

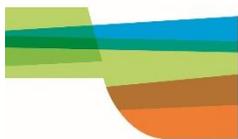
Die Nutzung von Rohrkolben (*Typha* spp.) und Schilf (*Phragmites australis*) als Substratausgangsstoff



Literaturstudie

Stand 1. Halbjahr 2021

**PALUDI
KULTUR**



OptiMOOS

OptiMOOS

Verbundprojekt „Torfmooskultivierung optimieren: Wassermanagement, Klimabilanz, Biodiversität & Produktentwicklung“

Arbeitspaket 2: **Paludikultur-Substrat**

Bearbeitet von: **Melanie Lüdtkke**

Gefördert durch:



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis.....	3
1 Einleitung.....	4
2 Rohrkolben.....	5
2.1 Aufbereitung als Substratausgangsstoff.....	6
2.1.1 Häckseln.....	6
2.1.2 Auffasern.....	6
2.1.3 Kompostieren/Fermentieren	7
2.2 Substratrelevante Eigenschaften.....	8
2.2.1 Physikalische Eigenschaften	8
2.2.2 Chemische Eigenschaften.....	9
2.2.3 Biologische Eigenschaften	13
2.3 Substrate in pflanzenbaulichen Versuchen.....	15
3 Schilf.....	19
3.1 Aufbereitung als Substratausgangsstoff.....	20
3.1.1 Häckseln.....	20
3.1.2 Auffasern.....	20
3.1.3 Kompostieren/Fermentieren	21
3.2 Substratrelevante Eigenschaften.....	23
3.2.1 Physikalische Eigenschaften	23
3.2.2 Chemische Eigenschaften.....	25
3.2.3 Biologische Eigenschaften	30
3.3 Substrate in pflanzenbaulichen Versuchen.....	32
4 Ausblick.....	37
5 Literaturverzeichnis.....	38
6 Quellenverzeichnis der persönlichen Mitteilungen.....	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderung der Stickstoffgehalte während der Bebrütung von <i>Phragmites australis</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> und <i>Typha latifolia</i> ohne, nach dreiwöchiger und nach abgeschlossener Kompostierung.	7
Abbildung 2: Korngrößenverteilung von Rohrkolben-Material in Volumen-Prozent nach Auffaserung mittels Extruder-Technik.	9
Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Chloridgehalt und Erntezeitpunkt.	10
Abbildung 4: Veränderung der Stickstoffgehalte in Substratrohstoffen und deren Mischungen nach 20 Tagen Bebrütung.	14
Abbildung 5: Kumulierte CO ₂ -Emissionen von ungekalkter (a) sowie aufgekalkter (b) <i>Typha</i> -Biomasse und Torf nach 13 Tagen Inkubation.	14
Abbildung 6: Durchschnittliches Sprossgewicht (g) von Gartenkresse bei steigendem <i>Typha</i> -Anteil im Substrat.	15
Abbildung 7: Durchschnittlicher Stickstoffgehalt in der Trockenmasse von Gartenkresse bei steigendem <i>Typha</i> -Anteil im Substrat.	15
Abbildung 8: Durchschnittliches Sprossgewicht (trocken) von Tomaten bei steigendem <i>Typha</i> -Anteil im Substrat.	16
Abbildung 9: Boniturergebnisse des oberirdischen Wachstums von Chinakohl bei steigendem <i>Typha</i> -Anteil im Substrat.	17
Abbildung 10: Sprossgewicht (trocken) von Begonien in unterschiedlichen Substratmischungen zu Versuchsende.	18
Abbildung 11: Volumengewichtsveränderung von Schilf-Material vor und nach Extrusion.	20
Abbildung 12: Temperaturverlauf während der Kompostierung von Paludikultur-Biomasse sowie Erfassung von Stickstoffgaben, Umsetzen und Trockenmasseverlust.	21
Abbildung 13: Stickstoff-Immobilisierung von gehäckseltem Paludimaterial im Brutversuch in Abhängigkeit von der Kompostierungsdauer.	22
Abbildung 14: Veränderung der Stickstoffgehalte während der Bebrütung von <i>Phragmites australis</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> und <i>Typha latifolia</i> ohne Kompostierung und nach dreiwöchiger Kompostierung.	23
Abbildung 15: Wasserfreisetzungskurve für ausgewählte Substratmischungen.	24
Abbildung 16: Korngrößenverteilung von extrudiertem Schilf-Material in Prozent.	25
Abbildung 17: Konzentration verbrennungskritischer Inhaltsstoffe von fünf verschiedenen Schilfbeständen (<i>Phragmites australis</i>) im Oktober und Januar/Februar in Norddeutschland.	25
Abbildung 18: Chloridgehalte von <i>Typha</i> , <i>Phragmites</i> , <i>Phalaris</i> und <i>Carex</i> aus dem Freisinger Moor bei unterschiedlichen Erntezeitpunkten und Wasserständen.	26
Abbildung 19: Brutversuch zur Bestimmung der N-Immobilisation in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt.	30
Abbildung 20: Kumulierte CO ₂ -Emissionen von Substratrohstoffen und deren Mischungen nach 13 Tagen Inkubation.	32
Abbildung 21: Trockenmassenerträge von <i>Euphorbia pulcherrima</i>	33
Abbildung 22: Frischgewichtsertrag des Chinakohlversuchs mit Schilf „+ Hornspäne“.	34

Abbildung 23: Trockengewichtertrag des Chinakohlversuchs mit Schilf „+ Hornspäne“.....	34
Abbildung 24: Oberirdisches Erscheinungsbild des Chinakohlversuchs mit Schilf „+ Hornspäne“	35
Abbildung 25: Unterirdisches Erscheinungsbild des Chinakohlversuchs mit Schilf „+ Hornspäne“	35
Abbildung 26: Prozentualer Anteil der Frischmasse im Bezug zur Kontrolle aus dem Chinakohl-Test von kompostierter und unbehandelter Paludikultur-Biomasse.....	36
Abbildung 27: Sprossgewicht (trocken) von Pelargonien in unterschiedlichen Substratmischungen zu Versuchsende.....	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maximale Wasserhaltekapazität (WHK_{max}), Wasserkapazität und pflanzenverfügbares Wasser von gehäckseltem und gesiebt (3-6 mm) <i>Typha</i> -Material und Torf.	9
Tabelle 2: Gehalte an Hemicellulose, Cellulose und Roh-Lignin in Rohrkolben-Biomasse aus Wintermahd.	11
Tabelle 3: Gehalte an organischem Kohlenstoff und salzextrahierbaren Kohlenstoffverbindungen von Torf und <i>Typha</i>	11
Tabelle 4: Analysenergebnisse von pH-Wert, Salzgehalt, Nährstoffen und C/N-Verhältnis von <i>Typha</i>	12
Tabelle 5: Veränderung der pH-Werte unterschiedlicher Substratmischungen mit kompostiertem <i>Typha</i> -Anteil im Kulturversuch mit <i>Pelargonium zonale</i>	12
Tabelle 6: Trockenmasse von Chinakohl aus Keimpflanzentests mit <i>Typha</i> -Biomasse.	17
Tabelle 7: Maximale Wasserhaltekapazität (WHK_{max}), Wasserkapazität und pflanzenverfügbares Wasser von gehäckseltem und gesiebt (3-6 mm) Schilfmaterial und Torf.....	24
Tabelle 8: Chemische Zusammensetzung von Schilf-Materialproben unterschiedlicher Standorte.....	26
Tabelle 9: Gehalte an organischem Kohlenstoff und salzextrahierbaren Kohlenstoffverbindungen von Torf und Schilf.	27
Tabelle 10: Ergebnisse von pH-Wert, Salzgehalt und Nährstoff-Analyse von Schilf-Material.....	28
Tabelle 11: Ergebnisse von pH-Wert, Salzgehalt und Nährstoff-Analyse von Schilf-Material in Mischungen und kompostiert.	28
Tabelle 12: Veränderung der pH-Werte unterschiedlicher Substratmischungen mit Schilfanteil zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende.....	29
Tabelle 13: Veränderung der pH-Werte unterschiedlicher Substratmischungen mit kompostiertem Schilfanteil im Kulturversuch mit <i>Pelargonium zonale</i>	29
Tabelle 14: Gehalte an Hemicellulose, Cellulose und Lignin in unterschiedlich aufgefaserter Schilf-Biomasse sowie deren pH-Werte.....	30

1 Einleitung

Auf der Suche nach geeigneten Ersatzstoffen für Torf werden immer wieder neue Rohstoffe auf ihre Eignung als Substratbestandteil geprüft, wobei auch der ökologische Aspekt eine wichtige Rolle spielt (Eymann et al., 2015). Mooren wird ein großes Potential im Klima- und Artenschutz zugeschrieben, auch wiedervernässten Moorstandorten. Die produktive Nutzung solcher Standorte wird als Paludikultur bezeichnet, und bietet eine klimaschonende und nachhaltige Möglichkeit zur Bewirtschaftung nasser Moorböden. So können zum Beispiel Torfmoose auf wiedervernässtem Hochmoor angebaut, und die Biomasse als Torfersatzstoff in Kultursubstraten eingesetzt werden (Wichtmann et al., 2016).

Das Verbundprojekt OptiMOOS steht für: „Torfmooskultivierung optimieren: Wassermanagement, Klimabilanz, Biodiversität & Produktentwicklung“. Im Projekt wird die Produktion und Ernte von Torfmoos aus Paludikultur weiter optimiert. Ein Teilbereich des Projektes beschäftigt sich mit der Produktentwicklung und prüft die Eignung von Rohrkolben und Schilf als Substratausgangstoffe. In Kombination mit Torfmoos-Biomasse soll ein gartenbauliches Substrat aus Paludikulturpflanzen entwickelt werden. Hierfür wird das auf der Versuchsfläche geerntete Material von Rohrkolben, Schilf und Torfmoos untersucht und weiterverarbeitet. Anschließend hergestellte Substratmischungen werden in Versuchen mit unterschiedlichen Kulturen auf ihre Eignung getestet.

Um einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand und die derzeitige Nutzung von Rohrkolben und Schilf als Ausgangsstoffe für Substrate zu erhalten, wurde zu Beginn des Teilprojektes (Anfang 2021) hierzu recherchiert und die Ergebnisse hier zusammengefasst. Neben einer kurzen Einführung zu den Pflanzen und ihrer allgemeinen Nutzungsmöglichkeiten folgt die Sammlung der bisherigen Verwendung im Substrat-Bereich. Es werden unterschiedliche Aufbereitungsmethoden aufgeführt, die nötig sind, um das Material für den Einsatz nutzbar zu machen. Im Weiteren werden die für gärtnerische Substrate relevantesten Eigenschaften betrachtet sowie abschließend bekannte Ergebnisse aus Versuchen mit Pflanzen.

2 Rohrkolben

Rohrkolben gehört zur Familie der Rohrkolbengewächse (*Typhaceae*) innerhalb der Ordnung der Süßgrasartigen (*Poales*). Es handelt sich um eine ausdauernde Wasser- und Sumpfpflanze, die weltweit verbreitet ist und ein kräftiges Rhizom ausbildet. Oft werden monodominante dichte Bestände mit Wuchshöhen von etwa 2,5 bis zu 4 Metern erreicht. Es sind dauerhaft Wasserstände in oder über Flur nötig, aber es wird auch langfristige Überstauung sowie Salz- und Brackwasser toleriert. Der Stängel wächst aufrecht und ist wechselständig beblättert. Charakteristisch ist der Blütenstand, welcher aus einem auffälligen Kolben (weibliche Blüten) und einem weniger auffälligen Teilblütenstand darüber (männliche Blüten) besteht. Rohrkolben vermehrt sich sowohl generativ über Samen, als auch vegetativ (Heinz, 2012) (Oehmke & Abel, 2016) (Schröder et al., 2019).

In Mitteleuropa sind vor allem der breitblättrige Rohrkolben (*Typha latifolia*), der schmalblättrige Rohrkolben (*Typha angustifolia*) und deren Hybrid (*Typha x glauca*) heimisch. Häufiger in natürlichen Beständen tritt *Typha latifolia* auf. Die heimischen Arten sind wahrscheinlich torferhaltend, aber keine Torfbildner (Heinz, 2012) (Oehmke & Abel, 2016).

Der Ertrag dieser hochproduktiven Pflanzen hängt von verschiedenen Faktoren ab. Neben dem Erntezeitpunkt spielen der Wasserstand und die Nährstoffverfügbarkeit eine wichtige Rolle. Für die Höhe der Erträge werden Hektarmengen von 4,3-22,1 t TM pro Jahr genannt. Unter idealen Bedingungen kann zweimal im Jahr geerntet werden. Nötig sind nährstoffreiche nasse Standorte, wobei vor allem die Stickstoffverfügbarkeit einen limitierenden Faktor darstellen kann. Auch niedrige pH-Werte (< 4) beeinflussen den Biomasseaufwuchs negativ (Geurts & Fritz, 2018) (Oehmke & Abel, 2016).

Die Verwertungsmöglichkeiten für Rohrkolben-Biomasse sind vielfältig. So besteht die Möglichkeit der energetischen Nutzung, entweder durch direkte Verbrennung, oder durch Vergärungsverfahren gewonnenes Biogas (Grosshans, 2014) (Hartung, 2020) (Nordt et al., 2020). Eine Kaskadennutzung ist hier möglich, wenn die in der Biogasproduktion entstehenden Gärreste zur Bodenverbesserung oder Substratherstellung genutzt werden (Kotowski & Jabłońska, 2020) (Nordt et al., 2020). Auch die Herstellung von Biokohle¹ ist möglich (Ibrahim et al., 2014), welche als Bodenverbesserer oder Substratbestandteil eingesetzt werden kann. Allerdings scheint deren pflanzenbaulicher Einsatz nicht unproblematisch, und die Eigenschaften der Kohlen sind stark vom Ausgangsmaterial abhängig (Bohne, 2015) (Kammann et al., 2010) (Meinken, 2015) (Rehm et al., 2014). Der direkte Einsatz von Rohrkolben-Biomasse als Substratausgangsstoff erscheint nach Vorversuchen hingegen grundsätzlich möglich (Bünker, 2020) (Hartung, 2020) (Leiber-Sauheitl et al., 2021a, 2021b) (Nordt et al., 2020) (Oehmke, 2020) (Verhees, 2018). In der Floristik werden die getrockneten Kolben zur Dekoration verwendet (Schröder et al., 2019).

Weitere stoffliche Nutzungsmöglichkeiten von Rohrkolben ergeben sich aufgrund seines stabilen Stützgewebes und einem hohen Anteil luftgefüllten Gewebes (Aerenchym) als Dämmmaterialien (z.B. Einblasdämmung, Dämmplatten) (Nowotny, 2016) (Theuerkorn et al., 2014). Die Samenflugschirmchen werden als Faserverstärkung in Lehmputz verwendet (Theuerkorn et al., 2014).

Spross, Kolben und Rhizom können in der Küche für die Zubereitung von Speisen genutzt (Graebner et al., 1919) (haensselblatt.com, o. J.) (Mayrhofer, o. J.), oder als Viehfutter verwendet werden (Kotowski & Jabłońska, 2020) (Nordt et al., 2020). Die Pollen dienen zur Fütterung von

¹ Unterschieden werden kann hier in Kohle aus Pyrolyse (Verschmelzung oberhalb von 350 °C) und HTC-Kohle aus hydrothormaler Karbonisierung (Herstellung unter hohem Druck bei Temperaturen um 200 °C) (Kammann et al., 2010).

Raubmilben, welche in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden (Michigan State University Extension, 2015) (Nomikou et al., 2002).

Biologisch kann Rohrkolben aufgrund seiner hohen Aufnahmefähigkeit (z.B. für Metalle, Nährstoffe, Pharmazeutika) in der Phytosanierung² oder Wasserreinigung durch Pflanzenkläranlagen Verwendung finden (Grosshans, 2014) (Klink et al., 2013) (Manios et al., 2003) (Schröder et al., 2003).

2.1 Aufbereitung als Substratausgangsstoff

Um ein Material für seine Verwendung in Substraten zu optimieren sind entsprechende Aufbereitungsschritte nötig. So werden die Rohstoffe durch mechanische, thermische oder biologische Methoden verändert (Wiedow & Burgstaler, 2016). Die Aufbereitungsmethoden können sich auf die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Substratausgangsstoffes auswirken und sollten reproduzierbar sein.

C. Hartung (persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021) empfiehlt für *Typha*-Biomasse eine schneidende Verarbeitung. Untersuchungen zur Aufbereitung des Materials zeigten, dass eine hämmernde Verarbeitung zu einem höheren Feinanteil im Produkt führt.

2.1.1 Häckseln

Für die Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Entwicklung eines Prüfrasters für die Herstellung von Torfersatzstoffen mit hoher Kultursicherheit für den Erwerbsgartenbau“ wurde *Typha*-Biomasse mechanisch aufbereitet. Das Material wurde getrocknet, gehäckselt und anschließend auf eine Korngröße zwischen drei und sechs Millimeter gesiebt (Leiber-Sauheitl et al., 2021a).

Einige Substratproduzenten haben Voruntersuchungen mit Rohrkolben-Material durchgeführt, welches von der Firma Wetland Products geliefert und bereits mechanisch bearbeitet war. Ursprünglich wurde es zur Verwendung als Einblasdämmung produziert. Hierfür wird das natürlich getrocknete Wintermaterial genutzt und direkt während des Ernteprozesses gehäckselt (0,5 bis 2,0 cm) (A. van Weeren, persönliche Mitteilung, 7. Mai 2021) (A. van Weeren, persönliche Mitteilung, 12. Mai 2021) (S. Hindenberg, persönliche Mitteilung, 20. April 2021).

2.1.2 Auffasern

In den Projekten „Produktketten aus Niedermoorbiomasse“ und „MOORuse“ wurde Rohrkolben-Biomasse mittels Refiner-Technik aufgefaserter. Durch Nutzung einer Refiner-Anlage³ mit zahlreichen Einstellungsmöglichkeiten, konnte ein individuelles Endprodukt mit den gewünschten Strukturen produziert werden (S. Grießer & W. Temming, persönliche Mitteilung, 10. Mai 2021) (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021).

Auch mittels der firmeneigenen Holzfaseranlage eines deutschen Substratherstellers konnte Rohrkolben-Material erfolgreich aufgefaserter werden (Bünker, 2020). Es wurde die Extruder-Technik⁴ verwendet, allerdings entstand laut D. Rammes und C. Beyer (persönliche Mitteilung, 4. März 2021) bei der Auffaserung sehr viel feines Material und ein hoher Staubanteil. Der hohe Feinanteil (< 1 mm) ist nach Annahme von Bünker (2020) vermutlich noch optimierbar, da er

² Reinigung von Boden, Wasser oder Luft mit Hilfe von Pflanzen.

³ Refiner zerkleinern Materialien mechanisch zwischen zwei Mahlkörpern. Je nach Bauart rotieren ein oder beide Mahlscheiben. Es gibt zahlreiche unterschiedliche Verfahren die sich durch Form und Anzahl der Mahlplatten, Rotationsrichtung sowie Vorbehandlung des Materials (z.B. thermisch mittels Dampf) unterscheiden (Burkert, 2009).

⁴ Extruder zerkleinern mittels thermo-physikalischem Verfahren. Beim durchlaufen von zumeist zwei Schneckenwellen wird das Material erstmals zerkleinert, wobei hoher Druck und Temperaturen aufgebaut werden. Beim Austritt erfolgt explosionsartig eine weitere Zerkleinerung durch verdampfen des im Material enthaltenen Wassers (GGG, o.J.).

aufbereitungstechnisch bedingt ist. Für die Korngrößenverteilung des extrudierten Materials siehe auch Abbildung 2 in Kapitel: 2.2.1 Physikalische Eigenschaften.

2.1.3 Kompostieren/Fermentieren

Untersuchungen zur Eignung von Paludikulturpflanzen als Substratbestandteil wurden im Projekt „MOORuse“ von Hartung & Meinken (2021a) angestellt. Vorab wurde mittels Brutversuchen die Immobilisierung von Stickstoff in den Materialien ermittelt, und eine hohe bei Rohrkolben festgestellt (siehe auch Kapitel: 2.2.3 Biologische Eigenschaften). Ob eine Stabilisierung des Stickstoffhaushaltes durch Kompostierung des Materials möglich ist, wurde im Projekt weiter untersucht, und anschließend wurde die Eignung des kompostierten Material als Substratbestandteil getestet (siehe Kapitel: 2.3 Substrate in pflanzenbaulichen Versuche), um bei der Kompostierung womöglich entstandene phytotoxische Stoffe auszuschließen. Kompostiert wurde gehäckselte Winter-Biomasse von *Typha latifolia* (< 4 cm) unter Zugabe von 500 mg/l Stickstoff (250 mg N/l als Harnstoff + 250 mg N/l als Ammoniumsulfat) und 500 mg/l Mehrnährstoffdünger (0+14+38) über 130 Tage. Während des Kompostierungsprozesses wurde das Material mehrfach umgeschichtet⁵, und bei Bedarf mit destilliertem Wasser befeuchtet. Während des Prozesses stiegen die Temperaturen nicht für längere Zeit über 60°C an, somit ist eine Hygienisierung⁶ des Materials nicht gewährleistet (evtl. steht dies in Zusammenhang mit der Korngröße des verwendeten Materials). Bereits nach einer Kompostierungsdauer von drei Wochen zeigt sich beim *Typha*-Material eine Stabilisierung im N-Haushalt, wie in Abbildung 1 zu erkennen ist.

