volumengewichts oder der mikrobiellen Umsetzung.

Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich des Sekundärinhaltsstoffprofils zeigen klar die Notwendigkeit einer chargenbezogenen Rohstoffprüfung von SBM vor ihrer Verwendung in SKS. Diese sollte im Rahmen des zukünftigen Handels mit SBM oder verarbeiteten SKS zum Standard werden.

Dies betrifft sowohl physikalische als auch chemische Parameter. Diese Notwendigkeit stellt keine Einschränkung bezüglich der Verwendbarkeit des Materials dar. Sie wird in entsprechend abgewandelter Form auch standardmäßig bei Torf vorgenommen. Sollten je nach Herkunft bestimmte, noch genau zu definierende Grenzwerte überschritten werden, kann die betreffende Charge nicht für die Verwendung freigegeben werden.

## 7. Gegenüberstellung der geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.

Die Optimierung eines an die Ausgangsmaterialien angepassten Kompostierungsprotokolls konnte nicht in der angestrebten Detailtiefe und im geplanten Umfang durchgeführt werden. Die dazu notwendige Kompostierungsanlage beim Projektpartner MOKURA konnte innerhalb der Projektlaufzeit nicht erstellt werden. Das Genehmigungsverfahren verzögerte sich zeitlich so erheblich, dass eine bauliche Umsetzung bis zum Projektende nicht stattfinden konnte. Die eingeschränkten vorhandenen Möglichkeiten wurden für eine Versuchsdurchführung im kleineren Umfang genutzt. Der Einfluss der für den Kompost

verwendbaren Pflanzenarten konnte damit nur exemplarisch und nicht systematisch geprüft werden.

Aufgrund der unerwarteten Probleme mit der zunächst verwendeten SBM-Charge aus der Juni Ernte 2015 (Hankhausen) mussten die Pflanzen der Baumschulversuche wieder aus dem Substrat entnommen, zwischengetopft und im Frühjahr 2016 erneut getopft werden. Dies bedeutete einen erheblichen Mehraufwand von ca. 2000 zusätzlichen Topfungen und den damit verbundenen Arbeiten. Das Auftreten der starken allelopathischen Effekte initiierte erst die umfangreiche Ursachensuche, die im Ergebnis zu einem besseren Verständnis des Rohstoffs *Sphagnum*-Biomasse führte und damit einen deutlichen Zusatznutzen zu den ursprünglichen Projektzielen generieren konnte.

Aus den Beobachtungen für das Material vom Pilotproduktionsstandort in Hankhausen ergeben sich weitere Fragestellungen für die landwirtschaftliche Kultivierung von *Sphagnum* in diesem Produktionssystem. Ein kontinuierliches Monitoring der Wasserwerte in den umgebenden Grabensystemen und die Bestimmung des Gehalts an relevanten Phenolsäuren sollten standardmäßig durchgeführt werden. Die hinter der erhöhten Bildung stehenden pflanzenphysiologischen Mechanismen sollten aufgeklärt werden und zur Festlegung von Grenzwerten führen. Nur so kann die Kultivierung von SBM als hochwertigem Substratrohstoff in einem stark von Nährstoffeintrag beeinflussten Umfeld langfristig gelingen.

Die notwendige Verwendung von unterschiedlichen *Sphagnum*-Herkünften im Projekt verdeutlichte die Abhängigkeit der physikalischen Eigenschaften von der Artenzusammensetzung und Prozessierung der SBM. Hier besteht der dringende Bedarf, diese systematisch zu charakterisieren, um eine industrielle Verwendung in einem standardisierten Umfeld möglich zu machen.

Hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften kommt der präzisen Bestimmung des aktuellen Wassergehalts eine zentrale Bedeutung zu. Wichtige weitere Parameter wie Schüttdichte und Volumengewicht hängen davon ab. Die derzeit existierenden Messverfahren sind zeitintensiv oder bezüglich der Messtechnik sehr teuer und damit noch nicht praxisrelevant.

