

Katharina Leiber-Sauheitl*, Nico Bozinis, Georg Guggenberger

Fasernesselschäben und fermentierte Gärprodukte als potenzielle Substratausgangsstoffe im Erwerbsgartenbau – Neue Erkenntnisse aus Substrat- und Pflanzentests

Leibniz Universität Hannover, Institut für Erdsystemwissenschaften,
Abteilung Bodenkunde, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover, Germany;
leiber.sauheitl@ifbk.uni-hannover.de; nico.bozinis@gmail.com;
guggenberger@ifbk.uni-hannover.de

* Korrespondenz: leiber.sauheitl@ifbk.uni-hannover.de



DGG-Proceedings 2024, Vol. 12

Short Communications – Peer Reviewed, Open Access

Deutsche Gartenbauwissenschaftliche Gesellschaft e. V. (DGG)

German Society for Horticultural Science

www.dgg-online.org

Annual Conference DGG and BHGL

28.02.-02.03.2024, Braunschweig, Germany

Fasernesselschäben und fermentierte Gärprodukte als potenzielle Substratausgangsstoffe im Erwerbgartenbau – Neue Erkenntnisse aus Substrat- und Pflanzentests

Katharina Leiber-Sauheiti, Nico Bozinis, Georg Guggenberger

Leibniz Universität Hannover, Institut für Erdsystemwissenschaften,
Abteilung Bodenkunde, Germany

Abstract

Im Rahmen des nationalen Verbundprojektes „Entwicklung und Bewertung von Torfreduzierten Produktionssystemen im Gartenbau“ (ToPGa) wurden die Rohstoffe Fasernesselschäben (FN) und ein fermentiertes Gärprodukt (GR) auf die Eignung als Substratausgangsstoff getestet. Beide Rohstoffe wurden systematisch in einem Prüfraster für Torfersatzstoffe untersucht. Basierend auf den Untersuchungsergebnissen des Vorjahres 2022, wurde der Anteil der neuen Rohstoffe in der Mischung bei Fasernessel auf maximal 25 % und beim Gärprodukt auf maximal 50 % begrenzt. In einem Inkubationsexperiment zur Untersuchung der Stabilität des Stickstoffhaushaltes haben alle Varianten mit Fasernessel Stickstoff (N) immobilisiert. In den nachfolgenden pflanzenbaulichen Experimenten wurde daher die N-Grunddüngung in den Varianten mit Fasernessel entsprechend erhöht. In der LVG Hannover-Ahlem erfolgte ein Pflanzenversuch mit Petunie. In Substratmischungen mit hohem Gärproduktanteil von 50 % entwickelten die Pflanzen bei zusätzlich 12,5 % bzw. 25 % Fasernessel bis zu 50 % weniger Blattmasse gegenüber der fasernesselfreien Substratmischung und die Pflanzen waren kleiner als die der Kontrolle aus 100 % Torf.

1. Einleitung

Torf ist ein fossiler Rohstoff, der seit Jahrzehnten als etablierter Substratausgangsstoff genutzt wird, da seine physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften für den Gartenbau optimal sind (Hirschler et al. 2022). Die fortschreitende Klimaerwärmung sowie Naturschutzbelange erfordern von der Wirtschaft und dem Gesetzgeber jedoch eine Abkehr vom Torf, da der Torfabbau zum einen Treibhausgas freisetzt (Höper 2007) und zum anderen Moore als Kohlenstoffspeicher erhalten bleiben sollen (Ofiti et al. 2023). Aufgrund des langsamen Entstehungsprozesses kann Torf nicht als erneuerbare Ressource charakterisiert werden. Es wird daher nach Alternativen gesucht, die schneller nachwachsen und zudem ähnliche Eigenschaften wie Torf aufweisen. Aktuell verfügbare Torfersatzstoffe sind entweder in den zur Verfügung stehenden Mengen limitiert bzw. weisen Defizite in den gartenbaulichen Eigenschaften im Vergleich zu Torf auf (Hirschler et al. 2022), weshalb eine umfangreiche Untersuchung verschiedenster Rohstoffe notwendig ist, um durch Mischungen physikalische, chemische und biologische Eigenschaften der einzelnen Komponenten optimierend zu verknüpfen. Die hier im Rahmen von ToPGa untersuchten Rohstoffe Fasernessel und fermentiertes Gärprodukt durchlaufen ein Prüfraster zur systematischen Bewertung neuer potenzieller Torfersatzstoffe, in dem verschiedene Prüfkriterien mit ansteigender Komplexität der Analysen aufeinanderfolgen (Leiber-Sauheiti et al. 2021).