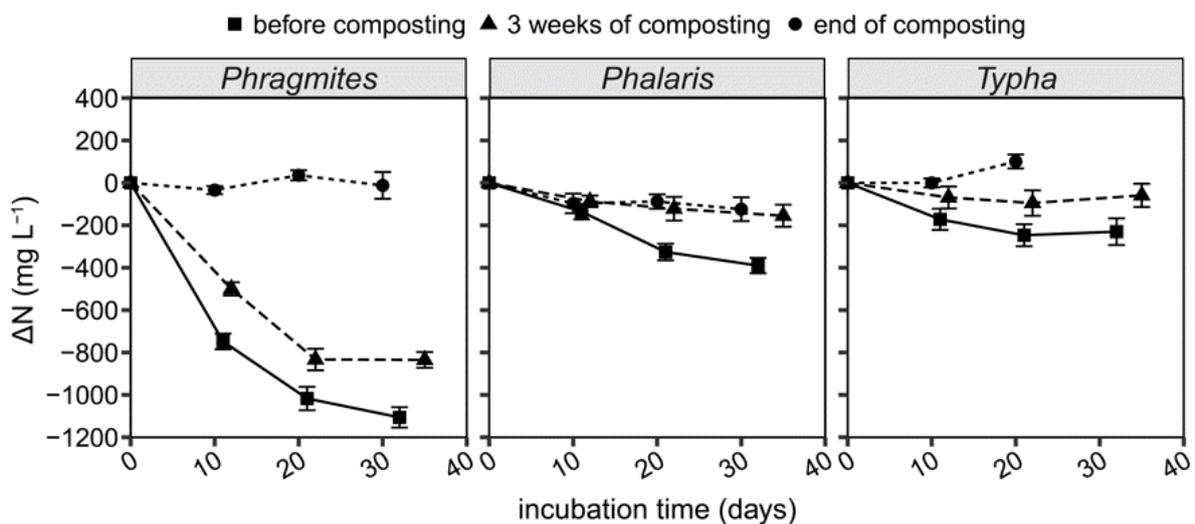


Abbildung 1: Veränderung der Stickstoffgehalte während der Bebrütung von *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea* und *Typha latifolia* ohne, nach dreiwöchiger und nach abgeschlossener Kompostierung. Werte sind Mittelwerte \pm Standardabweichung ($n=4$). Ein nicht plausibler Wert (*Typha*) wurde entfernt. (Quelle: Hartung & Meinken, 2021a, S. 97, verändert durch Übersetzung.)

Der gesamte Versuch lief über 130 Tagen, jedoch war bei Rohrkolben bereits nach 56 Tagen der Kompostierungsprozess abgeschlossen, und ein stabiler Stickstoffhaushalt erreicht. Der Verlust an Trockenmasse durch den Prozess betrug 37 % bei *Typha* (Hartung & Meinken, 2021a). Dieser Verlust führt zu einer höheren Konzentration der (Nähr-)Stoffe im Material. Insbesondere bei

⁵ Das sog. Umsetzen dient der Belüftung von Komposten, da die Umsetzungsprozesse Sauerstoff benötigen.

⁶ Inaktivierung von Unkrautsamen und Phytopathogenen durch Temperaturen von > 55°C für mind. zwei Wochen, bzw. > 65°C über einen Zeitraum von mind. einer Woche (Thelen-Jüngling, 2010).

Material mit erhöhten Chlorid- bzw. Salzgehalten kommt es so zu einer unerwünschten weiteren Erhöhung dieser Werte (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021)

Aufgefasertes Material (mittels Refiner-Technik) zeigte sich ungeeignet für die Kompostierung, da anaerobe Bedingungen entstanden und die Temperaturen während des Vorganges zu hoch wurden. Daher werden die Untersuchungen mit aufgefasertem Material im Projekt „MOORuse“ derzeit nicht weitergeführt (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021).

Eine weitere Aufbereitungsmethode ist die Fermentation. Teilweise werden der Begriff Kompostierung und Fermentation synonym verwandt, manchmal als unterschiedliche Prozesse angesehen. Durch den Fermentationsprozess werden, wie bei der Kompostierung, Stoffe mikrobiell ab- oder umgebaut, was zum Abbau wachstumshemmender Inhaltsstoffe und zur Stabilisierung der Stickstoffdynamik führt (Industrieverband Garten (IVG), o. J.). Eine Firma in Cloppenburg hat ein Fermentationsverfahren entwickelt, durch das u.a. auch aus Rohrkolben-Biomasse ein für Substrate nutzbares Produkt gewonnen werden kann. Derzeit werden von der Firma hauptsächlich Gärreste und Reststoffe aus der Holzproduktion hierbei eingesetzt, aber auch *Typha*-Material wurde erfolgreich getestet. Unter Zugabe von so genannten effektiven Mikroorganismen findet in Mieten eine Fermentation statt, welche zu einem geruchsneutralen und hygienisierten Produkt mit stabilisiertem Stickstoffhaushalt führt. Der Masse-, und somit auch Kohlenstoff-, Verlust ist geringer als bei der klassischen Kompostierung (B. Aumann, persönliche Mitteilung, 7. Juni 2021) (F. Aumann & Aumann, 2020) (Nordt et al., 2020).

Auf Unterschiede im Kompostierungsprozess zwischen Rohrkolben und Schilf wird in Kapitel: 3.1.3 Kompostieren/Fermentieren eingegangen.

2.2 Substratrelevante Eigenschaften

Um die Eignung eines Materials zur Verwendung als Substratbestandteil beurteilen zu können, werden die physikalische, chemische und biologische Eigenschaften ermittelt, welche für gärtnerische Substrate von Relevanz sind.

2.2.1 Physikalische Eigenschaften

Typha-Biomasse (*T. angustifolia*) ohne Samenkolben wurde von Leiber-Sauheitl et al. (2021a) nach dem Trocknen gehäckselt und auf 3-6 mm gesiebt. Die ermittelte Trockenrohddichte betrug 36 g/l, ermittelt nach VDLUFA Methodenvorschrift. Weiterhin wurde bei dem Material die Wasserkapazität für unterschiedliche Saugspannungen sowohl pur, als auch in Mischung mit 50 Vol.-% Weißtorf, ermittelt. Diese Ergebnisse, sowie die der maximalen Wasserhaltekapazität⁷ und dem pflanzenverfügbaren Wasser, sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Für eine Nutzung als Substratbestandteil wird das pure *Typha*-Material (100 %) aufgrund dieser Ergebnisse als ungeeignet beurteilt. Zur besseren Vergleichbarkeit sind auch die bei Weißtorf (Torf 100 %) ermittelten Werte angegeben.

Ein Substrathersteller testete die Aufbereitung von Rohrkolben mittels Auffaserung. Eine Korngrößenverteilung dieses extrudiertem Rohrkolben-Materials ist in Abbildung 2 dargestellt. Das Trockenvolumen-Gewicht (bestimmt nach VDLUFA Methodenvorschrift) betrug 70 g/l. Laut D. Rammes und C. Beyer (persönliche Mitteilung, 4. März 2021) wurden die physikalischen Eigenschaften dieses Materials insgesamt als gut bewertet. Der hohe Feinanteil < 1 mm ist vermutlich von der Aufbereitungsmethode abhängig und veränderlich (Bünker, 2020).

⁷ Die maximale Wasserhaltekapazität (WHK_{max}) meint den Punkt, an dem ein Gleichgewicht zwischen der durch die Schwerkraft aus der Probe gezogenen Wassermenge und der durch Kapillarkräfte in der Probe gehaltenem Wasser erreicht ist.

Tabelle 1: Maximale Wasserhaltekapazität (WHK_{max}), Wasserkapazität und pflanzenverfügbares Wasser von gehäckseltem und gesiebttem (3-6 mm) *Typha*-Material und Torf.

Material	WHK_{max} (Vol.-%)	Wasserkapazität (Vol.-%) bei			Pflanzen- verfügbares Wasser (Vol.-%)
		- 10 hPa	- 50 hPa	- 100 hPa	
Torf 100 %	82	75	41	40	35
<i>Typha</i> 100 %	15	13	13	16	0
<i>Typha</i> 50 % + Torf 50 %	48	38	24	22	17

(Quelle: In Anlehnung an Leiber-Sauheitl et al., 2021a, S. 8 & 16.)

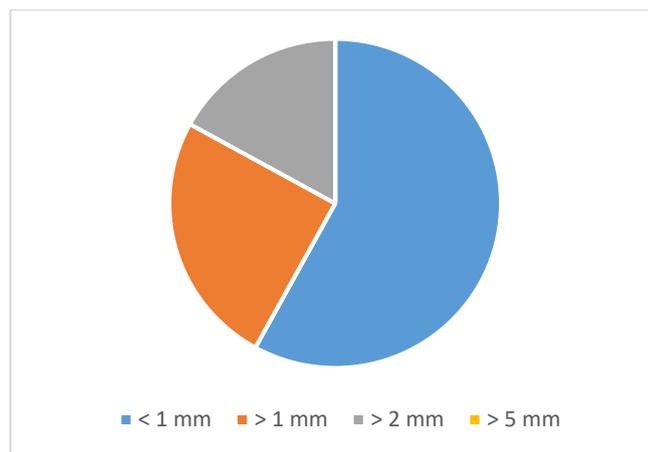


Abbildung 2: Korngrößenverteilung von Rohrkolben-Material in Volumen-Prozent nach Auffaserung mittels Extruder-Technik.
(Quelle: In Anlehnung an Bünker, 2020.)

Verhees (2018) ermittelte bei Substratmischungen mit 80 % Weißtorf und 20 % gehäckseltem *Typha*-Material sehr ähnliche physikalische Eigenschaften, wie in einer Substratmischung mit 80 % Weißtorf und 20 % Holzfaser, bzw. 20 % Reisspelzen. So wiesen die *Typha*-Substrate eine identische Schüttdichte zur Weißtorf-Holzfaser-Mischung (80 %/20 %; 123 g/l) auf. Auch die Verwendung zweier unterschiedlicher Korngrößenfraktionen (< 0,8 mm und > 0,8 mm) der *Typha*-Biomasse ergab keine nennenswerten Unterschiede in der Schüttdichte (123 g/l beim feinen, 116 g/l beim groben Anteil). Ebenso war das Porenvolumen dieser Mischungen zur Holzfaser- und Reisspelzen-Variante nahezu gleich. Nur die Wasseraufnahme war bei den Varianten mit *Typha* etwas geringer als bei der Holzfaser-Variante, allerdings höher als bei der Mischung mit Reisspelzen.

Das Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR) untersuchte die Verwendungsmöglichkeit von aufgefaserter Rohrkolben-Material aus Wintermahd in Erdpresstöpfen. Laut Oehmke (2020) wurden Presstöpfe (40x40 mm) aus einer Substratmischung von 30 % Rohrkolben-Material + 70 % Schwarztorf verglichen mit Presstöpfen aus 100 % Schwarztorf (Kontrolle). Die Rohrkolben-Variante wies eine höhere Stabilität auf als die Kontrolle, wobei Druckmaxima von durchschnittlich > 180 kPa gemessen wurden. Bevor die Presstöpfe zerbrachen verformten sie sich zuerst sehr stark unter dem zunehmend ausgeübten Druck.

2.2.2 Chemische Eigenschaften

Die Inhaltsstoffe von *Typha*-Biomasse können je nach Erntezeitpunkt und Standort deutliche Unterschiede aufweisen (Pijlman et al., 2019), und nehmen vom Sommer zum Winter hin ab (Oehmke, 2020).

Untersuchungen von Hartung und Meinken (2021c) sowie Hartung und Eickenscheidt (2018) befassten sich mit dem Einfluss von Erntezeitpunkt, Wasserstand und Schnitthäufigkeit auf den Chloridgehalt in Rohrkolben-Biomasse (*Typha latifolia*). Abbildung 3 zeigt die Abnahme des Chloridgehaltes im Jahresverlauf von April ab an. So wurden die höchsten Gehalte in der Jahresmitte gemessen, welche über den Herbst und zum Winter hin deutlich abnehmen. Andere Untersuchungen zeigten mit steigendem Wasserstand einen ansteigenden Chloridgehalt im Material. Eine zweite Ernte der Biomasse führte bei Oktober-Material, welches in niedrigem Wasserstand aufwuchs, zu einer Erhöhung der Chloridgehalte. Laut Hartung (2020) kommt aufgrund dieser Ergebnisse nur im Winter geerntete Biomasse als Ausgangsmaterial für Substrate in Frage.

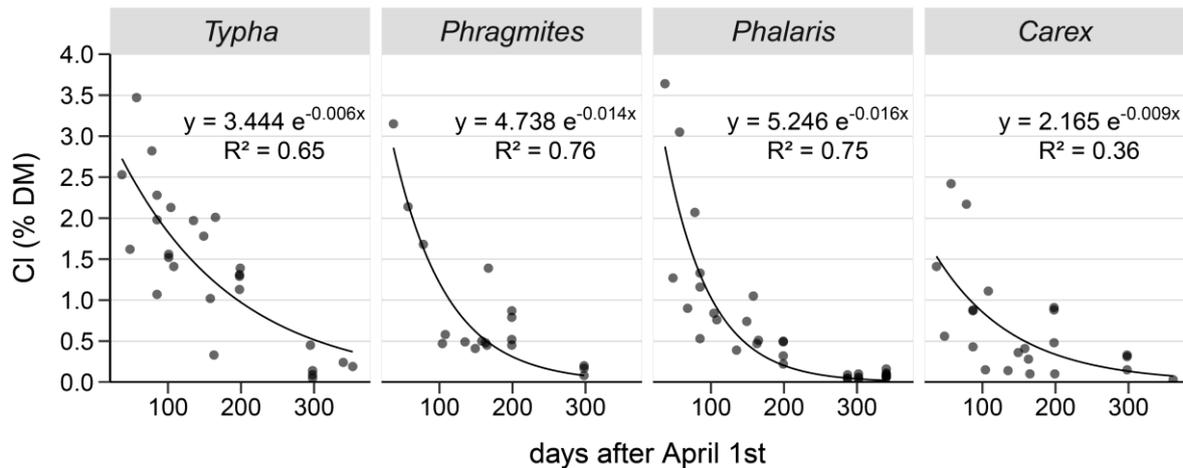


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Chloridgehalt und Erntezeitpunkt (Proben der ersten Mahd aus dem Freisinger Moor und weiteren Proben).
(Quelle: Hartung & Meinken, 2021c, verändert durch Übersetzung.)

Die Aufnahmefähigkeit von Rohrkolben für unterschiedliche (Nähr-)Stoffe (Grosshans, 2014), Schwermetalle (Klink et al., 2013) (Manios et al., 2003), Pharmazeutika (Schröder et al., 2003) und Herbizide (Wilson et al., 2000) kann zum Problem werden, wenn die Biomasse als Substratbestandteil verwendet werden soll. Qualitätsmängeln oder Ertragseinbußen bei den kultivierten Pflanzen können die Folge von wachstumshemmenden oder pflanzenschädigen Stoffen und Konzentrationen im Substrat sein.

Untersuchungen zu Herbizid-Gehalten in Rohrkolben-Material von unterschiedlichen Standorten werden derzeit im Projekt „MOORuse“ angestellt, um einen besseren Überblick über die Belastungsverbreitung zu bekommen. So wird oberirdische Biomasse von *Typha latifolia* aus unterschiedlichen Regionen gesammelt und zu verschiedenen Erntezeitpunkten auf Herbizid-Rückstände untersucht⁸ (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 11. Juni 2021). Bereits bei früheren Analysen wurden Rückstände in Material aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands, auch Material aus Wildsammlungen, gefunden (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021) (Hartung & Eickenscheidt, 2018). In unterschiedlichen Teilen der Pflanze (Spross, Rhizom) werden abweichende Stoffmengen gefunden, und auch die Pflanzenart hat einen Einfluss. So ermittelten Zheng et al. (2017) für *T. latifolia* eine höhere Sorption von Glyphosat im Vergleich zu *T. x glauca*. Weiterhin waren beim breitblättrigen Rohrkolben die Werte im Rhizom höher als im Spross.

⁸ Die Untersuchungsergebnisse stehen aktuell (Mitte 2021) noch aus.

Auch viele Metalle akkumulieren sich bei *Typha latifolia* hauptsächlich im Rhizom und den Wurzeln. So fanden Nacaroglu et al. (2009) die höchsten Konzentrationen von Eisen, Kupfer und Zink in der Wurzel, wobei nicht genauer zwischen Wurzel und Rhizom unterschieden wurde. Klink et al. (2013) differenzierten den unterirdischen Pflanzenteil weiter. Sie fanden die höchsten Konzentrationen von Eisen, Blei, Kupfer, Kobalt und Zink in den Wurzeln, dann im Rhizom, gefolgt von Blättern und Stängeln. Auch von Nickel, Chrom und Cadmium werden höhere Gehalte in den Wurzeln und auch im Rhizom gefunden, als im oberirdischen Sprosssteilen. Von Mangan wiederum wurden zwar die höchsten Gehalte ebenfalls in den Wurzeln nachgewiesen, jedoch folgen dann die Blätter, und anschließend erst Rhizom und Stängel in der Abfolge der Gehaltmengen. Nacaroglu et al. (2009) wiederum fanden die höchsten Mangangehalte in den Blättern. Aksoy et al. (2005) fanden bei *Typha angustifolia* ebenfalls eine höhere Akkumulation von Zink, Kupfer, Cadmium und Blei in den Wurzeln, gefolgt von Rhizom und Spross mit geringeren Gehalten.

Im Projekt „Entwicklung eines Prüfrasters für die Herstellung von Torfersatzstoffen mit hoher Kultursicherheit für den Erwerbsgartenbau“ untersuchten Leiber-Sauheidl et al. (2021a) *Typha angustifolia* und *Typha latifolia* aus Wintermahd auf die Gehalte an Hemicellulose, Cellulose sowie den Roh-Lignin-Gehalt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Gehalte an Hemicellulose, Cellulose und Roh-Lignin in Rohrkolben-Biomasse aus Wintermahd.

Material	Hemicellulose	Cellulose	Roh-Lignin
	% der Trockenmasse		
<i>Typha angustifolia</i>	23,5	47,0	16,8
<i>Typha latifolia</i>	22,3	32,6	20,7

(Quelle: In Anlehnung an Leiber-Sauheidl et al., 2021a, S. 12.)

Weiterhin wurden salzextrahierbare Kohlenstoffverbindungen (SSC) im Rohrkolben-Material mittels Extraktion bei 20 °C und bei 80 °C in K₂SO₄-Lösung (0,5 M) ermittelt, sowie der Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}). Tabelle 3 zeigt die Gehalte von 100 % *Typha angustifolia* sowie 100 % Weißtorf und einer Mischung der Materialien mit je 50 % Anteil.

Tabelle 3: Gehalte an organischem Kohlenstoff und salzextrahierbaren Kohlenstoffverbindungen von Torf und *Typha*.

Material	C _{org} gesamt	SSC 20 °C	SSC 80 °C
	mg C/g Trockengewicht		
Torf 100 %	470	0,9	8,2
<i>Typha</i> 100 %	469	5,3	14,0
<i>Typha</i> 50 % + Torf 50 %	460	2,2	9,5

(Quelle: In Anlehnung an Leiber-Sauheidl et al., 2021a, S. 11.)

Einige Analyseergebnisse pflanzenbaulich relevanter Eigenschaften von Rohrkolben-Biomasse sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Zu dem Material in den ersten beiden Spalten ^(a), ^(b) finden sich keine Angaben zu Erntezeitpunkt und Pflanzenart. Bei den Ergebnissen in Spalte 3 ^(c) wurde Material von *Typha angustifolia* aus Winterernte analysiert. Die Ergebnisse in Spalte 4 ^(d)

stammen von kompostiertem Rohrkolben-Material (*T. latifolia* aus Wintermahd) (siehe auch Kapitel: 2.1.3 Kompostieren/Fermentieren).

Tabelle 4: Analyseergebnisse von pH-Wert, Salzgehalt, Nährstoffen und C/N-Verhältnis von *Typha*.

	<i>Typha</i> ^{a)}	<i>Typha</i> ^{b)}	<i>Typha</i> ^{c)}	<i>Typha</i> ^{d)} kompostiert
pH-Wert	5,8	6,2	5,4	6,4
N _{min} (mg/l)	< 10	-	6	643
P ₂ O ₅ (mg/l)	74	-	23*	248
K ₂ O (mg/l)	221	-	82*	774
Salzgehalt (g/l)	0,61	0,53	0,41	5,09
C/N (ohne Dimension)	-	-	154	-

*: Analysewerte wurden für eine bessere Vergleichbarkeit mittels Umrechnungsfaktor von K zu K₂O, sowie P zu P₂O₅ umgerechnet.