## 8. Zusammenfassung

*Sphagnum*-Kultursubstrate (SKS) sind gärtnerische Substrate, die zum überwiegenden Teil aus *Sphagnum*-Biomasse (SBM) bestehen. Als SBM werden teilentwässerte, hygienisierte und geschnittene Pflanzenteile der Gattung *Sphagnum* verstanden. SBM stellt einen Torfersatzstoff im eigentlichen Sinne dar, da sie Torf in gärtnerischen Substraten vollständig ersetzen kann, ohne kulturtechnische Nachteile zu verursachen. In zahlreichen wissenschaftlichen Versuchen konnte die Eignung von SKS für die gartenbauliche Anwendung bereits nachgewiesen werden. Das vorliegende Projekt konnte mit umfangreichen Versuchen zur Nutzung in baumschulischen Kulturen dazu einen umfangreichen Beitrag leisten. Im Zusammenhang mit den Substratversuchen des Projekts konnten einige spezifische Eigenschaften von SBM charakterisiert werden.

SKS weisen aufgrund ihrer Struktur ein geringeres Volumengewicht auf. Gleichzeitig besitzt SBM eine höhere Elastizität als Weißtorf. Wird bei der Topfung die gleiche Technik angewendet, befindet sich in einem Topf mit einem SKS im Durchschnitt weniger Substrat (bezogen auf die Trockensubstanz) als in einem Topf mit Standard-Torfsubstrat. Dieser

Nachteil kann durch eine entsprechende Anpassung der Topftechnik in der Praxis kompensiert werden. In den im Projekt durchgeführten Substratversuchen wurde die Bewässerung für die SKS nicht spezifisch angepasst. SKS neigen zu einer etwas schnelleren Austrocknung als Torfsubstrate. Für die Anwendung in der Praxis wird daher eine Anpassung der Gießintervalle empfohlen. Es sollte häufiger, dafür aber in geringeren Mengen bewässert werden. Die schnellere Austrocknung der SKS kann sich bei strahlungsintensiven Wetterlagen durch dunkle Farben der Töpfe/Container zusätzlich beschleunigen. In den Versuchen entwickelten sich in schwarzen Töpfen in SKS höhere Substrattemperaturen als in den Kontrollsubstraten. Durch die Verwendung von hellen, reflektierenden Farben bei den Töpfen/Containern lässt sich die stärkere Aufheizung effizient vermeiden. In den Substratversuchen wurde ein breites Spektrum baumschulischer Kulturen untersucht und die Eignung von SKS für diese Anwendung erfolgreich nachgewiesen.

## 9. Literaturverzeichnis

- Alexander, P. D., N. C. Bragg, R. Meade, G. Padelopoulos, and O. Watts. n.d. "Peat in Horticulture and Conservation: The UK Response to a Changing World." *Mires and Peat* 3. Accessed September 3, 2018. <https://pdfs.semanticscholar.org/bb9c/42d2b557cd438d1322c9a23df1a5e9609400.pdf>.
- Altmann, M. 2008. "Socio-Economic Impact of the Peat and Growing Media Industry on Horticulture in the EU." EPAGMA.
- Blum, U. 1996. "Allelopathic Interactions Involving Phenolic Acids." *Journal of Nematology* 28 (3): 259–67.
- Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. 2007. "Qualitätskriterien Und Güterrichtlinien - Substratkompost -." Von-der-Wettern Str. 25; D-51149 Köln-Gremberghoven: Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. [https://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Guetesicherung\\_Kompost/Guetekriterien\\_Kompost\\_2007.pdf](https://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Guetesicherung_Kompost/Guetekriterien_Kompost_2007.pdf).
- Easlon, Hsien Ming. n.d. *ELA-Easy Leaf Area*. heaslon@gmail.com.
- Easlon, Hsien Ming, and Arnold J. Bloom. 2014. "Easy Leaf Area: Automated Digital Image Analysis for Rapid and Accurate Measurement of Leaf Area." *Applications in Plant Sciences* 2 (7). <https://doi.org/10.3732/apps.1400033>.
- ICL. n.d. "Exemptor." Exemptor. Accessed August 8, 2018. [https://icl-sf.com/de-de/products/ornamental\\_horticulture/exemptor-exemptor/](https://icl-sf.com/de-de/products/ornamental_horticulture/exemptor-exemptor/).
- Knoll, Thomas, and Knoll John. 2015. *Photoshop CC* (version Version: 2015.0.0 20150529.r.88). Windows 10 64 bit.
- Meinken, Elke. 2010. "Vorstellung Weiterer Ausgangsstoffe: Qualitätsanforderungen Und Verfügbarkeit." presented at the Verwendung und Substitution von Torf - Verantwortliche Nutzung von Rohstoffen im Klimawandel, Fulda.
- Quinty, F., and L. Rochefort. 2003. "Peatland Restoration Guide." Canadian Peat Moss Association and New Brunswick Department of Natural Resources and Energy.
- Reinikainen, O., J. Korpi, R. Tahvonen, J. Näkkilä, N. Silvan, and K. Silvan. 2012. "Harvesting of Sphagnum Biomass and Its Use as a Growing Medium Constituent." In *Proceedings of the 14th International Peat Congress*.
- Ryan, P., J. F. Creedon, D. Ni Chualain, and C. Farrell. 2012. "Sphagnum Regeneration on Irish Cutaway Peatlands." In *Proceedings of the 14th International Peat Congress*.
- Schmilewski, G. 2009. "GROWING MEDIUM CONSTITUENTS USED IN THE EU." *Acta*