2. Daten, Methoden und Vorgehensweise

Rohstoffe und Mischungen

Die Fasernessel, eine Subvarietät der Brennessel, wurde im Winter geerntet und getrocknet. Im Anschluss wurde das Material gehäckselt und die Fraktionen Fasern und Schäben durch Sieben voneinander getrennt. In Hinblick auf ein Zweinutzungsziel der Fasernessel wurden für die weiteren Untersuchungen die Schäben (Partikelgröße 0 mm bis 10 mm) verwendet. Das Gärsubstrat des fermentierten Gärproduktes bestand zu 55 % aus Maissilage, zu 25 % aus Gülle und zu 20 % aus Mist (jeweils eine Mischung aus Rind und Schwein). Nach der Separierung des Gärproduktes wurde die feste Fraktion für mehrere Monate unter Zugabe von 25 % Sägemehl unter einer Plane fermentiert. Als Kontrolle und Mischkomponente wurde Fräsweißtorf aus dem Baltikum mit einer Partikelgröße von 5 mm bis 10 mm verwendet.

Die zu untersuchenden Stoffe Fasernessel und Gärprodukt durchlaufen ein Prüfraster, in dem verschiedenen Prüfkriterien mit ansteigender Komplexität der Analysen aufeinander folgen (Leiber-Sauheitl et al. 2021). Einfache Rohstoffanalysen sind gefolgt von komplexeren Substratanalysen und am Ende von Pflanzenexperimenten unter Praxisbedingungen. Basierend auf den Ergebnissen aus dem ersten Untersuchungsjahr 2022 wurden die Anteile der potenziellen Torfersatzstoffe in den Mischungen im zweiten Jahr angepasst und verringert, um auszutesten bis zu welchem Anteil Fasernessel-Schäben eingesetzt werden können. Der Gärproduktanteil wurde auf 50 % und der Fasernesselanteil auf 25 % begrenzt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht der Varianten. Angabe der Anteile in Vol.-%.

Variante	Anteil	Rohstoff I	Rohstoff II	Rohstoff III
	Torfersatz (%)	Gärrest (%)	Fasernessel (%)	Torf (%)
Torf 100	0	0	0	100
GR25 FN0	25	25	0	75
GR25 FN12,5	37,5	25	12,5	62,5
GR25 FN25	50	25	25	50
GR50 FN0	50	50	0	50
GR50 FN12,5	62,5	50	12,5	37,5
GR50 FN25	75	50	25	25
GR0 FN12,5	12,5	0	12,5	87,5
GR0 FN25	25	0	25	75

Methoden

Die Rohdichte der Rohstoffe und Mischungs-Varianten wurden nach VDLUFA (1997a) bestimmt. Der pH-Wert wurde in CaCl_2 (VDLUFA 2016) und der Salzgehalt in destilliertem Wasser (VDLUFA 1991a) gemessen. Der Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen (N_{\min} (NH_4^+ , NO_3^-), P_2O_5 , K_2O) wurde mit CaCl_2 -DTPA-Lösung (CAT) extrahiert (VDLUFA 1997b). Die maximale Wasserhaltekapazität (WK_{\max}) wurde nach VDLUFA (2002) bestimmt. Die Stabilität des Stickstoff(N)-Haushaltes wurde nach VDLUFA (2007) untersucht. Die Differenz zwischen N_{\min} (CAT)-Gehalt nach 20 Tagen und dem N_{\min} -Gehalt zu Beginn liefert Informationen über das Ausmaß der N-Mobilisierung oder N-Immobilisierung eines Rohstoffes. Im Anschluss an die Laboruntersuchungen wurden die Substratmischungen der neun Varianten mit Gärprodukt, Fasernessel und Torf sowie drei praxisübliche Vergleichssubstrate verschiedener Kultursubstrathersteller im Pflanzenexperiment mit Petunien in der Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) Hannover-Ahlem getestet. Bewurzelte Stecklinge der Petuniensorte Patia® Burgundy (Volmary) wurden Ende April 2023 in auf

kulturübliche Werte aufgekalkte und aufgedüngte Substratmischungen getopft und für sechs Wochen bis zur Verkaufsfähigkeit kultiviert. Die N-Grunddüngung wurde in den Varianten mit Fasernessel entsprechend der in den N-Stabilitätstests ermittelten Mengen an immobilisiertem N erhöht. Nach der Einwurzelungsphase wurden alle Varianten mit einer 0,8 g/l 18-11-18 Düngergelösung fertigiert. Am Versuchsende wurden die Frischmasse der oberirdischen Pflanzenteile sowie die Gehalte an NPK im Blatt und im Substrat bestimmt.