(Quellen: In Anlehnung an a) Bünker (2020) (Analyse nach VDLUFA Methodenvorschrift, N_{min} in CaCl₂, P₂O₅ & K₂O in CAL), b) Oehmke (2020), zitiert nach Floragard (2018), c) Leiber-Sauheitl et al. (2021a, S. 7-8) (Analyse nach VDLUFA, N_{min}, P₂O₅ & K₂O in CAT) und d) Hartung & Meinken (2021b) (Analyse nach VDLUFA, N_{min}, P₂O₅ & K₂O in CAT).)

Im Kulturversuch mit *Pelargonium zonale* über 9 Wochen protokollierten Hartung und Meinken (2021b) den Verlauf der pH-Werte. In den Substratmischungen mit 20 % und 40 % kompostiertem Rohrkolben-Material wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Werte festgestellt. Gemessen wurde zu Beginn und am Ende des Versuches sowie in regelmäßigen Abständen währenddessen. Zum Vergleich ist die Kontroll-Variante aus 100 % Weißtorf mit aufgeführt. Die pH-Werte in den Mischungen veränderten sich kaum während der Kultur⁹, wobei sie etwas höher in der Variante mit 40 % *Typha*-Kompost liegen.

Tabelle 5: Veränderung der pH-Werte unterschiedlicher Substratmischungen mit kompostiertem *Typha*-Anteil im Kulturversuch mit *Pelargonium zonale*.

Material	Versuchsbeginn	Kulturdauer			Versuchsende
		3 Wochen	6 Wochen	8 Wochen	
Torf (Kontrolle)	5,8	6,1	5,9	5,9	5,7
<i>Typha</i> 20 %	5,8	6,1	5,8	5,9	5,8
<i>Typha</i> 40 %	6,0	6,2	5,8	6,1	6,2

(Quelle: In Anlehnung an Hartung & Meinken, 2021b.)

⁹ Hier ist die kulturbegleitende Düngung mit Ferty 3 Mega zu beachten. Dies ist ein physiologisch sauer wirkender, also pH-Wert absenkender, Mehrnährstoffdünger.

2.2.3 Biologische Eigenschaften

Ausgangsstoffe mit hoher Stickstoff-Immobilisierung oder Mineralisierung können in der Pflanzenkultur zu Problemen führen. Die mikrobielle Abbaubarkeit, das C/N-Verhältnis¹⁰ und andere Eigenschaften von Ausgangsstoffen beeinflussen die Stabilität des Stickstoff (N)-Haushaltes eines Substrates (Schmilewski, 2017). Anhand bisheriger Untersuchungen zeigt sich bei Rohrkolben-Biomasse ein instabiler N-Haushalt.

Typha-Biomasse, die von einem Substratproduzenten zur Untersuchung der Stickstoff-Dynamik gegeben wurde, wies eine N-Bindung von -364 mg N/l auf. Das Material wurde somit als nicht stabil und daher ungeeignet als Substratkomponente beurteilt (Bünker, 2020).

Auch die Tests eines anderen Substratherstellers ergaben eine hohe biologische Aktivität und Festlegung von Stickstoff. Eine Verwendung im Bereich der Profisubstrate wurde daher ausgeschlossen. Untersucht wurde aufgefaserter Material aus Winterernte (S. Hindenberg, persönliche Mitteilung, 20. April 2021).

Verhees (2018) untersuchte frische *Typha*-Biomasse und stellte ebenfalls eine hohe Immobilisierung durch Mikroorganismen fest.

Der Erntezeitpunkt hat einen Einfluss auf die N-Stabilität bei Rohrkolben-Material, wie Hartung und Eickenscheidt (2018) in Untersuchungen herausgefunden haben. Verglichen wurde die Veränderung des löslichen Stickstoffgehalts von Material, welches im Juli, August, September und Oktober geerntet wurde. In Mischung mit 60 % Weißtorf wurde das Material mittels Brutversuch nach VDLUFA Methode untersucht. Die Immobilisierung im Sommermaterial (Juli, August) war höher als im Herbstmaterial. Alle Erntezeitpunkte zeigten eine deutlich höhere Veränderung des Stickstoffgehalts als die Kontrolle mit Weißtorf. Die Veränderung der Stickstoffgehalte zeigte einen instabilen Stickstoffhaushalt.

Im Projekt „Entwicklung eines Prüfrasters für die Herstellung von Torfersatzstoffen mit hoher Kultursicherheit für den Erwerbsgartenbau“ wurde ebenfalls die Stickstoff-Immobilisierung in Rohrkolben-Biomasse aus Wintermahd mehrfach ermittelt. Versuche mit Rohrkolben-Biomasse (*Typha angustifolia*, gehäckselt) in Anteilen von 100 % (Ty 100) und 50 % (Ty 50, + 50 % Weißtorf) zeigten einen instabilen (Ty 100), bzw. leicht instabilen (Ty 50) Stickstoffhaushalt (siehe Abbildung 4) (Leiber-Sauheitl et al., 2021a).

Andere Untersuchungen im Projekt mit *Typha latifolia* (gehäckselt) mit einem Anteil von 25 % in Kombination mit Weißtorf zeigten ein als stabilen N-Haushalt eingestuftes Ergebnis. 50 % *T. latifolia* in der Substratmischung zeigten ebenfalls leicht instabile Ergebnisse (Leiber-Sauheitl et al., 2021b).

Weiterhin untersuchten Leiber-Sauheitl et al. (2021a) die Abbaustabilität der gleichen Materialien. Durch Messung von CO₂-Emissionen können Rückschlüsse auf die mikrobielle Aktivität¹¹ eines Substrates, und somit auch die Stabilität, gezogen werden. Mit steigendem Torf-Anteil nahmen die gemessenen CO₂-Emissionen ab. Möglicherweise unterscheiden sich *Typha angustifolia* und *Typha latifolia* in ihrer Abbaustabilität, denn Versuche mit 50 % *Typha*-Biomasse beider Arten (+50 % Weißtorf) zeigten bei *T. latifolia* etwa doppelt so hohe CO₂-Emissionen, wie bei *T. angustifolia*. Weiterhin wurde die Auswirkung einer Einstellung des pH-Wertes auf 6 in den Prüfmischungen untersucht, da häufig Kultursubstrate mit diesem Wertebereich genutzt werden. Verwendet wurde wiederum *T. latifolia* zu 50 % (Ty 50) und zu 25 % (Ty 25) je mit Weißtorf (Peat 100) gemischt.

¹⁰ Das C/N-Verhältnis beschreibt die Summe der Menge von Kohlenstoff (C) im Verhältnis zur Menge an Stickstoff (N).

¹¹ Die metabolische Aktivität aerober Mikroorganismen kann anhand der Bodenatmung ermittelt werden, indem die Stoffwechselprodukte (CO₂-Bildung bzw. O₂-Verbrauch) gemessen werden (Alef, 1991).

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse des nicht gekalkten Materials (a) sowie die Emissionen bei einem pH-Wert von 6 (b). Die Prüfmischung mit 25 % Rohrkolben (Ty 25) zeigte eine Erhöhung von 100 %, jene mit 50 % *Typha* (Ty 50) eine Erhöhung von 50 % CO₂-Emissionen, im Vergleich zu denen ohne Kalk. Es lassen sich deutlich höhere Emissionen der Rohrkolben-Biomasse im Vergleich zum Torf (Peat 100) erkennen.

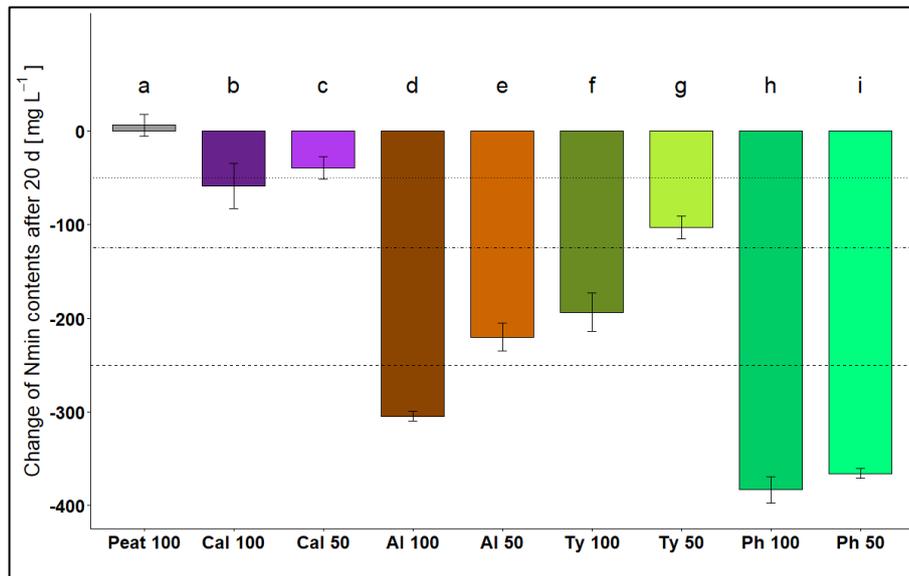


Abbildung 4: Veränderung der Stickstoffgehalte in Substratrohstoffen und deren Mischungen nach 20 Tagen Bebrütung. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Varianten hin. (Säulenbezeichnungen: Peat - Weißtorf, Cal - Besenheide, Al - Schwarzerle, Ty - Rohrkolben, Ph - Schilf)
(Quelle: In Anlehnung an Leiber-Sauheitl et al., 2021a, S. 9.)

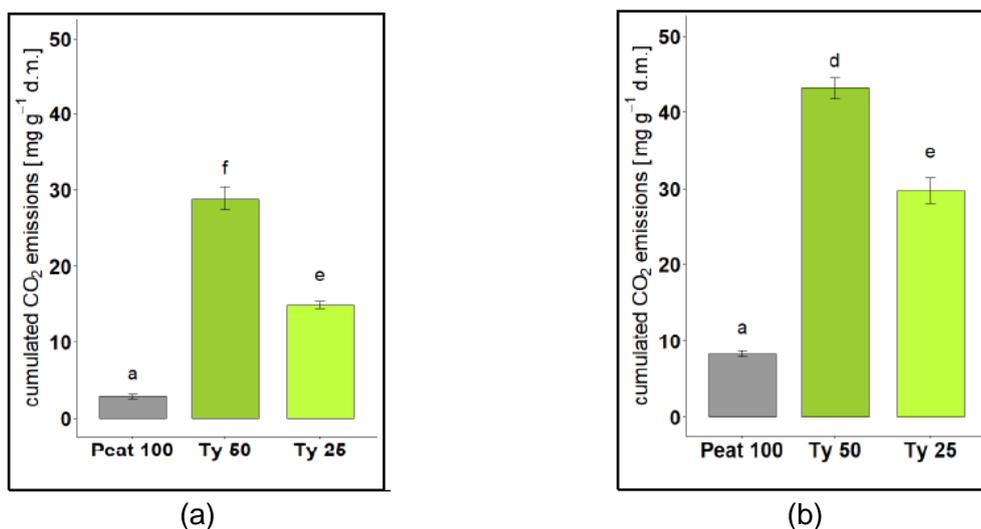


Abbildung 5: Kumulierte CO₂-Emissionen von ungekalkter (a) sowie aufgekalkter (b) Biomasse von *Typha latifolia* und Torf nach 13 Tagen Inkubation. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Varianten hin.
(Quelle: In Anlehnung an Leiber-Sauheitl et al., 2021a, S. 10.)

2.3 Substrate in pflanzenbaulichen Versuchen

In Thailand wurden von Vetayasuporn (2007) Versuche zur Kultivierung von Austernpilzen¹² (*Pleurotus ostreatus*) in Substratmischungen mit *Typha*-Biomasse durchgeführt. Das 2 cm lange Rohrkolben-Material wurde zu 0 %, 25 %, 50 %, 75 % und 100 % mit Sägespänen und EM (effektive Mikroorganismen) zu Substraten verarbeitet. Nach einer Lagerungsdauer von 7 Tagen, welche den Mikroorganismen Zeit für Abbauprozesse geben sollte, wurde die Substrate sterilisiert und anschließend beimpft. Die Erträge an Austern-Seitlingen waren im Kontrollsubstrat signifikant höher als in den *Typha*-Mischungen, wobei der Ertrag mit steigendem *Typha*-Anteil abnahm. Die geringsten Erträge wurden im Substrat mit 100 % *Typha* gemessen. Als Gründe wurden der niedrige Stickstoffgehalt und die schwächere Myzel-Bildung angenommen. Auch eine langsamere Besiedelung durch das Myzel und eine längere Kulturdauer wurden festgestellt.

Verhees (2018) führte Versuche mit Gartenkresse in Substraten mit unterschiedlich hohen Rohrkolben-Anteilen durch. 25 %, 50 % und 75 % Rohrkolben-Biomasse wurden mit Weißtorf gemischt, welcher auch als Kontrolle diente. Die Substratmischungen wurden auf einen pH-Wert von 5,5 mittels Kalkes eingestellt und mit 0,75 g PG-Mix je Liter aufgedüngt. Nach 14 Tagen wurde die Trocken- und die Frischmasse des Sprosses bestimmt, welche bei den Rohrkolben-Varianten geringer ausfiel als bei der Kontrolle. Die Verminderung der Frischmasse ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Werte der Variante mit 25 % Rohrkolben liegt hierbei über denen mit höherem Rohrkolbenanteil. Es konnte keine Keimhemmung beobachtet werden. Analog wurde eine hohe Stickstoff-Immobilisierung im Rohrkolben-Material festgestellt sowie ein geringerer Stickstoffgehalt in der Kresse-Trockenmasse im Vergleich zur Kontrolle (siehe Abbildung 7).

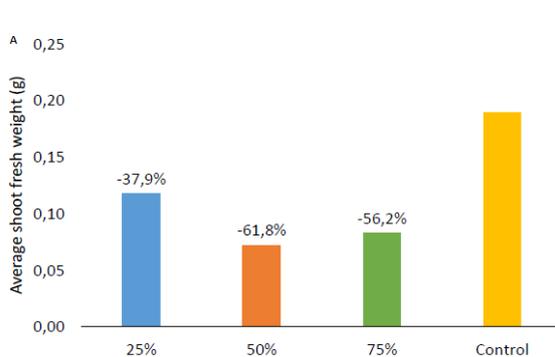


Abbildung 6: Durchschnittliches Sprossgewicht (g) von Gartenkresse bei steigendem *Typha*-Anteil im Substrat.
(Quelle: Verhees, 2018.)

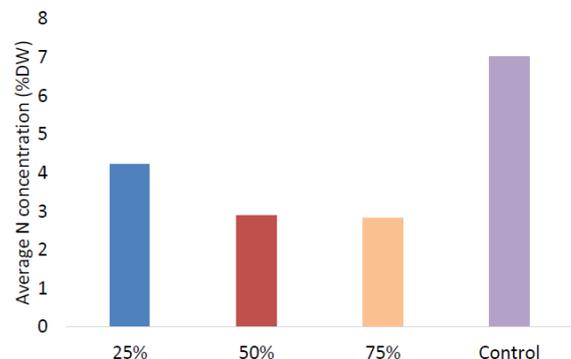


Abbildung 7: Durchschnittlicher Stickstoffgehalt in der Trockenmasse von Gartenkresse bei steigendem *Typha*-Anteil im Substrat.
(Quelle: Verhees, 2018.)

In einem Folgeversuch mit längerer Kulturdauer (7 Wochen) wurde den Substratmischungen (pH 5,5; 0,75 g/l PG-Mix) daher zusätzlich Osmocote Exact (Langzeitdünger mit 15-9-12-2 MgO+TE¹³) zugesetzt. Die getesteten Varianten enthielten 20 %, 40 % und 60 % *Typha*-Material + Weißtorf, sowie eine Variante mit 20 % *Typha* + 80 % Torfmoos. Als Versuchspflanzen dienen Tomaten und die Kontrolle bestand auch hier aus 100 % Weißtorf. Die Auswertung ergab mit steigendem *Typha*-Anteil eine Verminderung des Sprossgewichtes im Vergleich zur Kontroll-

¹² Da dieser Pilz in der Natur auf abgestorbenem Holz wächst, ist für den Anbau ein spezielles Substrat nötig. Häufig werden hier Stroh oder Laubholzspäne für die kommerzielle Pilzzucht verwendet (Mycelio, 2007).

¹³ TE steht für Spurenelemente, abgeleitet vom englischen trace elements.

Variante, wobei ein Anteil von 20 % *Typha*-Biomasse zu einer nur geringen Minderung von 5,3 % führte. Die Substratmischung mit 20 % *Typha* + 80 % Torfmoos erbrachte als einzige ein höheres Gewicht (+ 8,8 %) im Vergleich zur Kontrolle. Die Veränderungen des Sprossgewichtes sind in Abbildung 8 dargestellt, wobei die Zahlen über den Balken die prozentuale Abweichung des Gewichtes im Vergleich zur Kontrolle zeigen. Eine Messung der Chlorophyllgehalte ergab vergleichbare Werte zwischen den 20 % Varianten und der Kontrolle (Verhees, 2018).

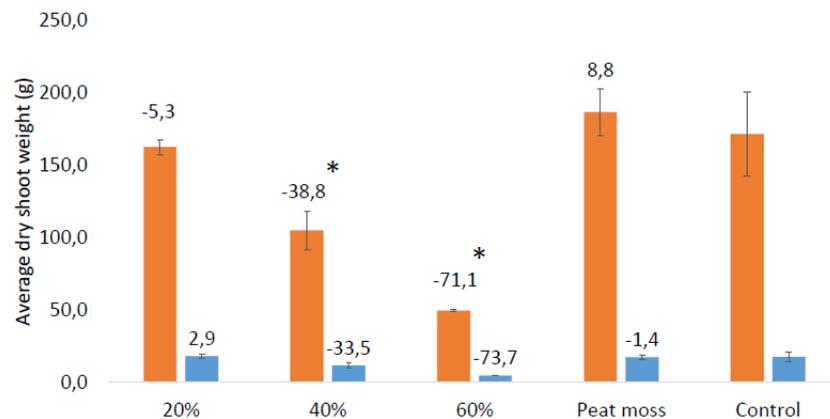


Abbildung 8: Durchschnittliches Sprossgewicht (trocken) von Tomaten bei steigendem *Typha*-Anteil im Substrat. (Quelle: Verhees, 2018.)

Im Rahmen des DBU Projektes „Entwicklung eines Prüfrasters für die Herstellung von Torfersatzstoffen mit hoher Kultursicherheit für den Erwerbsgartenbau“ von der Leibniz Universität Hannover wurden Keimpflanzentests mit Chinakohl durchgeführt. Zuerst wurde Material aus Wintermahd (*T. angustifolia*) getrocknet, gehäckselt und anschließend gesiebt (3-6 mm). Es wurden Mischungen mit 100 % und 50 % (+ 50 % Weißtorf) Rohrkolben-Biomasse untersucht. Die Variante mit 100 % Rohrkolben erwies sich aufgrund ungünstiger physikalischer Eigenschaften als nicht konkurrenzfähig. Es kam zu einer starken Behinderung der Keimung und somit war keine Auswertung möglich. Die Mischung mit 50 % *Typha*-Anteil ergab signifikant weniger Chinakohl-Trockenmasse als die Kontrolle, jedoch wurden diese Ergebnisse auf eine hohe Stickstoff-Immobilisierung zurückgeführt (Leiber-Sauheidl et al., 2021a).

Weitere Test im Projekt wurden mit *Typha latifolia* (Winterernte, gehäckselt, gesiebt (0-10 mm)) durchgeführt, wobei auf eine Variante mit 100 % Rohrkolben verzichtet wurde, und Mischungsanteile von 50 % und 25 % *Typha* untersucht wurden. Die Pflanzen wurden während dieses Versuchs angepasst gedüngt, um einen Einfluss der Stickstoff-Immobilisierung auszuschließen. Die visuelle Beurteilung der Rohrkolben-Varianten im Vergleich mit der Kontrolle ergab gute Ergebnisse, jedoch liegt das Trockenmasse-Gewicht signifikant unter der Kontrolle (H. Bohne & K. Leiber-Sauheidl, persönliche Mitteilung, 5. Februar 2021) (Leiber-Sauheidl et al., 2021b). Weiterhin wurden die Stickstoff-, Kalium- und Phosphatgehalte in der Trockenmasse bei beiden Versuchen ermittelt. Die Ergebnisse der Trockenmasse sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Trockenmasse von Chinakohl aus Keimpflanzentests mit Typha-Biomasse.

Material		Trockenmasse (g/Topf)
Versuch 1 ^{a)}	Kontrolle Torf	3,4
	<i>T. angustifolia</i> 100 %	-
	<i>T. angustifolia</i> 50 % + Torf 50 %	2,2
Versuch 2 ^{b)}	Kontrolle Torf	3,9
	<i>T. latifolia</i> 25 % + Torf 75 %	3,2
	<i>T. latifolia</i> 50 % + Torf 50 %	2,8

(Quelle: In Anlehnung an a) Leiber-Sauheittl et al. (2021a, S. 9), b) Leiber-Sauheittl et al. (2021b, S. 549).)