*Horticulturae*, no. 819: 33–46.

Temmink, Ralph J. M., Christian Fritz, Gijs van Dijk, Geert Hensgens, Leon P. M. Lamers, Matthias Krebs, Greta Gaudig, and Hans Joosten. 2017/1. "Sphagnum Farming in a Eutrophic World: The Importance of Optimal Nutrient Stoichiometry." *Ecological Engineering* 98: 196–205.

Terraflor. n.d. "Radigen." Radigen. Accessed August 8, 2018. <https://www.terraflor.de/produkte/spurenaehrstoff-mischduenger/radigen.html>.

Verhagen, Hans. n.d. "RHP - Website." WOK. Accessed August 8, 2018. <https://www.rhp.nl/en/wok>.

## 10. Veröffentlichungen

Bisherige Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse innerhalb des Projektes:

Teilnahme am 3rd International Sphagnum Farming Workshop in Lingen im September 2017. Dieser Workshop stellt das internationale Forum für den Austausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft im Bereich *Sphagnum* Farming dar. Im Zusammenhang dieser Veranstaltung wurde ein Review erstellt: Gaudig et. al (2018): *Sphagnum* farming from species selection to the production of growing media: a review; Mires and Peat, Vol. 20 (Art.13), pp.1-30, DOI: 10.19189/MaP.2018.OMB.340

Publikationen:

G. Gaudig, M. Krebs, A. Prager, S. Wichmann, M. Barney, S.J.M. Caporn, M. Emmel, C. Fritz, M. Graf, A. Grobe, S. Gutierrez Pacheco, S. Hogue-Hugron, S. Holzträger, S. Irrgang, A. Kämäräinen, E. Karofeld, G. Koch, J.F. Koebbing, S. Kumar, I. Matchutadze, C. Oberpaur, J. Oestmann, P. Raabe, D. Rammes, L. Rochefort, G. Schmilewski, J. Sendžikaitė, A. Smolders, B. St-Hilaire, B. van de Riet, B. Wright, N. Wright, L. Zoch and H. Joosten(2018): *Sphagnum* farming from species selection to the production of growing media: a review; Mires and Peat, Vol. 20 (Art.13), pp.1-30, DOI: 10.19189/MaP.2018.OMB.340

S. Irrgang, A. Blievernicht, C. Ulrichs, S. Kumar (2019): Calluna Produzent setzt erfolgreich *Sphagnum*-Kultursubstrate ein; TASPO Nr. 26 S. 36

Nachdruck: S. Irrgang, A. Blievernicht, C. Ulrichs, S. Kumar (2019): Calluna Produzent setzt *Sphagnum*-Kultursubstrate ein; Gärtnerbörse Nr. 39 S. 44ff

Geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse:

Die Ergebnisse des Projektes sollen innerhalb von drei Fachaufsätzen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht werden. Dabei sollen die Themenbereiche Substratentwicklung und -eignung für gärtnerische, insbesondere baumschulische Kulturen, allelopathische Effekte von *Sphagnum*-Biomasse und die angewendeten Phänotypisierungsverfahren im Vordergrund stehen.

Darüber hinaus wäre eine Vorstellung der Projektergebnisse im Rahmen des 50th IPS Anniversary Jubilee Symposium ("Peatlands: past, present and future") in Rotterdam im September 2018 sinnvoll. Eine Finanzierung aus Mitteln des vorliegenden Projekts ist nicht mehr möglich.