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit R durchgeführt. Bei normalverteilten (Shapiro-Wilk-Test) und varianzhomogenen (Levene-Test) Daten oder S-förmigem Q-Q-Plot folgte eine ANOVA. Bei nicht normalverteilten und/oder nicht varianzhomogenen Daten folgte ein Kruskal-Wallis-Test. Als Post-hoc-Test wurde ein paarweiser t-Test mit einer Korrektur für multiple Vergleiche verwendet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Grundcharakterisierung der Rohstoffe und Mischungen

Die Kontrolle Torf wies wie zu erwarten (Schmielewski 2008) niedrige pH-Werte, Salz- und Nährstoffgehalte sowie eine hohe Wasserkapazität auf (Tabelle 2). Im Gegensatz dazu zeigte das fermentierte Gärprodukt hohe pH-Werte, Salz- sowie P₂O₅- und K₂O-Gehalte ähnlich kompostierter Gärrückstände (Schmitz und Meinken 2009). Der hohe Salzgehalt des Gärproduktes ist auf den Wirtschaftsdünger (Mist, Gülle) im Gärsubstrat zurückzuführen. Dies trägt zu einem hohen Gehalt an Ballastionen bei. Die N_{min}-Gehalte lagen im Bereich eines Substratkomposts Typ 1, wobei die Salzgehalte überschritten wurden und im Bereich für einen Substratkompost Typ 2 lagen (BGK 2018). Die Fasernessel wies ebenso hohe pH-Werte und eine sehr geringe Wasserkapazität auf ähnlich zu Flachsschäben (Stucki et al. 2019).

Tabelle 2: Basisparameter der aufbereiteten Rohstoffe (Gärprodukt, Fasernessel) und der Kontrolle (Torf). n = 3, N_{min}, P₂O₅ und K₂O wurden im CAT-Extrakt bestimmt. WK_{max} = maximale Wasserkapazität.

	pH (CaCl ₂)	Salzgehalt (g l ⁻¹ Substrat)	N _{min} (mg l ⁻¹ Substrat)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Rohdichte trocken (g l ⁻¹ Substrat)	WK _{max} (Vol. %)
Torf fein	3,0	0,07	13	7	19	91	79
Gärprodukt	7,1	4,65	45	505	2320	191	65
Fasernessel	7,3	0,31	0	112	44	101	22

Die drei Rohstoffe Torf, Gärprodukt und Fasernessel wurden zur Erstellung der Mischungsvarianten verwendet (Tabelle 1). Folglich wirkten sich die Anteile der Rohstoffe in den Mischungen auf die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Mischungsvarianten aus. Je mehr Gärprodukt und Fasernessel eine Variante enthielt, desto höher war der pH-Wert und je höher der Anteil an Gärprodukt, desto höher waren die Salz- sowie P₂O₅- und K₂O-Gehalte der Mischung (Tabelle 3). Die maximale Wasserkapazität der Varianten wurde durch den Anteil an Fasernessel bestimmt: je höher deren Anteil, desto niedriger war die Wasserkapazität der Mischung unabhängig vom Gärproduktanteil.

Tabelle 3: Basisparameter der ungekalkten und ungedüngten Mischungsvarianten. $n = 3$, GR = Gärprodukt, FN = Fasernesselschäben, Zahlen hinter Buchstaben entsprechen dem prozentualen Anteil eines Rohstoffes in der Mischung. Als dritte Komponente wurde Torf verwendet. N_{\min} , P_2O_5 und K_2O wurden im CAT-Extrakt bestimmt. WK_{\max} = maximale Wasserkapazität.

	pH (CaCl ₂)	Salzgehalt (g l ⁻¹ Substrat)	N _{min} (mg l ⁻¹ Substrat)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Rohdichte trocken (g l ⁻¹ Substrat)	WK _{max} (Vol. %)
Torf 100	3,1	0,07	12	7	19	91	79
GR25 FN0	4,4	1,19	17	344	516	116	80
GR25 FN12,5	4,4	1,20	19	348	499	109	75
GR25 FN25	4,6	1,10	13	324	505	117	58
GR50 FN0	5,8	2,69	19	608	1150	144	75
GR50 FN12,5	6,0	2,66	19	531	1226	140	71
GR50 FN25	6,4	2,61	5	503	1233	150	57
GR0 FN12,5	3,3	0,08	9	13	16	88	77
GR0 FN25	3,5	0,08	6	40	28	92	57