Um die Pflanzenverträglichkeit von steigendem Rohrkolbenanteil im Substrat zu testen, führte Bünker (2020) ebenfalls Versuche mit Chinakohl durch. Als Kontrollsubstrat wurde eine Mischung aus 10 % Holzfaser + 90 % Torf verwendet, während die Prüfsubstrate neben Torf jeweils 10 %, 20 % und 30 % extrudierte Rohrkolben-Biomasse enthielten. Während der Kulturdauer wurde stark nachgedüngt. Zwischen den Varianten wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich des oberirdischen Pflanzenwachstums festgestellt (siehe Abbildung 9).

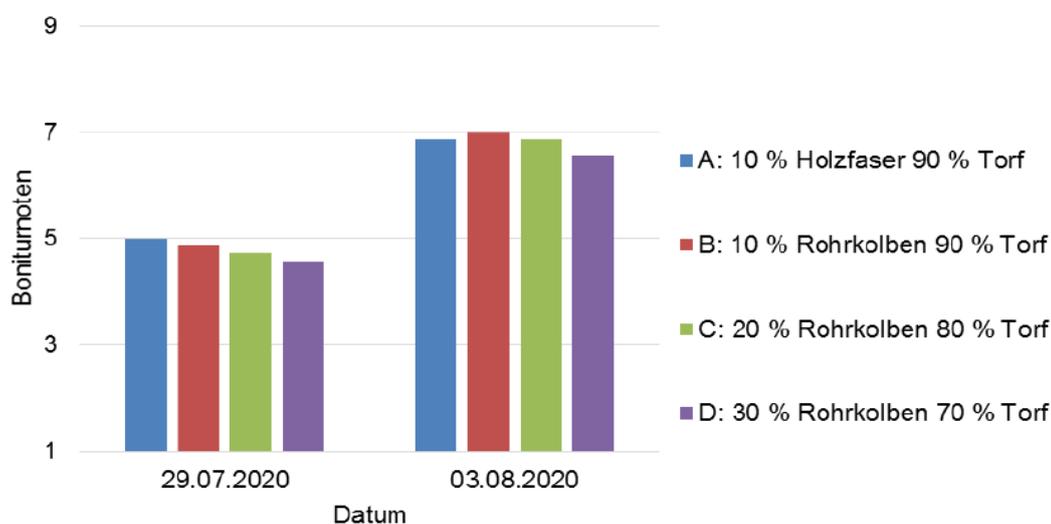


Abbildung 9: Boniturergebnisse des oberirdischen Wachstums von Chinakohl bei steigendem Typha-Anteil im Substrat.
(Quelle: Bünker, 2020.)

Im Projekt „MOORuse“ wurden Kulturversuche mit *Begonia x hiemalis* (8 Wochen Dauer) und *Pelargonium zonale* (9 Wochen Dauer) in Substratmischungen mit zuvor kompostierter Rohrkolben-Biomasse durchgeführt. Das für 130 Tage unter aeroben Bedingungen und Stickstoffzugabe kompostierte Material wurde zu 20 % (Ty20) und zu 40 % (Ty40) mit Weißtorf zu Substraten gemischt. Die Mischungen wurden angepasst aufgekalkt und gedüngt, und auch im Kulturverlauf erfolgten weitere Düngergaben. Als Kontrollsubstrat diente Weißtorf. Abbildung 10 zeigt das Trockengewicht der Triebe im Versuch mit *Begonia*. Die Varianten mit Rohrkolben

(Ty20, Ty40) zeigen keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle (peat). Auch die Ergebnisse des Versuches mit *Pelargonium* zeigten zwischen den Mischungen mit kompostiertem Rohrkolben-Material und Weißtorf keine signifikanten Unterschiede in der getrockneten Sprossmasse. Ebenso konnten in einer visuellen Bonitur von Blatt-Chlorosen im Pelargonien-Versuch keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle festgestellt werden (Hartung & Meinken, 2021b).

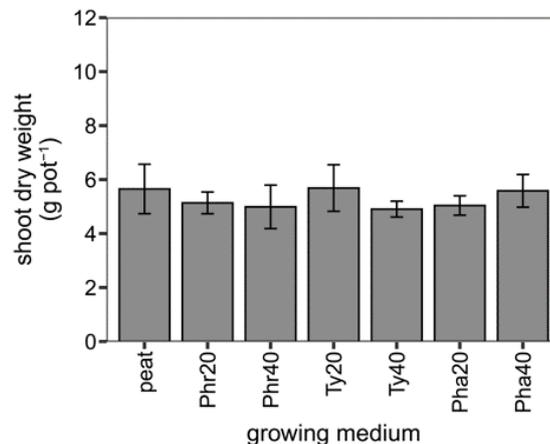


Abbildung 10: Sprossgewicht (trocken) von Begonien in unterschiedlichen Substratmischungen zu Versuchsende. (Säulenbezeichnungen: peat - Weißtorf, Phr - Phragmites, Ty - Typha, Pha - Phalaris.) (Quelle: In Anlehnung an Hartung & Meinken, 2021b, S. 20.)

Um das Vorhandensein von pflanzenschädigenden Stoffen in der Rohrkolben-Biomasse auszuschließen, führten Hartung und Meinken (2021a) mit dem kompostiertem Material Keimpflanzentests mit Chinakohl durch. Hierzu wurde nach VDLUFA Methode A 10.2.1 vorgegangen und das Prüfmaterial zu 50 % mit Weißtorf gemischt. Geprüft wurden das Ausgangsmaterial sowie 22 Tage und 130 Tage lang kompostierter Rohrkolben. Es erfolgen Stickstoffdüngungen um den Einfluss niedriger Stickstoffgehalte auszuschließen. Im Test konnten keine phytotoxischen Stoffe nachgewiesen werden. Die Frischmasse aller Varianten unterschied sich nicht signifikant von der Kontrolle (100 % Weißtorf).

Aktuell¹⁴ laufen im Rahmen des Projektes „Produktketten aus Niedermoorbiomasse“ Kulturversuche mit Zierpflanzen in *Typha*-Substratmischungen. Verwendet wird im Februar geschnittene Biomasse von *Typha latifolia*, welche durch häckseln (0,5 – 2 mm) sowie häckseln und anschließendes kompostieren (3 Wochen lang), aber auch auffasern mittels Refiner-Technik, aufbereitet wurde (D. Rammes & C. Beyer, persönliche Mitteilung, 4. März 2021) (S. Grießer & W. Temming, persönliche Mitteilung, 10. Mai 2021). Die Verarbeitbarkeit und die physikalischen Eigenschaften wurden hier als gut beurteilt, berichtet Beyer (2021) in einem Vortrag. Allerdings weist er auch auf die Problematik der Stickstoff-Immobilisierung des Materials hin, sowie die Zunahme der Salz- und Chloridgehalte bei Kompostierung. Er berichtet weiterhin von einem Kulturversuch mit Petunien in Substratmischungen mit 10 %, 30 % und 50 % Anteil kompostiertem Rohrkolben-Material. Mit steigendem *Typha*-Anteil blieben die Pflanzen signifikant kleiner, im Vergleich zur den Kontroll-Varianten aus 100 % Torf und einer Mischung dessen mit 30 % Holzfaser-Anteil.¹⁵

¹⁴ Stand 1. Halbjahr 2021

¹⁵ Nach Abschluss der Versuche und des Projektes „Produktketten aus Niedermoorbiomasse“ ist mit der Veröffentlichung weiterer Ergebnisse zu rechnen.

3 Schilf

Das gemeine Schilfrohr (*Phragmites australis*), oft einfach als Schilf oder Reed bezeichnet, gehört zur Familie der Süßgräser (*Poaceae*). Es kommt weltweit hauptsächlich im Uferbereich von Gewässern und Feuchtgebieten vor, und verträgt auch einen leichten Salzwassereinfluss. Optimal sind Standorte mit guter Nährstoffversorgung und einem Wasserstand leicht über Flur, wobei auch hohe Wasserstände toleriert werden. Negativ auf das Pflanzenwachstum wirken sich sehr geringe Nährstoffgehalte und pH-Werte (< 4) im Boden aus. Die Verbreitung der konkurrenzstarken und ausdauernden Pflanzen erfolgt in der Natur hauptsächlich vegetativ. Das Rhizom dient der Nährstoffspeicherung und trägt beim Absterben wiederum zur Torfbildung bei (LM M-V, 2017) (Nordt et al., 2020) (Oehmke & Abel, 2016).

Die Ernte erfolgt traditionell im Winter (Januar/Februar), nachdem alle Blätter von den Stängeln abgefallen sind. Das Material ist dann bereits trocken und wird zumeist als Bau- oder Festbrennstoff verwendet. Je nach Genotyp und Standort sind hier Erntemengen von 3,6-15 t TM pro Hektar und Jahr zu erwarten. Erfolgt die Ernte in den Sommermonaten (August/September) sind Erträge von 6,5-23,8 t TM pro Hektar und Jahr möglich (LM M-V, 2017). Für die Verwertung der Biomasse in Biogasanlagen oder als Tierfutter ist eine frühe Ernte im Sommer sinnvoller (Barz et al., 2019) (Hartung, 2020). Diese führt allerdings, aufgrund der Nährstoffabfuhr, auf Dauer zu einer verminderten Produktivität und Schwächung des Schilfbestandes (Nordt et al., 2020).

Schilf findet seit langer Zeit in vielen Bereichen traditionell Verwendung, insbesondere beim Hausbau, aber es entstehen auch immer wieder neue Nutzungsmöglichkeiten.

Ein neuer Anwendungsbereich könnte in leistungsfähigeren Lithium-Ionen-Akkus liegen. So wurde ein Verfahren entwickelt, durch welches die im Schilf enthaltenen Silikate in ein besonders hocheffizientes Anodenmaterial umgewandelt werden können (Kempkens, 2015).

Weltweit am bekanntesten ist wohl das Decken von Dächern mit Schilf, und auch in Deutschland Tradition. Vor allem an der Nord- und Ostseeküste sind Häuser mit Reetdächern verbreitet. Seit 2014 ist das Reetdachdecker-Handwerk in das bundesweite Verzeichnis des Immateriellen Kulturerbes der UNESCO aufgenommen worden (Deutsche UNESCO-Kommission, 2019).

Weitere stoffliche Verwertungsmöglichkeiten sind z.B. in der Bauindustrie als Isolationsmaterial für Wände und Dächer, Werkstoff für Platten und Möbel, oder Schilfmatten. Auch Artikel zur Inneneinrichtung wie Jalousien, Boden- und Wandbeläge sind auf dem Markt. Als Viehfutter kann frisches Material dienen, sowie getrocknetes als Einstreu. Die Lignin- und Zellulosegewinnung aus Schilf-Material ermöglicht u.a. die Papier- und Verpackungsherstellung. Des Weiteren können Schilfbestände als Erosionsschutz an Fluss- und Uferböschungen, oder zur Wasserreinigung in Pflanzenkläranlagen dienen. Energetisch besteht z.B. die Möglichkeit Schilf als Biogas, Biokraftstoffe oder Festbrennstoffe zu nutzen.

Im gartenbaulichen Bereich ist eine Verwendung als Biokohle zur Bodenverbesserung, Mulch, Dünger, Kompost oder Substratausgangsstoff denkbar (Köbbing et al., 2013) (Mal & Narine, 2004) (Nordt et al., 2020) (Wichtmann et al., 2016). Über bisher bekannte Ergebnisse zur Aufbereitung und den relevanten physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften von Schilf-Biomasse als Substratausgangsstoff wird im Folgenden ein Überblick gegeben.

3.1 Aufbereitung als Substratausgangsstoff

Im Gartenbau kann Schilf-Material unterschiedlich genutzt werden, allerdings muss dieses zuvor aufbereitet werden. Hierfür kommen Fermentation, Kompostierung sowie thermische oder mechanische Bearbeitung in Frage (Stucki et al., 2019). Einige dieser Aufbereitungsmöglichkeiten wurden bereits getestet und die Ergebnisse hierzu teilweise veröffentlicht.

3.1.1 Häckseln

So wurde im Rahmen des Projektes „Entwicklung eines Prüfrasters für die Herstellung von Torfersatzstoffen mit hoher Kultursicherheit für den Erwerbsgartenbau“ das Schilf-Material für die Untersuchungen mechanisch aufbereitet. Es wurde getrocknet, gehäckselt und anschließend auf eine Korngröße zwischen drei und sechs Millimeter gesiebt (Leiber-Sauheitl et al., 2021a).

3.1.2 Auffasern

Durch Nutzung einer Holzfasieranlage testete Bünker (2020) eine Aufbereitungsmethode die thermisch und mechanisch auf das Material einwirkt. Allerdings ließ sich das Schilf-Material mit der firmeneigenen Anlage eines deutschen Substratherstellers nur in Vormischung mit 50 % Hackschnitzeln auffasern.

Dies scheint jedoch anlagenbedingt zu sein, da der Rohstoff in anderen Versuchen mittels Extruder- und Refiner-Technik aufgefasert werden konnte.

So bereitete Grießer (2016) gehäckselt Schilf-Material im hydrothermomechanischen Verfahren mit einem Doppelschneckenextruder auf, wobei unterschiedliche Einstellungen von Wasserzufuhr und Mundlochöffnung getestet wurden. Der Prozess der Extrusion führte bei der Schilf-Biomasse zu keinem Volumenzuwachs, sondern zu einem Schwund (siehe Abbildung 11). Ermittelt wurde das Volumengewicht durch Auslitern nach DIN EN 12580.

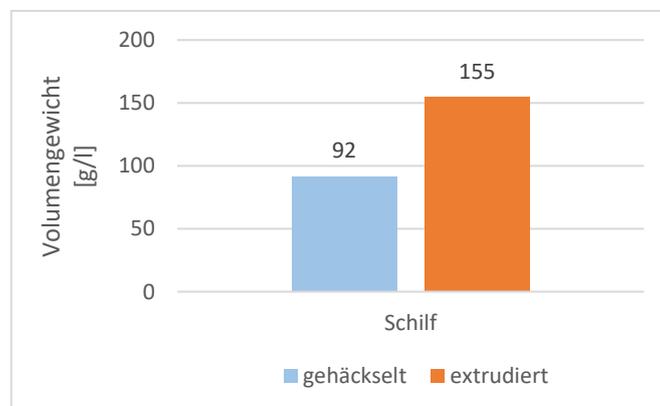


Abbildung 11: Volumengewichtsveränderung von Schilf-Material vor und nach Extrusion. (Quelle: In Anlehnung an Grießer, 2016, S. 54.)

Ebenfalls mit einem Doppelschneckenextruder bereiteten Hehmann et al. (2017) Biomasse von Schilf auf (siehe auch Kapitel: 3.2.1 Physikalische Eigenschaften).

In einem Projekt wurde Biomasse mittels Refiner-Technik aufgefasert. Hier war es mit der verwendeten Anlage möglich eine individuelle Anpassung des Endproduktes zu erreichen, da verschiedene Einstellungen vorgenommen werden konnten (z.B. der Druck durch die Scheiben) (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021).

3.1.3 Kompostieren/Fermentieren

Im Projekt „MOORuse“ werden verschiedene Paludikulturpflanzen auf ihre Eignung als Torfersatzstoffe untersucht. Durch Brutversuche wurde die Immobilisierung von Stickstoff in den Materialien ermittelt, und insbesondere bei Schilf (*Phragmites*) eine hohe Festlegung festgestellt (siehe auch Kapitel: 3.2.3 Biologische Eigenschaften). Um eine Stabilisierung des Stickstoffhaushaltes zu erreichen, wurde die gehäckselte (< 2 cm) Schilf-Biomasse unter Zugabe von Stickstoff (Harnstoff 1000 mg N/l) und anderem Dünger kompostiert. Wie in Abbildung 12 zu sehen, waren während der gesamten Kompostierungsdauer weitere Stickstoffgaben (↑ N) nötig, und das Material wurde mehrfach umgeschichtet (turning). Bei Bedarf wurde es auch mit destilliertem Wasser befeuchtet. Da während des Prozesses (insbesondere am Anfang) hohe Temperaturen über einen längeren Zeitraum gemessen wurden, wurde von einer Hygienisierung des Materials ausgegangen (siehe Abbildung 12) (Hartung, 2021) (Hartung & Meinken, 2021a).

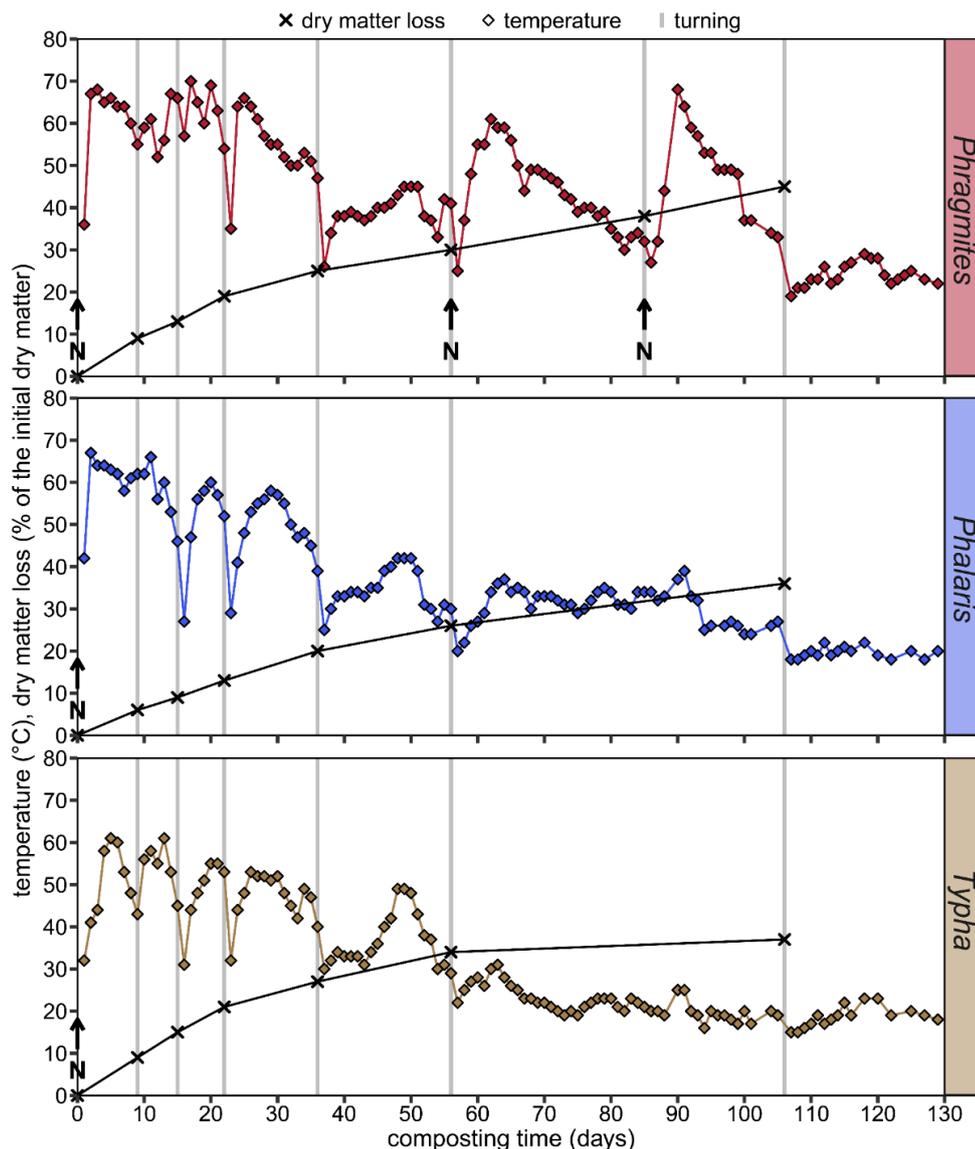


Abbildung 12: Temperaturverlauf während der Kompostierung von Paludikultur-Biomasse sowie Erfassung von Stickstoffgaben, Umsetzen und Trockenmasseverlust. (Quelle: Hartung, 2021, S. 7.)

Durch den Kompostierungsprozess konnte so ein stabiler Stickstoffhaushalt im Schilf-Material erreicht werden, wie Abbildung 13 zeigt (Hartung, 2020).