Komplexere Substratuntersuchungen: Untersuchung des N-Haushaltes

Um eine verminderte Pflanzenentwicklung aufgrund von N-Mangel auszuschließen, wurden für die Mischungs-Varianten der Mineralstickstoffhaushalt nach VDLUFA (2007) untersucht. Dabei zeigten die reine Torf-Variante sowie diejenigen mit 25 % und 50 % Gärprodukt, aber ohne Fasernessel, einen stabilen N-Haushalt mit leicht N-mobilisierender Tendenz (Abbildung 1). Mit zunehmendem Anteil an Fasernessel stieg die Instabilität des Stickstoffhaushaltes. Bei einem Fasernessel-Anteil von 12,5 % gab es keinen Unterschied zwischen den Varianten mit 25 % oder 50 % Gärprodukt. Bei einem im Vergleich zu Gärprodukten unbelebten Rohstoff wie Fasernessel könnte die Inkubationszeit von 20 Tagen nicht ausreichend sein, um eine endgültige Aussage zur N-Immobilisierung in den Torf-Fasernessel-Mischungen GR0 FN12,5 und GR0 FN25 treffen zu können. Bei der Variante GR25 FN12,5 wurde im Vergleich zum Vorjahr ca. 60 % weniger Stickstoff immobilisiert (-70 mg N l⁻¹ im Vergleich zu -210 mg N l⁻¹ im Vorjahr), d. h. bei der Einstufung kam es zu einer Änderung von nicht stabil auf leicht instabil. Bei der Variante GR25 FN25 sank die Stickstoffimmobilisierung um ca. 30 % (von -369 mg N l⁻¹ auf -256 mg N l⁻¹). Ursache könnte der unterschiedliche Erntezeitpunkt der Fasernessel sein, der im Vorjahr im Herbst lag und bei der aktuellen Fasernesselcharge im Winter. Durch die lange Rüste auf dem Feld konnten bereits leicht abbaubare Verbindungen umgesetzt werden, was zur Stabilisierung des N-Haushaltes in den untersuchten Varianten beitrug (Amha Amde 2011, Leiber-Sauheitl et al. 2021).

Pflanzenexperiment mit Petunie

Nach 6 Wochen Kulturzeit waren die Petunien in allen Substratmischungsvarianten vermarktungsfähig. In den Varianten mit Fasernessel trat ein höherer Beikräuteranteil (vor allem aufgelaufene Fasernesseln) auf als in den übrigen Varianten. Mit zunehmendem Anteil an Fasernessel waren die Pflanzen kompakter, v. a. GR50 FN25. Am Kulturrende zeigten eine der Kontrollen (ein praxisübliches Kultursubstrat) sowie zwei Torfersatzvarianten ohne Fasernessel (GR25 FN0 und GR50 FN0) die größte Biomasseentwicklung aller Varianten. Bei einem hohen Anteil an Gärprodukt und einem hohen Anteil an Fasernessel war die Frischmasse am geringsten (Abbildung 2).