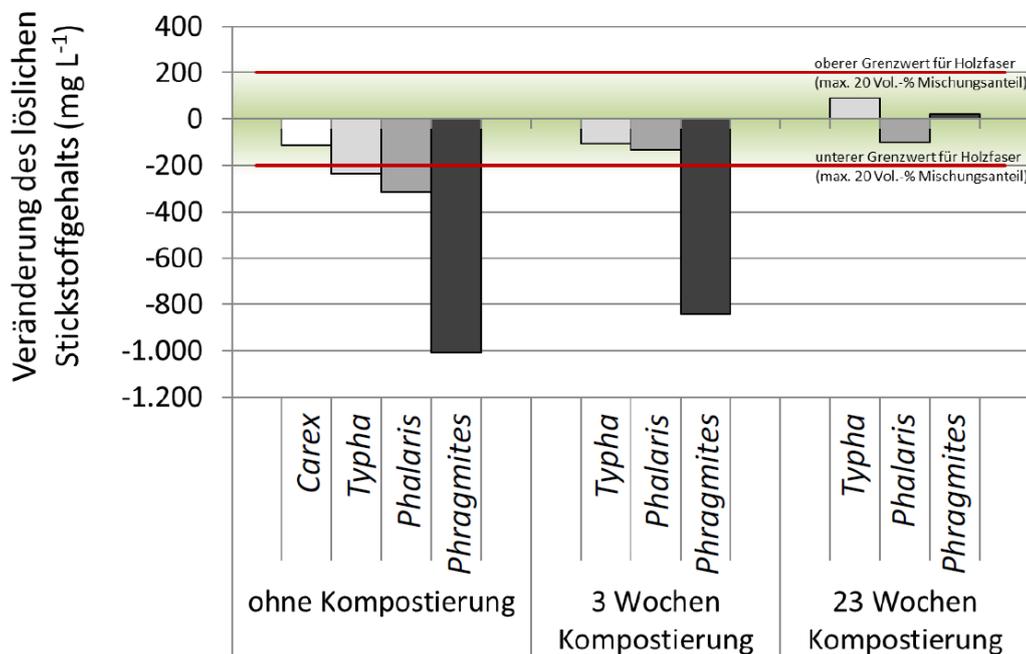


Abbildung 13: Stickstoff-Immobilisierung von gehäckseltem Paludimaterial im Brutversuch in Abhängigkeit von der Kompostierungsdauer. (Quelle: Hartung, 2020, S. 17.)

Weiterhin lassen sich in Abbildung 12 Unterschiede im Verlauf des Kompostierungsprozesses von Schilf im Vergleich zur Paludikultur Rohrkolben erkennen. Die Umsetzungsprozesse des Schilf-Materials benötigen einen längeren Zeitraum als die des Rohrkolbens. Während bei *Typha* die Temperatur nach 56 Tagen nicht mehr über 40 °C anstieg, wurden bei *Phragmites* wiederholt Temperaturanstiege auf über 60 °C gemessen. Nach 56 und 85 Tagen Kompostierung erfolgten zusätzliche Stickstoffgaben bei *Phragmites*, bei *Typha* war dies nicht nötig. Der Trockenmasseverlust war bei *Typha* zwischen Tag 56 und 106 nur noch gering, während die Schilfmasse zu dieser Zeit noch weiter stärker abnahm. Dies lässt auf eine abgeschlossene Kompostierung nach 56 Tagen bei Rohkolben schließen, während dies bei Schilf erst nach über 100 Tagen zutrifft. Die Umsetzungsprozesse in der *Typha*-Biomasse waren nicht nur insgesamt schneller abgeschlossen, auch der Stickstoffhaushalt war bereits nach einer kürzeren Kompostierungsdauer stabiler, als beim Schilfmateriale (Hartung, 2021) (Hartung & Meinken, 2021a).

In Brutversuchen untersuchte Hartung (2021), welchen Einfluss 22-tägiges kompostieren auf die Stickstoff-Immobilisierung verschiedener Rohstoffe hat (siehe Abbildung 14). Während *Phragmites*-Biomasse nach dieser Zeit noch immer eine hohe N-Immobilisierung zeigte, war die N-Dynamik von *Typha* bereits annähernd stabil.

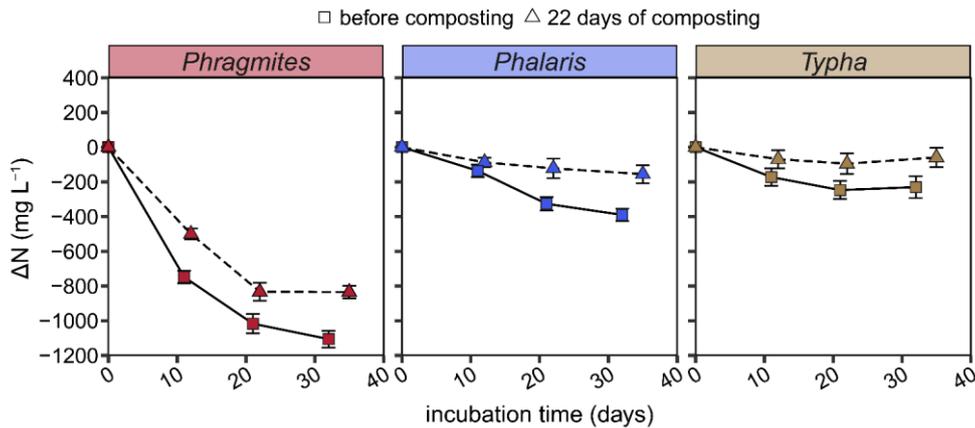


Abbildung 14: Veränderung der Stickstoffgehalte während der Bebrütung von *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea* und *Typha latifolia* ohne Kompostierung und nach dreiwöchiger Kompostierung. (Quelle: Hartung, 2021, S. 10.)

Für die Kompostierung ungeeignet zeigte sich das mittels Refiner-Technik aufgefaserter Material. Die Temperaturen während der Kompostierung wurden zu hoch und es entstanden anaerobe Bedingungen, welche ein häufiges Belüften während des Prozesses nötig machten. Da dies als nicht praktikabel angesehen wurde, werden die Untersuchungen mit aufgefaserter Material hierzu nicht fortgeführt (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021).

Laut Kotowski & Jabłońska (2020) können Komposte aus Schilf zur Bodenverbesserung oder als alternatives Kultursubstrat verwendet werden, da sie erwiesenermaßen positive Eigenschaften, wie eine hohe Wasserrückhaltefähigkeit, einen neutralen pH-Wert und einen hohen Gehalt an organischem Stickstoff aufweisen.

Bei der Kompostierung ist allerdings zu beachten, dass ein Verlust an Volumen auftritt, welcher nicht nur zu einer höheren Konzentration der (Nähr-)Stoffe im Material führt, sondern auch zu einem höheren Volumengewicht. Insbesondere bei Material mit erhöhten Chlorid- bzw. Salzgehalten führt kompostieren so zu einer unerwünschten weiteren Erhöhung dieser Werte (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021). Im Projekt „MOORuse“ betrug der Trockenmasse-Verlust am Ende der Kompostierung bei Schilf 45 % (Hartung & Meinken, 2021a). Höhere Volumengewichte wiederum haben u.a. Einfluss auf die Transportkosten. Weiterhin wirken sich bei der Kompostierung auch die längerfristig benötigten Lagerflächen und die Emissionsvorgaben auf die Wirtschaftlichkeit von Substratausgangsstoffen aus (Grießler, 2016). Auch entstehen zusätzliche Treibhausgase, weil ein Teil des organischen Kohlenstoffs wieder in die Atmosphäre entweicht (Kotowski & Jabłońska, 2020).

3.2 Substratrelevante Eigenschaften

Um die Verwendung eines Materials als Substratausgangsstoff zu beurteilen, müssen die für Substrate relevanten Eigenschaften ermittelt werden. Diese lassen sich vereinfacht in physikalische, chemische und biologische Eigenschaften unterteilen.

3.2.1 Physikalische Eigenschaften

Bei Schilf-Material, welches nach dem Trocknen gehäckselt und auf 3-6 mm gesiebt wurde, ermittelten Leiber-Sauheitl et al. (2021a) nach VDLUFA Methodenvorschrift eine Trockenrohichte von 103 g/l. Weiterhin wurde bei dem Material die Wasserkapazität für unterschiedliche Saugspannungen sowohl pur, als auch in Mischung mit 50 Vol.-% Weißtorf, ermittelt. Diese Ergebnisse, sowie die der maximalen Wasserhaltekapazität und dem

pflanzenverfügbaren Wasser, sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Ebenso die Werte der Kontrolle mit 100 % (Weiß-) Torf.

Tabelle 7: Maximale Wasserhaltekapazität (WHK_{max}), Wasserkapazität und pflanzenverfügbares Wasser von gehäckseltem und gesiebttem (3-6 mm) Schilfmaterial und Torf.

Material	WHK_{max} (Vol.-%)	Wasserkapazität (Vol.-%) bei			Pflanzen- verfügbares Wasser (Vol.-%)
		- 10 hPa	- 50 hPa	- 100 hPa	
Torf 100 %	82	75	41	40	35
Schilf 100 %	15	15	15	15	0
Schilf 50 % + Torf 50 %	45	40	26	22	19

(Quelle: In Anlehnung an Leiber-Sauheitl et al., 2021a, S. 8 & 16.)

Ohne Angabe zur Aufbereitung und Zustand des Materials nennen Stucki et al. (2019) für Schilf eine Wasserkapazität von 12 Vol.-% und eine Luftkapazität von 84 Vol.-%.

Hehmann et al. (2017) haben eine dem Weißtorf ähnliche Schüttdichte festgestellt, wenn das Schilf mittels eines Doppelschneckenextruder aufbereitet wurde. Das Gesamtporenvolumen dieses Materials lag bei ca. 90 Vol.-%, die Wasserkapazität in einem Bereich zwischen 60-70 Vol.-%, und die Luftkapazität zwischen 20-30 Vol.-%. Im Vergleich zu einem Schwarztorf-Weißtorf-Gemisch (70 %/30 %, Kontrolle) wurde bei Substratmischungen mit 20 % und 40 % Schilfanteil unterhalb einer Saugspannung von -50 cm Wassersäule (WS) eine geringere Menge an freigesetztem Wasser festgestellt. Bei höherer Saugspannung ergaben sich kaum noch Unterschiede in der Wasserfreisetzungskurve (siehe Abbildung 15).

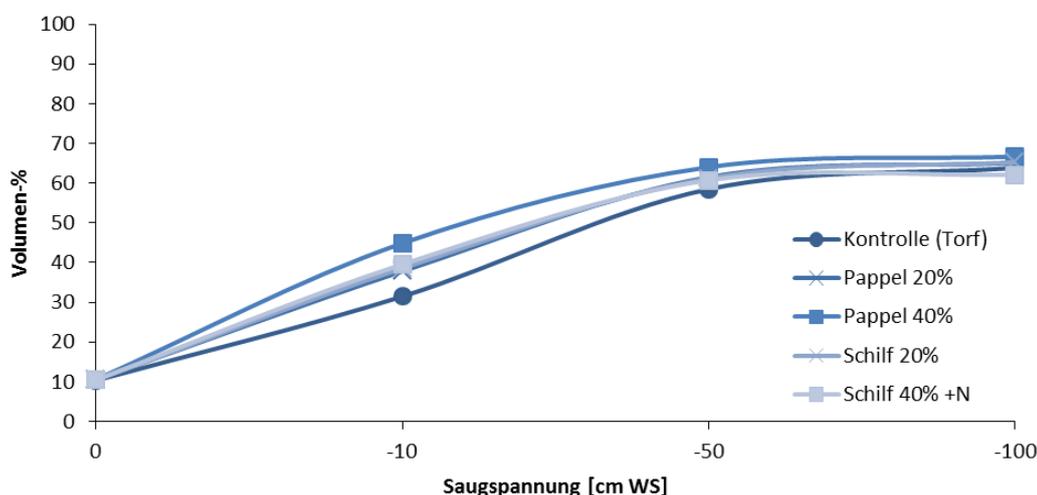


Abbildung 15: Wasserfreisetzungskurve für ausgewählte Substratmischungen ($n=4$).
(Quelle: Hehmann et al., 2017, S. 97.)

Grießer (2016) ermittelte nach DIN EN 12580, bei ebenfalls mit einem Doppelschneckenextruder aufbereitetem Material, ein Volumengewicht von 155 g/l und bei Häckselmaterial von 92 g/l. Die Korngrößenverteilung des von ihm extrudierten Schilf-Materials ist in Abbildung 16 dargestellt.

Das Verteilungsspektrum ist vermutlich von den individuellen Einstellungen der Extruder-Anlage abhängig.

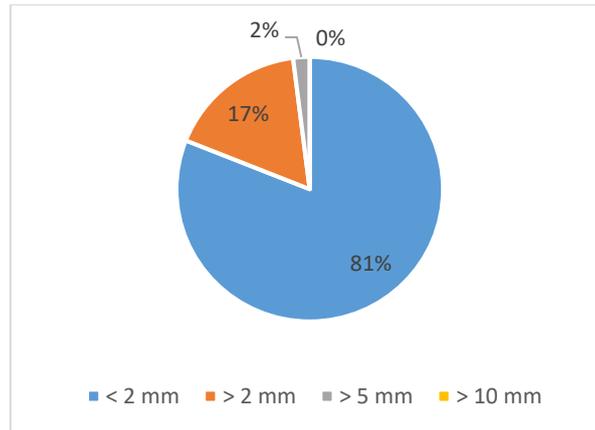


Abbildung 16: Korngrößenverteilung von extrudiertem Schilf-Material in Prozent. (Quelle: In Anlehnung an Grießer, 2016, S. 56.)

3.2.2 Chemische Eigenschaften

Unterschiedliche Faktoren nehmen Einfluss auf die Inhaltsstoffe von Schilf-Biomasse. Die stofflichen Eigenschaften werden laut Wichmann (2009) am stärksten vom Erntezeitpunkt beeinflusst, gefolgt vom Standort und dem durchschnittlichen Grundwasserstand.

Untersuchungen zeigen zum Teil hohe Stoffmengendifferenzen zwischen Wintermaterial und solchen im Frühjahr bis zum Herbst geschnittenem Material. Die in Abbildung 17 von Oehmke & Wichmann (2016) dargestellten Konzentrationsveränderungen verdeutlichen die Abnahme der Inhaltsstoffe zum Winter hin, sowie Unterschiede in der Abnahmhöhe zwischen den Elementen.

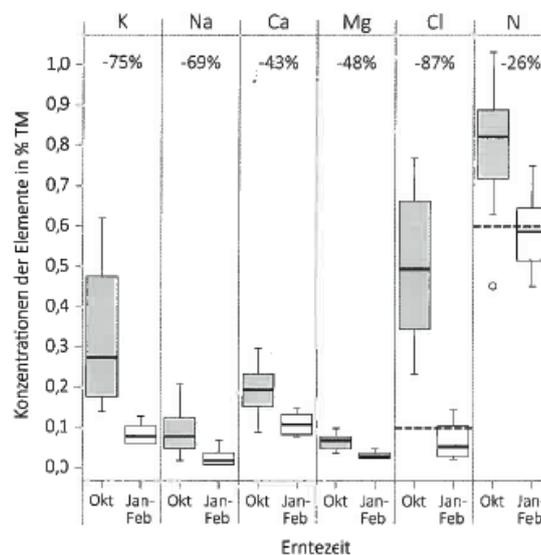


Abbildung 17: Konzentration verbrennungskritischer Inhaltsstoffe von fünf verschiedenen Schilfbeständen (*Phragmites australis*) im Oktober und Januar/Februar in Norddeutschland. Prozentangaben zeigen die Konzentrationsverluste an (eigene Daten). Gestrichelte Linien: Grenzwerte für Cl und N (nach Obernberger et al. 2006). (Quelle: Oehmke & Wichmann, 2016, S. 51.)

Insbesondere auf den Chloridgehalt von Schilf (*Phragmites*) hat der Erntezeitpunkt einen großen Einfluss. So kann im Zeitraum von Frühling bis Herbst geerntetes Material wesentlich höhere Mengen enthalten, als solches aus der Wintermahd. Dies zeigen Ergebnisse von Hartung & Meinken (2021c) (siehe Abbildung 18) ebenso, wie den Einfluss des Wasserstandes auf die Inhaltsstoffe. Bei niedrigen Wasserständen wurden auch geringere Chloridgehalte gefunden.

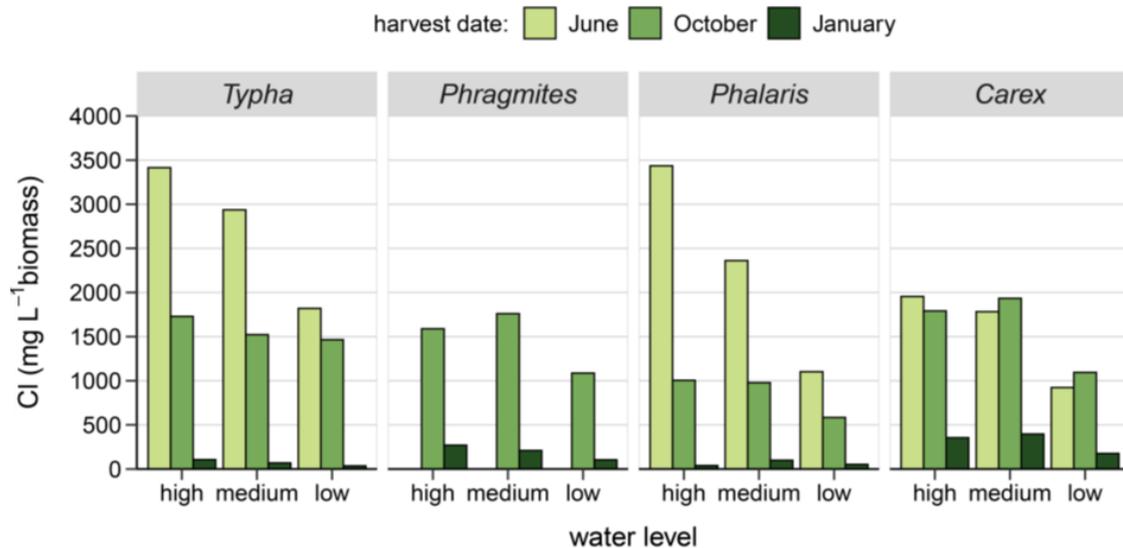


Abbildung 18: Chloridgehalte von *Typha*, *Phragmites*, *Phalaris* und *Carex* aus dem Freisinger Moor bei unterschiedlichen Erntezeitpunkten und Wasserständen. (Quelle: Hartung & Meinken, 2021c, verändert durch Übersetzung.)

Den Einfluss des Standortes auf die Inhaltsstoffe der Biomasse nennen neben Barz et al. (2019), Köbbing et al. (2013) und Wichmann (2009), auch Wöhler-Geske et al. (2016). Letztere haben 214 handelsübliche Reetbunde aus 12 verschiedenen Ländern in Europa und Asien untersucht. Tabelle 8 zeigt einige dieser Ergebnisse. Der Erntezeitpunkt des Materials lag überwiegend im Winter.

Tabelle 8: Chemische Zusammensetzung von Schilf-Materialproben unterschiedlicher Standorte (n=214).

Chemischer Bestandteil	Analysenergebnisse Im Bereich von –bis (%)	Variationskoeffizient (%)
Mg ¹⁾	0.009 - 0.059	38.9
Si ¹⁾	0.16 - 2.76	52.5
P ¹⁾	0.004 - 0.034	49.5
K ¹⁾	0.02 - 0.8	61.8
Ca ¹⁾	0.01 - 0.57	49.3
N ²⁾	0.053 - 0.668	49.4
C ²⁾	47.3 - 52.63	1.9
C/N (ohne Dimension) ³⁾	76 - 963	59.5

Analysemethoden: 1) nach Schnug und Haneklaus (1999), 2) nach Dumas, 3) nach VDLUFA Methodenbuch III (2007).

(Quelle: In Anlehnung an Wöhler-Geske et al., 2016, S. 5.)

Die effektive Stoffaufnahmefähigkeit von Schilfrohr könnte sich als problematisch erweisen, wenn sie zu erhöhten Schwermetallgehalten in der Biomasse und somit später im Substrat führt. Da die meisten dieser Stoffe, wie Blei, Zink, Kupfer und Cadmium jedoch hauptsächlich in der unterirdischen Biomasse gespeichert werden (Mal & Narine, 2004), kann von geringeren Gehalten in der verwendeten Sprossmasse ausgegangen werden. So wiesen Aksoy et al. (2005) in den Wurzeln höhere Konzentrationen nach als im Rhizom, noch geringere im Spross.

Zur Beurteilung der Kohlenstoff-Dynamik haben Leiber-Sauheitl et al. (2021a) auch leicht abbaubare Verbindungen untersucht. Bei unterschiedlichen Temperaturen (20 °C und 80 °C) wurden die mittels einer Salzlösung extrahierbaren Kohlenstoffverbindungen (SSC) (z.B. Kohlenhydrate) ermittelt sowie der Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) (siehe Tabelle 9). Weiterhin wurden die Gehalte an Hemicellulose (25,1 % der Trockenmasse) und Cellulose (53,7 % der Trockenmasse) sowie der Roh-Lignin-Gehalt des Schilf-Materials ermittelt. Letzterer betrug 14,7 % der Trockenmasse.

Tabelle 9: Gehalte an organischem Kohlenstoff und salzextrahierbaren Kohlenstoffverbindungen von Torf und Schilf.

	C_{org} gesamt	SSC 20 °C	SSC 80 °C
Material	mg C/g Trockengewicht		
Torf 100 %	470	0,9	8,2
Schilf 100 %	468	2,9	7,4
Schilf 50 % + Torf 50 %	453	2,0	7,3

(Quelle: In Anlehnung an Leiber-Sauheitl et al., 2021a, S. 11.)

Auch Wiedow & Burgstaler (2016) nennen Werte zum Anteil von Cellulose (42-45 % der Trockenmasse), Hemicellulose (24-27 % der Trockenmasse) und Lignin (22-24 % der Trockenmasse), welche von Holzmann & Wangelin (2009) stammen.

Im Projekt „MOORuse“ wurde eine Belastung von Paludikultur-Biomasse mit Herbiziden festgestellt. So fanden sich in Material aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands (auch Wildsammlungen) Rückstände, welche bei Verwendung in Substraten zu Pflanzenschäden führen könnten. (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 9. Februar 2021) (Hartung & Eickenscheidt, 2018). Weitere großflächigere Untersuchungen hierzu sind im Projekt geplant, um einen besseren Überblick über die Belastungshöhe zu bekommen (C. Hartung, persönliche Mitteilung, 11. Juni 2021).

Üblicher Weise wird für die Beurteilung eines Substrates oder Substratausgangsstoffes eine sogenannte Grundanalyse durchgeführt. Sie enthält die auf den ersten Blick für eine Pflanzenkultur wichtigsten chemischen Parameter wie den pH-Wert, den Salzgehalt und die Hauptnährstoffe Stickstoff, Kalium und Phosphor. In Schilf-Material ohne Beimischungen haben Stucki et al. (2019) niedrige Hauptnährstoffgehalte und einen niedrigen Salzgehalt festgestellt (siehe Tabelle 10). Der Salzgehalt und die Stickstoffgehalte wurden im Wasserextrakt (1:1,5) und die Kalium- und Phosphat-Werte im EDTA-Extrakt nach der Schweizerischen Referenzmethode gemessen. Ähnliche Ergebnisse finden sich auch bei Bünker (2020) und Leiber-Sauheitl et al. (2021a) bei Analyse nach VDLUFA Methodenvorschrift.

Die Analysen-Ergebnisse von kompostiertem Schilf finden sich in Tabelle 11. Wie zu erwarten sind die Nährstoff-, und insbesondere der Salzgehalt, hier höher als beim unbehandelten Schilf

in Tabelle 10 (Hartung & Meinken, 2021b) (siehe auch Kapitel: 3.1.3 Kompostieren/Fermentieren).

Tabelle 10: Ergebnisse von pH-Wert, Salzgehalt und Nährstoff-Analyse von Schilf-Material.

	Schilf ^{a)}	Schilf ^{b)}	Schilf ^{c)}
pH-Wert	6,4	6,0	5,1
N _{min} (mg/l)	< 5	< 10	10
P ₂ O ₅ (mg/l)	9	48	34*
K ₂ O (mg/l)	163	122	117*
Salzgehalt (g/l)	0,27	0,35	0,37

*: Analysewerte wurden für eine bessere Vergleichbarkeit mittels Umrechnungsfaktor von K zu K₂O, P zu P₂O₅ umgerechnet.

(Quellen: In Anlehnung an a) Stucki et al., 2019, S. 27, b) Bünker, 2020 (Analyse nach VDLUFA Methode, N_{min} in CaCl₂, P₂O₅ & K₂O in CAL) und c) Leiber-Sauheitl et al., 2021a, S. 8 (Analyse nach VDLUFA Methode, N_{min}, P₂O₅ & K₂O in CAT).)

Die von Griebler (2016) ermittelten Analysewerte in Tabelle 11 stammen von Substratmischungen in denen Hornspäne zur Düngung enthalten sind (siehe auch Kapitel: 3.3 Substrate in pflanzenbaulichen Versuchen). Extrudierte Schilf-Biomasse wurde zu 20 %, 30 % und 40 % mit einem Torf-Ton-Substrat gemischt und nach VDLUFA Methodenvorschrift analysiert.

Das für die Mischungen verwendete Torf-Ton-Substrat diente auch als Kontrolle in den Kulturversuchen. Da die Analysenergebnisse der Kontrolle denen der Mischungen sehr ähnlich sind, ist von einer sehr geringen Nährstofffracht des Schilf-Materials auszugehen. Lediglich der Stickstoffgehalt lag zum Analysezeitpunkt beim Kontrollsubstrat mit 144 mg/l deutlich höher, als in den Varianten mit Schilf (51-61 mg/l).

Tabelle 11: Ergebnisse von pH-Wert, Salzgehalt und Nährstoff-Analyse von Schilf-Material in Mischungen und kompostiert.

	Schilf + Torf-Substrat + Hornspäne 20 / 30 / 40 % Schilf ^{a)}	Schilf kompostiert ^{b)}
pH-Wert	5,6 / 5,6 / 5,6	6,1
N _{min} (mg/l)	54 / 51 / 61	335
P ₂ O ₅ (mg/l)	122 / 129 / 128	176
K ₂ O (mg/l)	279 / 282 / 272	731
Salzgehalt (g/l)	-	2,43

(Quellen: In Anlehnung an a) Griebler, 2016, S. 59-62 und b) Hartung & Meinken, 2021b, S. 18 (Analyse nach VDLUFA Methode, N_{min}, P₂O₅ & K₂O in CAT).)

Griebler (2016) führte nach Beendigung seines 10-wöchigen Kulturversuches mit *Heuchera americana* (Purpurglöckchen) wiederholt eine Messung der pH-Werte durch. Die pH-Werte veränderten sich über die Kulturzeit leicht nach oben, jedoch in einem zu erwartenden Bereich. Im Vergleich zur Kontrollvariante ist der Anstieg in manchen der Substratmischungen sogar geringer (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Veränderung der pH-Werte unterschiedlicher Substratmischungen mit Schilffanteil zu Versuchsbeginn und zu Versuchsende.

Material	ohne Beimischung		+ Hornspäne		+ Hornspäne + Holzkohlestaub	
	Versuchs- beginn	Versuchs- ende	Versuchs- beginn	Versuchs- ende	Versuchs- beginn	Versuchs- ende
Schilf 20 %	5,6	5,8	5,7	6,0	5,8	6,3
Schilf 30 %	5,6	5,8	5,8	5,9	5,8	6,3
Schilf 40 %	5,6	6,0	5,7	5,7	5,9	6,3
Schilf 0 % (Kontrolle)	5,6	6,1	-	-	-	-

(Quelle: In Anlehnung an Grießer, 2016, S. 62.)

Auch Hartung & Meinken (2021b) protokollierten den Verlauf der pH-Werte in ihrem neunwöchigen Kulturversuch mit *Pelargonium zonale*. In den Substratmischungen mit 20 % und 40 % kompostiertem Schilf-Material wurden die in Tabelle 13 aufgeführten pH-Werte (zu Beginn, während und zu Ende der Kultur) festgestellt. Die Kontroll-Variante aus 100 % Weißtorf ist zum Vergleich mit aufgeführt. Die pH-Werte veränderten sich kaum über die Kulturdauer hinweg, wobei die kulturbegleitende Düngung mit Fertyl 3 Mega zu beachten ist (siehe auch Kapitel: 3.3 Substrate in pflanzenbaulichen Versuchen).

Tabelle 13: Veränderung der pH-Werte unterschiedlicher Substratmischungen mit kompostiertem Schilffanteil im Kulturversuch mit *Pelargonium zonale*.

Material	Versuchs- beginn	Kulturdauer			Versuchs- ende
		3 Wochen	6 Wochen	8 Wochen	
Torf (Kontrolle)	5,8	6,1	5,9	5,9	5,7
Schilf 20 %	5,9	6,1	6,1	6,2	6,1
Schilf 40 %	5,8	6,0	6,0	6,2	6,0

(Quelle: In Anlehnung an Hartung & Meinken, 2021b, S. 19 & S. 22.)

Vandecasteele et al. (2018) ermittelte den Einfluss von unterschiedlichen Auffaserungsmethoden auf verschiedene Eigenschaften und Inhaltsstoffe von zwei Schilf-Proben. Einige Ergebnisse hierzu sind in Tabelle 14 zusammengefasst, und zeigen einen Einfluss der Aufbereitungsmethode auch auf die chemischen Substrateigenschaften von *Phragmites*. Insbesondere das Steam-Explosion-Verfahren bewirkt nicht nur physikalische Veränderungen im Material, auch eine Veränderung des pH-Wertes ist erkennbar.

Tabelle 14: Gehalte an Hemicellulose, Cellulose und Lignin in unterschiedlich aufgefaserter Schilf-Biomasse sowie deren pH-Werte

Material	Behandlung	Hemicellulose	Cellulose	Lignin	pH-Wert in H ₂ O
		% der Trockenmasse			
Schilf Probe 1	unbehandelt	27,9	38,8	11,8	6,9
	Extrusion	28,5	28,9	23,5	6,7
	Scheiben-Refining	28,0	38,4	12,0	7,0
	Steam-Explosion-Verfahren	7,9	41,6	12,1	3,7
Schilf Probe 2	unbehandelt	29,0	47,7	18,6	6,0
	Retruder	26,5	35,9	19,6	6,7
	Scheiben-Refining	29,0	52,5	20,6	5,6

(Quelle: In Anlehnung an Vandecasteele et al., 2018, S. 1148.)

3.2.3 Biologische Eigenschaften

Schilf-Material weist eine hohe biologische Aktivität auf (Leiber-Sauheitl et al., 2021a) und somit auch eine hohe Stickstoff-Immobilisierung. Hierauf hat auch der Erntezeitpunkt einen Einfluss, wie Untersuchungen von Hartung & Eickenscheidt (2018) zeigen. In Abbildung 19 ist die Veränderung des Stickstoffgehaltes im Brutversuch dargestellt, wobei das Schilf-Material (*Phragmites*) unterschiedlicher Erntezeitpunkte bebrütet wurde. Über den Sommer zum Herbst hin ist zuerst eine Abnahme der Veränderung zu beobachten, in im Oktober geerntetem Material jedoch wieder ein Anstieg.

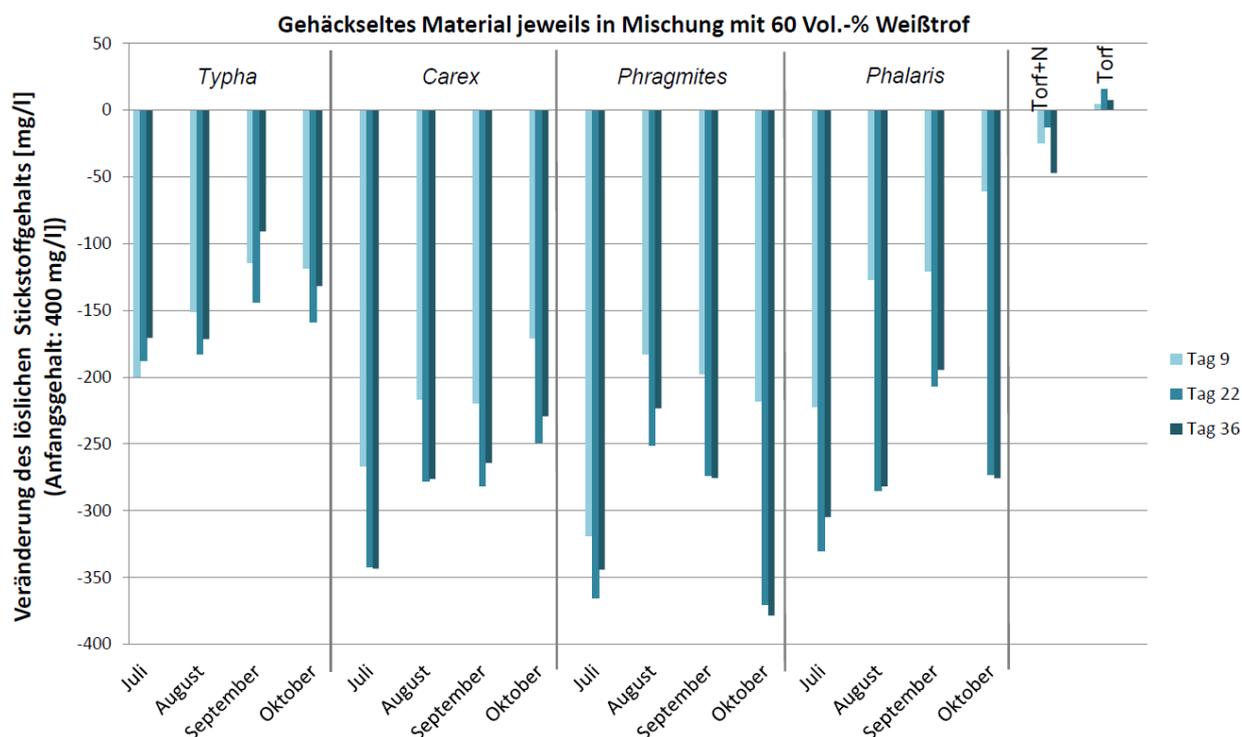


Abbildung 19: Brutversuch zur Bestimmung der N-Immobilisation in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt. (Quelle: Hartung & Eickenscheidt, 2018.)

Ein unausgeglichener Stickstoffhaushalt stellt ein Problem dar, wenn ein Material als Substratausgangsstoff verwendet werden soll. Insbesondere für den Bereich der Profi-Kultursubstrate ziehen manche Substrathersteller solche Materialien dann nicht weiter in Betracht (S. Hindenberg, persönliche Mitteilung, 20. April 2021). Zur Stabilisierung muss eine weitere Behandlung des Materials erfolgen (z.B. Kompostierung, siehe Kapitel: 3.1.3 Kompostieren/Fermentieren), oder mittels Düngemittelgabe entgegengewirkt werden.

Auch die Aufbereitungsmethode kann sich auf die Stabilität des Stickstoffhaushaltes auswirken, wie Vandecasteele et al. (2018) zeigten. So wurden die Auswirkungen von unterschiedlichen Auffaserungsmethoden auf die Stickstoff-Immobilisierung von Schilf-Material untersucht. Getestet wurde mittels Scheiben-Refiner, Extruder, Retruder und Steam-Explosion-Verfahren aufgefaserter Material. Extrudieren hatte keinen Einfluss. Die Immobilisierung erhöhte sich bei retrudiertem und mit Steam-Explosion-Verfahren behandeltem Material, während bei Material aus dem Scheiben-Refiner eine Verminderung festgestellt wurde. Allerdings zeigte bei einer anderen Schilf-Probe die Refiner-Technik keinen Einfluss auf die Stickstoffstabilität. Die anderen Auffaserungsmethoden wurden jeweils nur an einer Probe Schilf getestet.

Die finnische Firma Kiteen Mato ja Multa Oy hat für ihr Substrat mit 50 % Schilf (Sommermahd) eine Strategie entwickelt, denn die Projektmanagerin gibt an, es gäbe bei ihrem Produkt kein Problem mit Stickstoff-Immobilisierung (L. Lahtinen, persönliche Mitteilung, 5. Mai 2021). Genauere Angaben zur Materialaufbereitung oder Analysedaten möchte Sie aber, zur Wahrung des Betriebsgeheimnisses, nicht nennen. In einem Kulturversuch mit Tomaten in diesem Substrat stellte das Natural Resources Institute Finland allerdings zeitweise einen erhöhten Stickstoffbedarf der Kultur fest, welcher auf eine Immobilisierung hinweist (siehe Kapitel: 3.3 Substrate in pflanzenbaulichen Versuchen) (Särkkä et al., 2016).

Die Stickstoff-Immobilisierung von Schilf aus dem Anbau und aus Naturschutzgebieten wird von Stucki et al. (2019) als "mittel" bewertet, wobei die Kategorien keine/klein/mittel/hoch verwendet wurden.

Leiber-Sauheidl et al. (2021a) ermittelten eine hohe Stickstoff-Immobilisierung (mehr als 350 mg N/l) bei purem Schilf-Material aus Wintermahd sowie eine ähnlich hohe Immobilisierung in Mischungen des Materials mit 50 Vol.-% Weißtorf (welcher einen stabilen N-Haushalt aufweist).

Weiterhin untersuchten Leiber-Sauheidl et al. (2021a) die Bodenatmung der gleichen Materialien, und konnten somit auch Rückschlüsse auf die Abbaustabilität ziehen. Gemessen wurden hierzu die CO₂-Emissionen, welche auf die mikrobielle Aktivität schließen lassen. Wie in Abbildung 20 zu sehen, wurden bei der Substratmischung mit 50 % Schilfanteil (Ph 50) höhere CO₂-Emissionen gemessen als in der Kontrolle mit Weißtorf (Peat 100). Die Variante mit 100 % Schilf-Biomasse (Ph 100) zeigte nochmals deutlich höhere Emissions-Werte. Die geringere Stabilität des Schilf-Materials gegenüber von Abbauprozessen wird auf große Mengen an leicht abbaubaren Verbindungen von Hemicellulose und Cellulose zurückgeführt (siehe auch Kapitel: 3.2.2 Chemische Eigenschaften).

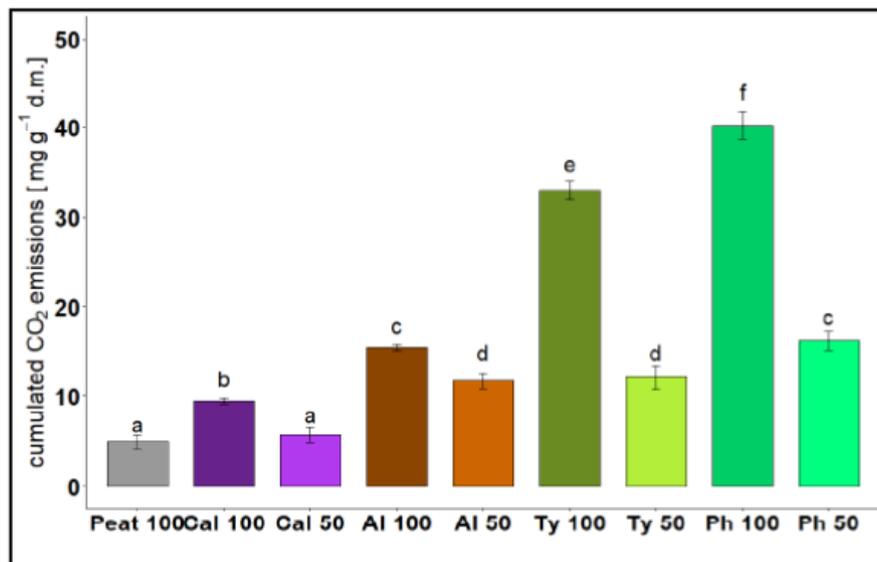


Abbildung 20: Kumulierte CO₂-Emissionen von Substratrohstoffen und deren Mischungen nach 13 Tagen Inkubation. Unterschiedliche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede zwischen den Varianten hin. (Peat: Weißtorf, Cal: Besenheide, Al: Schwarzerle, Ty: Rohrkolben, Ph: Schilf) (Quelle: In Anlehnung an Leiber-Sauheidl et al., 2021a, S. 10.)

3.3 Substrate in pflanzenbaulichen Versuchen

Im Rahmen verschiedener Projekte wurden bereits pflanzenbauliche Versuche mit unterschiedlichem Anteil Schilf-Biomasse im Substrat durchgeführt. Je nach Versuchsaufbau zeigten Anteile von 10-50 % Schilf vielversprechende Ergebnisse. Häufig bestanden die Mischungen aus Torf und gehäckseltem, aufgefaserem oder kompostierten Schilf-Material in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen. In manchen Versuchen sollte der Stickstoff-Immobilisierung durch Düngung entgegengewirkt werden, und der Stickstoffhaushalt erwies sich auch in den meisten Versuchen als problematisch oder begrenzend.

In dem DBU Projekt „Entwicklung eines Prüfrasters für die Herstellung von Torfersatzstoffen mit hoher Kultursicherheit für den Erwerbsgartenbau“ wurden Untersuchungen mit Schilf durchgeführt. Das Material wurde getrocknet, gehäcksel und anschließend gesiebt (3-6 mm). Es wurden Keimpflanzentests mit Chinakohl durchgeführt, wobei Schilf-Weißtorf-Mischungen von 100/0 und 50/50 (Vol.-%/Vol.-%) getestet wurden. Die Variante mit 100 % Schilf-Material erwies sich aufgrund der geringen Wasserhaltekapazität als ungeeignet. Die Keimung war hier so stark behindert, dass keine Sämlinge sichtbar wurden. Weiterhin wurde starker Schimmelbefall festgestellt. Die Variante mit 50 Vol.-% Schilf erbrachte nur 25-30 % Trockenmasseertrag im Vergleich zur Kontrolle (Weißtorf). (H. Bohne & K. Leiber-Sauheidl, persönliche Mitteilung, 5. Februar 2021) (Leiber-Sauheidl et al., 2021a).

Das Natural Resources Institute Finland (fin.: Luonnonvarakeskus, Abk.: Luke) führte 2016 eine Versuchsreihe mit Gewächshaustomaten in Kultursubstraten mit Rohrglanzgras-Anteil durch. Diese Substratmischungen wurden mit Standardsubstraten aus Steinwolle sowie Torf + Kokos als Kontrollen verglichen. Für die Kultur wurden jeweils drei Tomatenpflanzen direkt in substratgefüllte Plastiksäcke (ca. 50 cm Länge x 20 cm Breite x 10 cm Höhe) gepflanzt. Eines der getesteten Substrate war das Produkt einer finnischen Firma, welches aus 50 Vol.-% Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea* L., getrocknet) und 50 Vol.-% Schilf (*Phragmites australis* Cav., Sommermahd) besteht. Im Vergleich mit den Kontrollsubstraten wurde dieses Substrat als wettbewerbsfähig bewertet. Der Tomatenertrag war ebenso hoch, wie bei den Kontrollsubstraten. Auch der Zustand von Wurzelbild und Pflanzenbestand wurden als gut bewertet. Zu Versuchsbeginn benötigte das Substrat mit Schilfanteil allerdings höhere Stickstoffgaben. Als

Grund hierfür wurde die Immobilisierung durch Mikroorganismen genannt. Nach einigen Wochen stabilisierte sich der Stickstoffverbrauch jedoch (Särkkä et al., 2016).

Hehmann et al. (2017) untersuchten verschiedene nachwachsende Rohstoffe auf ihre Eignung als Torfersatzstoff, darunter auch Schilf. Um den Einfluss auf die Pflanzenentwicklung zu beurteilen wurden Kulturversuche mit Fleißigen Lieschen (*Impatiens walleriana*) und Weihnachtssternen (*Euphorbia pulcherrima*) durchgeführt. Als Kontrollsubstrat diente eine Mischung aus Schwarz- und Weißtorf (70:30). In den Versuchsvarianten wurden Anteile von 20 % und 40 % Schilf-Material im Substrat getestet. Das Ausgangsmaterial wurde mit einem Doppelschneckenextruder aufbereitet, sowie jeweils eine Variante mit 3,75 g/l Horngrieß (*Impatiens*) bzw. 200 mg/l Ammoniumnitrat (*Euphorbia*) gedüngt (Variante +N) um eine mögliche Stickstoff-Immobilisierung auszugleichen. Bei *Impatiens* wurde ein reduziertes Wachstum und eine geringere Blütenanzahl im Vergleich zur Kontrolle festgestellt, zunehmend mit dem Schilfanteil im Substrat. Zum Teil wurde dies auf Nährstoffunterschiede zurückgeführt, denn bei den Varianten mit Horngrieß-Düngung war die Verminderung geringer, als bei denen ohne. Bei den Weihnachtssternen zeigte sich kein Einfluss des Schilfanteils auf die Pflanzenhöhe, und die Reduktion der Trockenmasse war nur gering (siehe Abbildung 21).

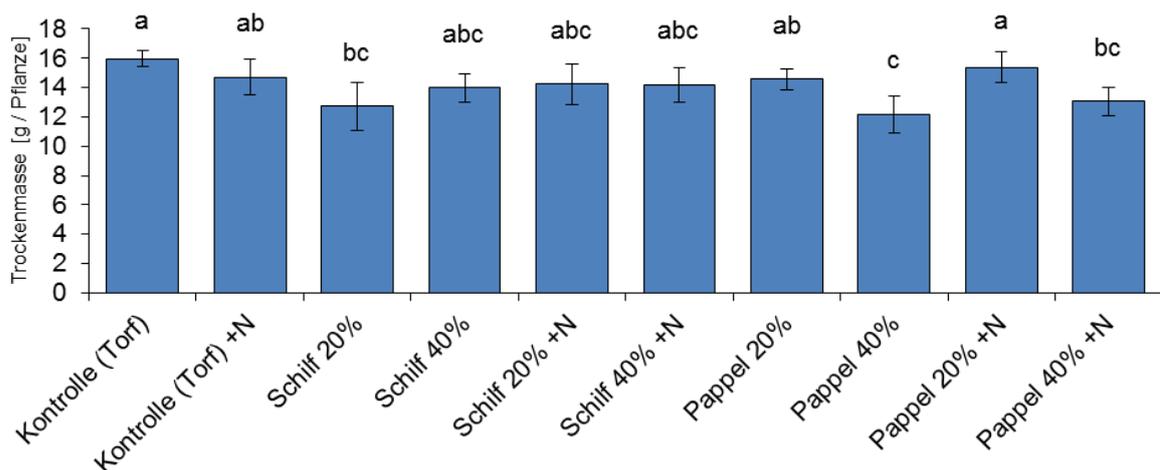


Abbildung 21: Trockenmassenerträge von *Euphorbia pulcherrima* ($8 \leq n \leq 10$).
(Quelle: Hehmann et al., 2017, S. 97.)

Im Rahmen seiner Dissertation führte Grießer (2016) umfangreiche Versuche mit extrudiertem Schilf-Material durch. Getestet wurden unterschiedliche Zugabe-Variationen: Ohne weitere Zugabe, mit Zugabe von Hornspänen (0,3 kg/80 l), sowie mit Zugabe von Holzkohle (1,6 kg/80 l) und Hornspänen (0,3 kg/80 l). Die Zusätze wurden vor der Extrusion hinzugefügt. Als Kontrolle und Grundlage für alle Substratmischungen diente ein Torf-Ton-Standardsubstrat. Hieraus wurden Varianten mit jeweils 20, 30 und 40 Vol.-% des unterschiedlich aufbereiteten Schilf-Materials hergestellt. Erprobt wurden die Mischungen in Kulturversuchen mit Purpurglöckchen (*Heuchera americana* 'Palace Purple Auslese') über 10 Wochen im Freiland und Chinakohl (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis* 'Kasumi F1') über 7 Wochen im Gewächshaus. In regelmäßigen Abständen während der Kultur wurde mit einem Mehrnährstoffdünger gedüngt. Die Ergebnisse zeigen bei beiden Kulturen, je höher der Anteil an Schilf im Substrat ist, desto geringer ist der Trocken- und Frischmasseertrag. Die Variante mit Hornspänen schnitt von den Test-Varianten am besten ab. Innerhalb dieser Variante erzielte die Beimischungsmenge mit 20 Vol.-%

Schilf höhere Erträge, als die Varianten mit 30 Vol.-% und 40 Vol.-%, aber dennoch geringere als die Kontrolle (siehe Abbildung 22 und Abbildung 23).

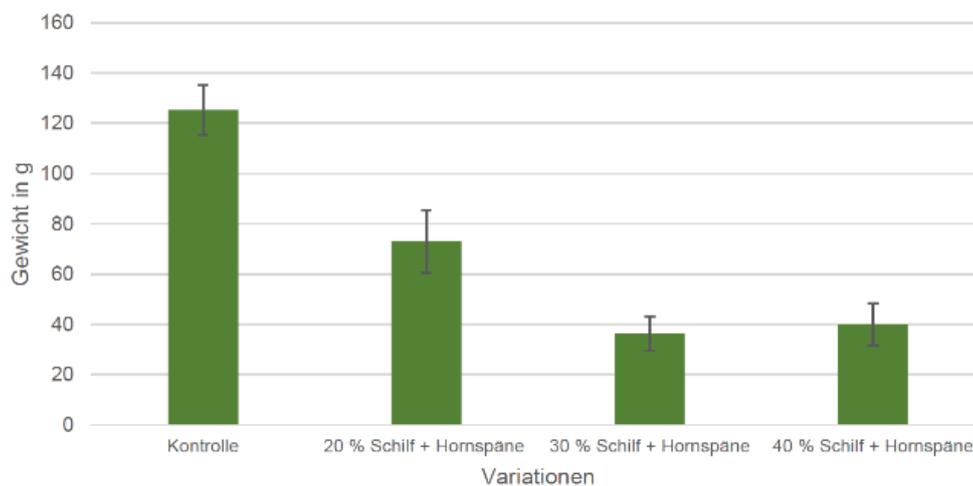


Abbildung 22: *Frischgewichtsertrag des Chinakohlversuchs mit Schilf „+ Hornspäne“.* (Quelle: Grießer, 2016, S. 80)

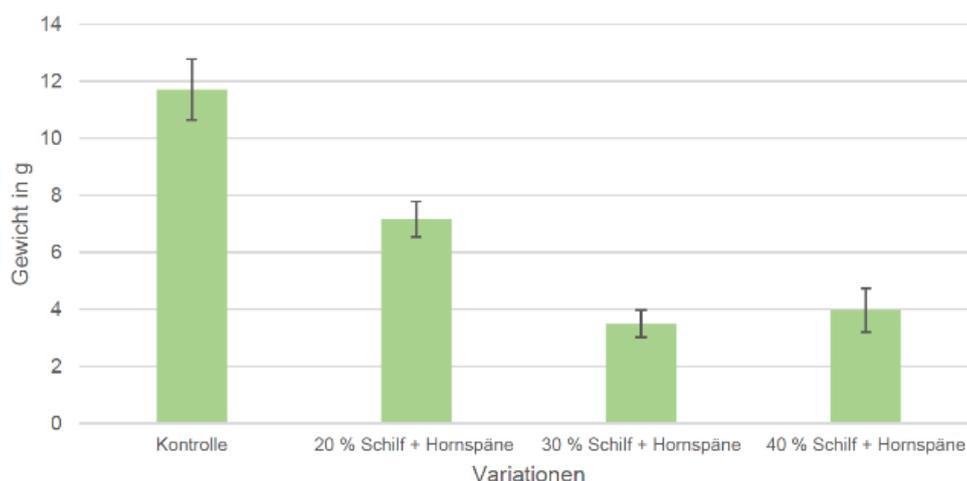


Abbildung 23: *Trockengewichtsertrag des Chinakohlversuchs mit Schilf „+ Hornspäne“.* (Quelle: Grießer, 2016, S. 81)

Die visuelle Beurteilung des oberirdischen Erscheinungsbildes der Versuchspflanzen und der Durchwurzelung zeigten ähnliche Ergebnisse. So erhielt die Kontroll-Variante die besten Bonitur-Noten, gefolgt von der Variante mit 20 % Schilf. Die Varianten mit 30 % und 40 % Schilf-Biomasse blieben mit der Benotung dahinter (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25). Ein Einfluss der Nährstoffgehalte auf die Ergebnisse wurde auch hier in Betracht gezogen, denn bei allen Varianten war zu Versuchsende vor allem der Stickstoffgehalt nahezu aufgebraucht. Bereits zu Versuchsbeginn waren insbesondere die Stickstoffgehalte niedrig (zw. 50-60 mg/l bei den Schilfvarianten, 144 mg/l bei der Kontrolle, die P- und K-Gehalte waren bei den Varianten und der Kontrolle ähnlich).

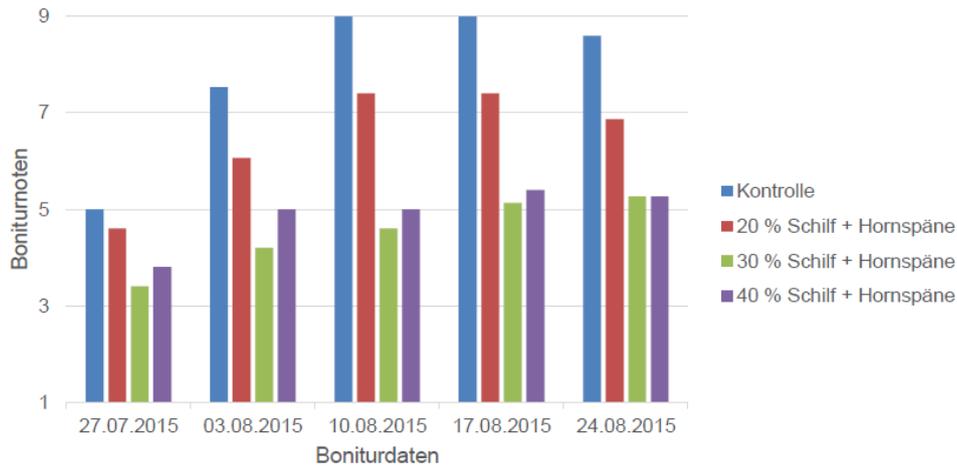


Abbildung 24: Oberirdisches Erscheinungsbild des Chinakohlversuchs mit Schilf „+ Hornspäne“. (Quelle: Grießer, 2016, S. 78.)



Abbildung 25: Unterirdisches Erscheinungsbild des Chinakohlversuchs mit Schilf „+ Hornspäne“. (Quelle: Grießer, 2016, S. 79.)

Im Rahmen des Projektes „MOORuse“ wurden Keimpflanzentests (nach VDLUFA Methode A 10.2.1) mit *Phragmites*-Material durchgeführt, um phytotoxische Inhaltsstoffe auszuschließen. Es wurde Material untersucht, welches 22 bzw. 130 Tage lang kompostiert wurde sowie das Ausgangsmaterial hierzu (siehe auch Kapitel: 3.1.3 Kompostieren/Fermentieren). Als Testpflanze diente Chinakohl, welcher in Substratmischungen aus jeweils 50 % Prüfmaterial und Weißtorf ausgesät wurde. Der Weißtorf wurde auch für die Kontroll-Variante verwendet. Um den Einfluss eines möglichen Stickstoffmangels auszuschließen wurde zusätzlich gedüngt. Wie in Abbildung 26 zu sehen, zeigte der Keimpflanzentest keine Reduktion der Frischmasse in den Substratmischungen mit Schilf-Biomasse, und es wurden keine phytotoxischen Stoffe nachgewiesen (Hartung, 2021) (Hartung & Meinken, 2021a).

Weiterhin haben Hartung & Meinken (2021b) Kulturversuchen mit *Begonia x hiemalis* (8 Wochen Dauer) und *Pelargonium zonale* (9 Wochen Dauer) durchgeführt, um die Eignung von kompostierter Schilf-Biomasse als Substratbestandteil weiter zu prüfen. Die Biomasse wurde

unter Zugabe von Stickstoff für 130 Tage unter aeroben Bedingungen kompostiert (siehe auch 3.1.3 Kompostieren/Fermentieren). Anschließend wurden Substratmischungen mit Weißtorf hergestellt, bedarfsgerecht aufgekalkt und gedüngt. Die Mischungen enthielten 20 % und 40 % *Phragmites*-Kompost, die Kontrolle bestand aus 100 % Weißtorf. Zu Versuchsende wurde zur Beurteilung das Trockengewicht der Triebe gemessen und mit der Kontrolle verglichen. Auch der Stickstoffgehalt im Pflanzenmaterial und im Substrat wurden erfasst und mit dem gesamten Angebot an Stickstoff verglichen. Während der Kulturversuch mit Begonien keine signifikanten Unterschiede zwischen Torf und Schilf-Mischungen zeigte, zeigten sich im Pelargonien-Versuch Abweichungen. In beiden Varianten mit Schilfanteil (Phr20, Phr40) wurde ein signifikant vermindertes Trockengewicht der Pflanzentriebe im Bezug zur Kontrolle (peat) gemessen (siehe Abbildung 27). Visuell konnten jedoch keine Unterschiede im Pflanzenwachstum und Blütenbildung festgestellt werden.

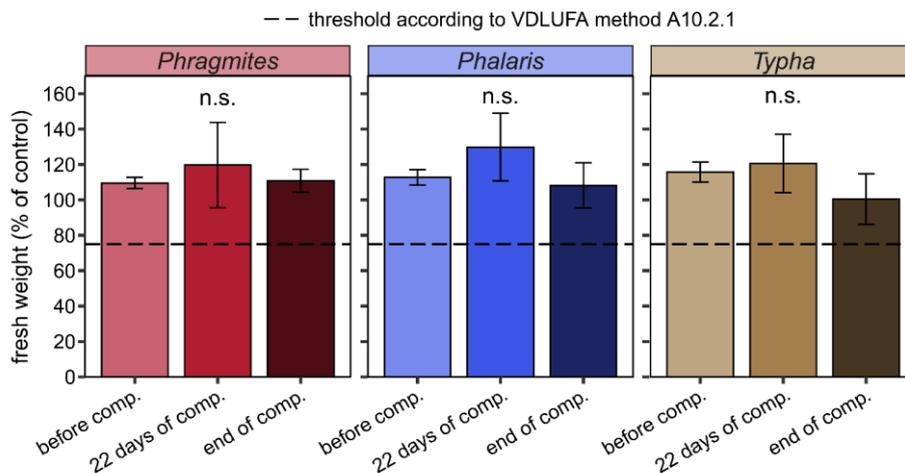


Abbildung 26: Prozentualer Anteil der Frischmasse im Bezug zur Kontrolle aus dem Chinakohl-Test von kompostierter und unbehandelter Paludikultur-Biomasse. (Quelle: Hartung, 2021, S. 12.)

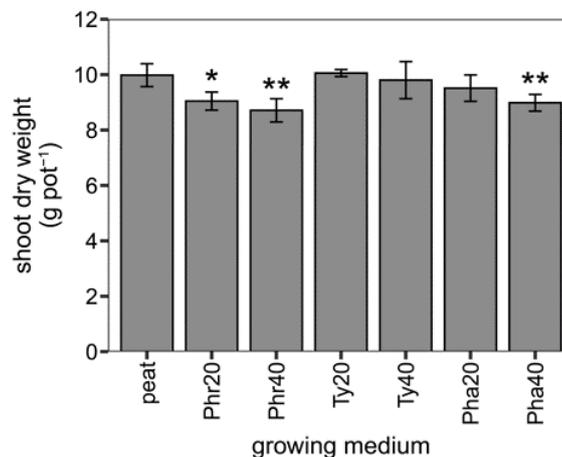


Abbildung 27: Sprossgewicht (trocken) von Pelargonien in unterschiedlichen Substratmischungen zu Versuchsende. Sterne kennzeichnen signifikante Unterschiede im Vergleich zur Kontrolle mit 100 % Weißtorf. Säulenbezeichnungen: peat - Weißtorf, Phr - Phragmites, Ty - Typha, Pha - Phalaris. (Quelle: In Anlehnung an Hartung & Meinken, 2021b, S. 20.)

4 Ausblick

Diese Literaturstudie gibt einen kurzen Überblick über die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von Rohrkolben und Schilf. Vertieft wurde die Recherche im Bereich des bisherigen Einsatzes der Pflanzen als Ausgangsstoffe für gartenbauliche Kultursubstrate. Hierbei wurden die zur Verwendung als Substrat relevanten physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften betrachtet, sowie Aufbereitungsmethoden und pflanzenbauliche Experimente. Nicht behandelt wurden ökologische oder ökonomische Aspekte wie z.B. Nachhaltigkeit, Verfügbarkeit oder Preis der Ausgangsstoffe, da der Schwerpunkt des Projektes im pflanzenbaulichen Bereich liegt. Daher erhebt diese Arbeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es wurden hauptsächlich Texte in deutscher und englischer Sprache gesammelt, auch war die Recherche durch Beschränkungen aufgrund der Corona-Pandemie überwiegend online möglich. Neben veröffentlichten Ergebnissen wurden auch persönliche Mitteilungen von Experten auf diesem Gebiet gesammelt.

Die meisten Versuche mit den Materialien (insbesondere mit Rohrkolben) werden aktuell, oder wurden in den letzten Jahren, im Rahmen von geförderten Projekten durchgeführt. Testungen durch Substratproduzenten gab und gibt es auch, jedoch werden die Ergebnisse hierzu seltener veröffentlicht. Aus diesen Gründen stehen bislang noch nicht viele Vergleichsdaten zur Verfügung. Da die meisten Versuchsansätze sich im verwendeten Rohstoff, dessen Aufbereitung, den Substratmischungen, der Düngung und Versuchspflanze unterscheiden, sind die Ergebnisse schwierig miteinander zu vergleichen oder zu generalisieren. Auch, welchen Einfluss der prozentuale Anteil der Rohstoffe in den Substratmischungen auf das Pflanzenwachstum hat, variiert zwischen den Kulturversuchen. Es zeichnet sich jedoch die Möglichkeit ab, die beiden Rohstoffe als Substratbestandteile verwenden zu können. Bei Rohrkolben mehr als bei Schilf, und recht eindeutig nur mit einem begrenzten Volumenanteil im Substrat.

Auch wenn es bereits vereinzelt Untersuchungen der Rohstoffe im Hinblick auf ihre Verwendung im Substratbereich gibt, sind diese bisher noch nicht ausreichend, um eine abschließende Beurteilung abzugeben. Insbesondere im Bereich der Rohstoffaufbereitung besteht noch Potential um Eigenschaften zu beeinflussen und anzupassen. Der größte Bedarf zeichnet sich hier im Bereich Stickstoffhaushalt der beiden Materialien ab. Auch wenn hierzu bereits Kompostierungsversuche vielversprechende Ergebnisse zeigen, könnten auch andere Methoden zum Ziel führen. So fehlen beispielsweise noch nähere Untersuchungen zur Auswirkung von physikalischen Bearbeitungsmethoden, wie zum Beispiel Auffaserung, auf die chemischen oder biologischen Eigenschaften. Auch Verfahren die von anderen Ersatzstoffen bekannt sind, wie die Imprägnierung bei Holzfasern, sind womöglich zielführend. Ebenso fehlen bislang Daten, in wie weit die verschiedenen Rohrkolben-Arten unterschiedlichen Substrateigenschaften mitbringen. Ist die Stabilität des Stickstoffhaushaltes bei *Typha latifolia* und *Typha angustifolia* gleich, oder unterschiedlich? Wie stark werden die relevanten Eigenschaften durch den Standort oder andere Faktoren beeinflusst? Im Hinblick auf die große Bedeutung eines homogenen und reproduzierbaren Substratausgangsstoffes gilt es, solche Fragen weiter zu untersuchen.

Für das eigene Projekt ergibt sich durch die vorausgehende Recherche, dass bereits bekannte Herausforderungen, die Rohrkolben und Schilf beim Einsatz als Substratausgangsstoffe mit sich bringen, bei den Untersuchungen berücksichtigt werden können. In den eigenen Versuchen werden weitere Daten gesammelt und ausgewertet, sowie mit den Ergebnissen aus anderen Versuchen verglichen, soweit dies möglich ist. Abschließend erfolgt eine hierauf beruhende Einschätzung zur Eignung der getesteten Materialien als klimafreundliche und nachwachsende Substratausgangsstoffe.

5 Literaturverzeichnis

- Aksoy, A., Duman, F., & Sezen, G. (2005). Heavy Metal Accumulation and Distribution in Narrow-Leaved Cattail (*Typha angustifolia*) and Common Reed (*Phragmites australis*). *Journal of Freshwater Ecology*, 20(4), 783–785. <https://doi.org/10.1080/02705060.2005.9664806>
- Alef, K. (1991). *Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie — Aktivitäten, Biomasse, Differenzierung*. ecomed Verlag, Landsberg/Lech.
- Aumann, F., & Aumann, B. (2020, 11. Dezember). Aufbereitung von Landschaftspflegematerial zu Terra Preta durch Fermentation [Präsentation]. Informationsveranstaltung Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus nassen Mooren 10.-11.12.2020, Digital.
- Barz, M., Kabengele, G., Brandt, A., Wichtmann, W., Wenzel, M., Wichmann, S., Oehmke, C., Dahms, T., & Borg, L. (2019). Energetic Utilization of Biomass from Rewetted Peatlands. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*, 2, 95–105.
- Beyer, C. (2021, 15. Juni). Stand und Entwicklung der Paludikulturen in Niedersachsen [Präsentation]. 5. Plenarsitzung des Niedersächsischem Torfersatzforum, Digital.
- Bohne, H. (2015, 23. Juni). Eignung von Pflanzenkohle als Torfersatzstoff in gärtnerischen Kultursubstraten - Pflanzenbauliche Aspekte [Präsentation]. terraBoGa-Abschlussworkshop, Berlin.
- Burkert, H. (2009, 30. Juli). Refiner-Holzstoff Papier + Technik - VAP Mitarbeitermagazin der Papierindustrie. <https://www.papierundtechnik.de/papiertechnik/refiner-holzstoff/> (zuletzt geprüft 26.01.2021).
- Bünker, W. (2020, 10. September). Torfersatzstoffe aus Rohrkolben und Schilf? [Präsentation]. Online-Veranstaltung Nachwachsende Rohstoffe aus vernässten Mooren - eine Chance für den niedersächsischen Moor- und Klimaschutz?, Digital.
- Deutsche UNESCO-Kommission (Hrsg.). (2019). Wissen. Können. Weitergeben. Bundesweites Verzeichnis Immaterielles Kulturerbe (3.). https://www.unesco.de/sites/default/files/2019-11/Bundesweites-Verzeichnis_IKE_3AufL_2019.pdf (zuletzt geprüft 09.06.2021).
- Eymann, L., Mathis, A., Stucki, M., & Amrein, S. (2015). Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich: Eigenschaften, Verfügbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit und soziale Auswirkungen. Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. <https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/9434> (zuletzt geprüft 23.04.2021).
- Geurts, J. J. M., & Fritz, C. (Hrsg.). (2018). Paludiculture pilots and experiments with focus on cattail and reed in the Netherlands—Technical report CINDERELLA project. Radboud University Nijmegen. <https://repository.ubn.ru.nl/handle/2066/192628> (zuletzt geprüft 06.04.2021).

- GGG (Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e.V.) (o.J.). Gütesicherung für Holzfasern. <https://substrate-ev.org/infos-zu-kriterien/substratausgangsstoffe/holzfasern/> (zuletzt geprüft 16.02.2021).
- Graebner, P., Medlewska, E., & Zinz, A. (1919). *Typha* als Nutzpflanze (Teil 1). *Angewandte Botanik, Zeitschrift für Erforschung der Nutzpflanzen (Journal of applied botany and food quality)*, 1, 30–48.
- Grießer, S. (2016). Torfersatzsubstrate für den Erwerbsgartenbau—Ein Beitrag für nachhaltige Landnutzung in Niedersachsen. Dissertation, Universität Vechta.
- Grosshans, R. (2014). Cattail (*Typha* spp.) Biomass Harvesting for Nutrient Capture and Sustainable Bioenergy for Integrated Watershed Management. Dissertation, University of Manitoba. https://mspace.lib.umanitoba.ca/bitstream/handle/1993/23564/Grosshans_Richard.pdf?sequence=5&isAllowed=y (zuletzt geprüft 25.06.2021).
- haenselblatt.com. (o. J.). Rohrkolben in der Küche - Tipps für die Verwendung von essbaren Teile eines Rohrkolbens. <https://www.haenselblatt.com/cattails-kitchen-tips> (zuletzt geprüft 24.06.2021).
- Hartung, C. (2020, 9. November). MOORuse—Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern—Etablierung, Klimarelevanz & Umwelteffekte, Verwertungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit [Präsentation]. Tagung „Stauhaltung im Niedermoorgrünland“, Digital. https://brandenburg.lpv.de/fileadmin/user_upload/MOORuse_-_Christina_Hartung.pdf (zuletzt geprüft 29.04.2021).
- Hartung, C. (2021, 24. August). Fen plant biomass as growing media constituent reduction of nitrogen immobilization by composting [Präsentation]. GrowingMedia2021, Melle und Digital.
- Hartung, C., & Eickenscheidt, T. (2018, 13. Juli). Verwertung von Niedermoor-Paludikultur-Pflanzen als Biogas-Substrat und Torfersatzstoff [Präsentation]. Informationsveranstaltung Moornutzungsalternativen im Schwäbischen Donaumoos, Leipheim. https://www.greifswaldmoor.de/files/images/MoorDialog/180713_Eickenscheidt_%20Biogas%20und%20Torfersatzstoff%20aus%20Paludikulturen.pdf (zuletzt geprüft 29.04.2021).
- Hartung, C., & Meinken, E. (2021a). Fen plant biomass as growing media constituent – reduction of nitrogen immobilization by composting. *Acta Hort.*, 1317, 93–98. <https://doi.org/DOI:10.17660/ActaHortic.2021.1317.11>
- Hartung, C., & Meinken, E. (2021b). Fen plant biomass as growing media constituent—Cultivation of *Pelargonium zonale* and *Begonia* × *hiemalis* in peat reduced mixtures with composted fen plant biomass. *Acta Hort.*, 1317, 17–22. <https://doi.org/DOI:10.17660/ActaHortic.2021.1317.3>

- Hartung, C., & Meinken, E. (2021c, 11. März). Suitability of fen plants as growing media constituent in terms of chloride content [Poster Präsentation]. Virtual Conference Renewable Resources from Wet and Rewetted Peatlands - RRR 2021, Digital. https://www.moorwissen.de/doc/aktuelles/veranstaltungen/rrr2021/downloads/beitraege/RRR2021_3.1.A_Hartung_Poster.pdf (zuletzt geprüft 29.04.2021).
- Hemann, D., Völkering, G., Kraska, T., & Pude, R. (2017). Entwicklung von Torfersatzstoffen auf der Basis von Nachwachsenden Rohstoffen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 29, 96–97.
- Heinz, S. (2012). *Population Biology of *Typha latifolia* L. and *Typha angustifolia* L.: Establishment, Growth and Reproduction in a Constructed Wetland*. Shaker Verlag. <https://www.shaker.de/de/content/catalogue/index.asp?ID=8&ISBN=978-3-8440-0715-2> (zuletzt geprüft 29.04.2021).
- Ibrahim, B., Schlegel, M., & Kanswohl, N. (2014). Investigation of applicability of wetland biomass for producing biochar by hydrothermal carbonization (HTC). *Landbauforschung - Applied Agricultural and Forestry Research*, 64(2), 119–124. https://doi.org/10.3220/LBF_2014_119-124
- Industrieverband Garten (IVG) (Hrsg.) (o. J.). *Rindenumus*. Industrieverband Garten. <https://substratbuch.ivg.org/substratbuch/ausgangsstoffe/organische-ausgangsstoffe/rindenumus> (zuletzt geprüft 28.06.2021).
- Kammann, C., Grünhage, L., Busch, D., Müller, C., Dörger, G., Hanewald, K., & Schmid, T. (2010). Biokohle: Ein Weg zur dauerhaften Kohlenstoff-Sequestrierung? Institut für Pflanzenökologie, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Kempkens, W. (2015, 22. Juli). Anoden aus Schilf machen Akkus leistungsfähiger. *Ingenieur.de - Jobbörse und Nachrichtenportal für Ingenieure*. <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/anoden-schilf-akkus-leistungsfahiger/> (zuletzt geprüft 29.04.2021).
- Klink, A., Macioł, A., Wisłocka, M., & Krawczyk, J. (2013). Metal accumulation and distribution in the organs of *Typha latifolia* L. (cattail) and their potential use in bioindication. *Limnologica*, 43(3), 164–168. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2012.08.012>
- Köbbing, J., Thevs, N., & Zerbe, S. (2013). The utilisation of Reed (*Phragmites australis*) – a review. *Mires and Peat*, 13, 1–14.
- Kotowski, W., & Jabłońska, E. (Hrsg.). (2020). *Gewässerbegleitende Feuchtgebiete: Wichtig für die Umwelt*. <https://www.moorwissen.de/en/paludikultur/projekte/clearance/output.php> (zuletzt geprüft 04.05.2021).
- Leiber-Sauheitl, K., Bohne, H., & Böttcher, J. (2021a). First Steps toward a Test Procedure to Identify Peat Substitutes for Growing Media by Means of Chemical, Physical, and Biological Material Characteristics. *Horticulturae*, 7(7), 164. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070164>

- Leiber-Sauheitl, K., Bohne, H., & Böttcher, J. (2021b). Peat substitutes from renewable resources and landscape conservation materials. *Acta Hort.*, 1305, 545–552.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1305.72>
- LM M-V (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern) (2017). Umsetzung von Paludikultur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Mecklenburg-Vorpommern. Fachstrategie zur Umsetzung der nutzungsbezogenen Vorschläge des Moorschutzkonzeptes. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern.
- Mal, T. K., & Narine, L. (2004). The biology of Canadian weeds. 129. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. *Canadian Journal of Plant Science*, 84, 365–396.
- Manios, T., Stentiford, E. I., & Millner, P. (2003). Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. *Chemosphere*, 53(5), 487–494. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00537-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00537-X)
- Mayrhofer, R. (o. J.). Breitblättriger Rohrkolben — Bestimmen, sammeln und verwenden! - Bilder & Beschreibung der Pflanze sowie ihrer essbaren Teile und deren Nutzen für Ernährung und Gesundheit. *Pflanzen-vielfalt.net*. <https://www.pflanzen-vielfalt.net/wildpflanzen-a-z/%C3%BCbersicht-r-z/rohrkolen-breitbl%C3%A4ttriger/> (zuletzt geprüft 24.06.2021).
- Meinken, E. (2015, 23. Juni). Biokohle als Torfersatzstoff in gärtnerischen Kultursubstraten? - Analytische Aspekte [Präsentation]. terraBoGa-Abschlussworkshop, Berlin.
- Michigan State University Extension. (2015, 29. Januar). Applying pollen over a crop as an alternative food source for predatory mites. *Hortidaily.Com*.
<https://www.hortidaily.com/article/6014527/applying-pollen-over-a-crop-as-an-alternative-food-source-for-predatory-mites/> (zuletzt geprüft 12.04.2021).
- Mycelio, (Alias). (2007, 16. Oktober). Austerseitling - *Pleurotus ostreatus* [Online-Forum-Post]. *Kulturpilz.de*. <https://kulturpilz.de/viewtopic.php?t=813>
- Nacaroglu, M., Demirkiran, A., & Tursun, N. (2009). Determination of Some Chemical Properties of Common Cattail (*Typha latifolia* L.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8, 2719–2726.
- Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, & Sabelis, M. W. (2002). Phytoseiid predators suppress populations of *Bemisia tabaci* on cucumber plants with alternative food. *Experimental and Applied Acarology*, 27(57), 57–68. <https://doi.org/10.1023/a:1021559421344>.
- Nordt, A., Abel, S., Eberts, J., Hoffmann, T., Kost, A., Lampe, M., Peters, J., & Wichtmann, W. (2020). Machbarkeitsstudie Aufwuchsverwertung und Artenvielfalt in der Leader-Region „Kulturlandschaften Osterholz“. <https://www.landvolk-ohz.de/aktuelles/leader-f%C3%B6rderung/> (zuletzt geprüft 12.04.2021).
- Nowotny, R. (2016). Rohrkolben-Einblasdämmung. In W. Wichtmann, C. Schröder, & H. Joosten (Hrsg.), *Paludikultur—Bewirtschaftung nasser Moore* (S. 36). Schweizerbart, Stuttgart.

- Oehmke, C. (2020, 11. Dezember). Rohrkolben-Biomasse als alternativer Substratausgangsstoff [Präsentation]. Informationsveranstaltung Verwertungsmöglichkeiten von Biomasse aus nassen Mooren: Klimaschutz, Naturschutz und regionale Wertschöpfung, Digital.
- Oehmke, C., & Abel, S. (2016). Ausgewählte Paludikulturen. In W. Wichtmann, C. Schröder, & H. Joosten (Hrsg.), *Paludikultur—Bewirtschaftung nasser Moore* (S. 22–38). Schweizerbart, Stuttgart.
- Oehmke, C., & Wichtmann, W. (2016). Kritische Inhaltsstoffe von Festbrennstoffen aus Paludikultur. In W. Wichtmann, C. Schröder, & H. Joosten (Hrsg.), *Paludikultur—Bewirtschaftung nasser Moore* (S. 50–51). Schweizerbart, Stuttgart.
- Pijlman, J., Geurts, J., Vroom, R., Bestman, M. W. P., Fritz, C., & van Eekeren, N. J. M. (2019). The effects of harvest date and frequency on the yield, nutritional value and mineral content of the paludiculture crop cattail (*Typha latifolia* L.) in the first year after planting. *Mires and Peat*, 25, 1–19. <https://doi.org/DOI: 10.19189/MaP.2017.OMB.325>
- Rehm, M., Schwark, J., Schwark, A., & Emmel, M. (2014). Torfsubstitution durch den Einsatz von carbonisierter Biomasse vorrangig aus Landschaftspflegematerial als Substratzuschlagstoff (Abschlussbericht AZ 29695). Hochschule Ruhr West, Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- Särkkä, L., Tuomola, P., & Jokinen, K. (2016). Ruokohelpi- ja järviruoko-pohjaisten materiaalien soveltuvuus tomaatin kasvualustaksi (Reed canary grass and common reed based materials as growing media for tomato). Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/537424> (zuletzt geprüft 28.04.2021).
- Schmilewski, G.K. (2017). Kultursubstrate und Blumenerden – Eigenschaften, Ausgangsstoffe, Verwendung. Industrieverband Garten e.V. (Hrsg.). <https://substratbuch.ivg.org/> (zuletzt geprüft 30.03.2021).
- Schröder, C., Oehmke, C., Schulze, P., Luthardt, V., & Zeitz, J. (2019). Rohrkolbenröhricht (*Typha spec.*) spontan oder im Anbau—Steckbrief. https://rs.cms.hu-berlin.de/boku/plugins/api_resource/?ref=681&k=a07fe927f0 (zuletzt geprüft 29.04.2021).
- Schröder, P., Neustifter, J., Peis, S., & Huber, C. (2003, 10. November). Perspectives for the use of cattail (*Typha ssp*) in phytoremediation. The BCPC International Congress - Crop Science and Technology, 2, 405–410.
- Stucki, M., Wettstein, S., Mathis, A., & Amrein, S. (2019). Erweiterung der Studie «Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich»: Eigenschaften, Verfügbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit und soziale Auswirkungen. Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. <https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/19045> (zuletzt geprüft 23.04.2021).
- Thelen-Jüngling, M. (2010). Kompostierung und Phytohygiene. H&K aktuell, 06, 1–3. https://www.kompost.de/fileadmin/news_import/Kompostierungund_Phytohygiene_06_10.pdf (zuletzt geprüft 23.04.2021).

- Theuerkorn, W., Fritsch, A., Mach, M., Krus, M., Großkinsky, T., Fitz, C., Theuerkorn, D., Knodt, H., & Walter, U. (2014). Neuer Baustoff für umweltfreundliche und bautechnische Sanierung in der Denkmalpflege (DBU-Bericht AZ 27918). <https://wufi.de/literatur/Theuerkorn,%20Fritsch%20et%20al%20-%20Neuer%20Baustoff%20f%C3%BCr%20umweltfreundliche.pdf> (zuletzt geprüft 08.03.2021).
- Vandecasteele, B., Muylle, H., De Windt, I., Van Acker, J., Ameloot, N., Moreaux, K., Coucke, P., & Debode, J. (2018). Plant fibers for renewable growing media: Potential of defibration, acidification or inoculation with biocontrol fungi to reduce the N drawdown and plant pathogens. *Journal of Cleaner Production*, 203, 1143–1154. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.167>
- Verhees, L. (2018, 29. November). *Typha* as renewable ingredient in plant potting substrates as alternative for peat [Präsentation]. Radboud University Nijmegen
- Vetayasuporn, S. (2007). Using Cattails (*Typha latifolia*) as a Substrate for *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kummer Cultivation. *Journal of Biological Sciences*, 7, 218–221. <https://doi.org/10.3923/jbs.2007.218.221>
- Wichmann, S. & Wichtmann, W. (Hrsg.) (2009). Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM)“ Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Universität Greifswald
- Wichtmann, W., Schröder, C., & Joosten, H. (2016). Paludikultur—Bewirtschaftung nasser Moore. Schweizerbart, Stuttgart.
- Wiedow, D., & Burgstaler, J. (2016). Stoffliche Nutzung von Biomasse aus Paludikultur. In W. Wichtmann, C. Schröder, & H. Joosten (Hrsg.), Paludikultur—Bewirtschaftung nasser Moore (S. 43–44). Schweizerbart, Stuttgart.
- Wilson, P. C., Whitwell, T., & Klaine, S. J. (2000). Metalaxyl and simazine toxicity to and uptake by *Typha latifolia*. *Arch Environ Contam Toxicol*, 39(3), 282–288.
- Wöhler-Geske, A., Moschner, C. R., Gellerich, A., Miltz, H., Greef, J.-M., & Hartung, E. (2016). Provenances and properties of thatching reed (*Phragmites australis*). *Landbauforschung - Applied Agricultural and Forestry Research*, 66(1), 1–10. <https://doi.org/10.3220/LBF1457686750000>
- Zheng, T., Sutton, N. B., de Jager, P., Grosshans, R., Munira, S., & Farenhorst, A. (2017). Glyphosate (Ab)sorption by Shoots and Rhizomes of Native versus Hybrid Cattail (*Typha*). *Bull Environ Contam Toxicol*, 99, 595–600. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2167-6>

6 Quellenverzeichnis der persönlichen Mitteilungen

Aumann, B. - Texas Bio Energie GmbH & Co KG. Telefonat am 7. Juni 2021.

Bohne, H. und Leiber-Sauheitl, K. - Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. Web-Meeting am 5. Februar 2021.

Grießer, S. und Temming, W. - Floragard Vertriebs-GmbH. Web-Meeting am 10. Mai 2021.

Hartung, C. - Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Wissenschaftliche Mitarbeiterin Projekt "MoorUse". Web-Meeting am 9. Februar 2021.

Hartung, C. - Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Wissenschaftliche Mitarbeiterin Projekt "MoorUse". E-Mail vom 11. Juni 2021.

Hindenberg, S. - Klasmann-Deilmann GmbH, Production & Sustainability. E-Mail vom 20. April 2021.

Lahtinen, L. - Kiteen Mato ja Multa Oy, Project Manager. E-Mail vom 5. Mai 2021.

Rammes, D. und Beyer, C. - 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen. Web-Meeting am 4. März 2021.

van Weeren, A. - Wetland Products, Managing Director. E-Mail vom 7. Mai 2021.

van Weeren, A. - Wetland Products, Managing Director. E-Mail vom 12. Mai 2021.