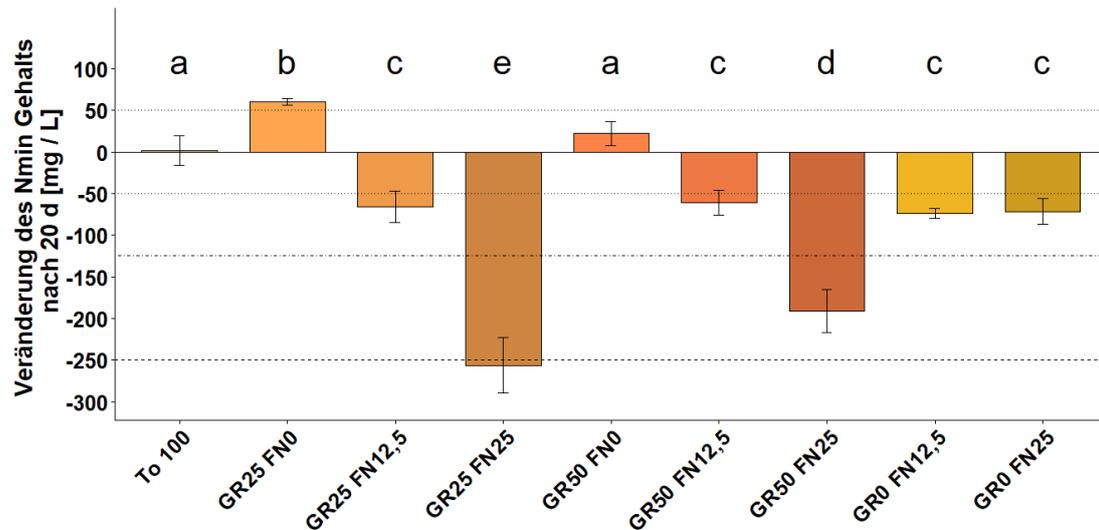


Abbildung 1: Veränderungen des Gehaltes an mineralischem Stickstoff (N_{\min}) nach 20 Tagen im Inkubationsversuch zur Untersuchung des N-Haushaltes der Varianten (nach VDLUFA 2007). N_{\min} wurde im CAT-Extrakt bestimmt. GR = Gärprodukt, FN = Fasernesselschäben, Zahlen hinter Buchstaben entsprechen dem prozentualen Anteil eines Rohstoffes in der Mischung. Als dritte Komponente wurde Torf verwendet. $n = 4$, $p < 0,05$, Varianzanalyse: Kruskal-Wallis, Post-hoc-Test: paarweiser t-Test

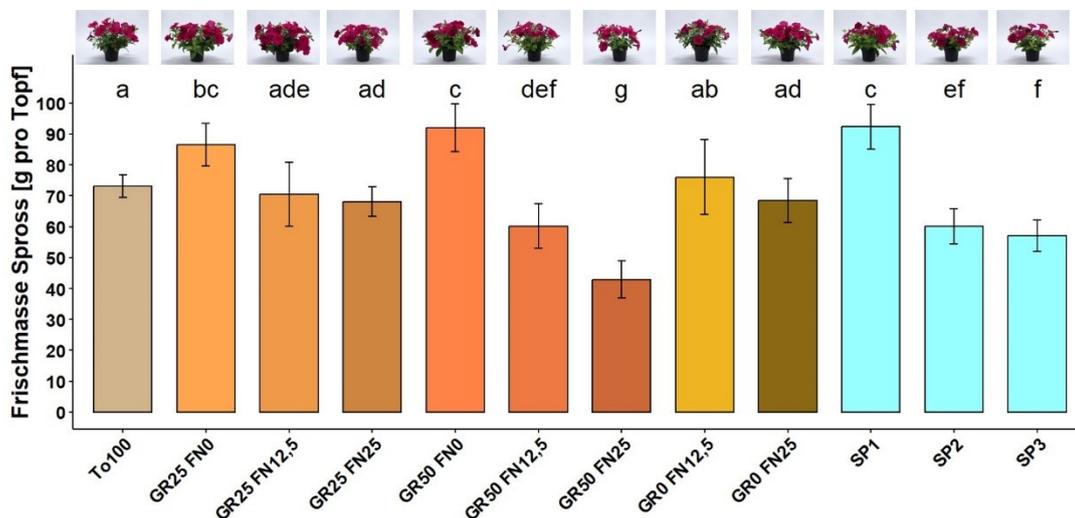


Abbildung 2: Frischmassen der oberirdischen Petunien-Biomasse. Varianten mit Gärprodukt (GR), Fasernessel (FN) und Torf (To), praxisübliche Kultursubstrate verschiedener Substratproduzenten (SP) mit 50 % bis 60 % Torfersatz. $n = 6$, $p < 0,05$, Varianzanalyse: ANOVA, Post-hoc-Test: paarweiser t-Test

Um die Ursache für die Wachstumsmindering bei höherem Fasernesselanteil zu bestimmen, wurden am Ende der Kulturzeit verschiedene Parameter bestimmt (Tabelle 4). Die NPK-Gehalte im Blatt lagen bei allen Varianten in einem kulturtypischen Bereich (Röber

und Wohanka 2014). Die N_{\min} -Gehalte im Substrat lagen zwischen 50 und 200 mg $N_{\min} \text{ l}^{-1}$, wobei in den Varianten mit hohem Gärproduktanteil und zunehmendem Fasernesselanteil die Gehalte mit 150 bis 200 mg $N_{\min} \text{ l}^{-1}$ aufgrund der höheren Grunddüngung am höchsten waren. Die P_2O_5 -Gehalte lagen im Bereich von 200 bis 800 mg $P_2O_5 \text{ l}^{-1}$. Alle Varianten ohne Gärprodukt waren im Bereich von 200 bis 300 mg $P_2O_5 \text{ l}^{-1}$, diejenigen mit 25 % Gärprodukt bei 500 mg $P_2O_5 \text{ l}^{-1}$ und diejenigen mit 50 % Gärprodukt bei 800 mg P_2O_5 , was hohen bis sehr hohen Gehalten in Kultursubstraten entspricht (Röber und Schacht 2008). Die K_2O -Gehalte bei einem höheren Gärproduktanteil lagen zwischen 300 mg $K_2O \text{ l}^{-1}$ und 500 mg $K_2O \text{ l}^{-1}$ und somit noch in einem kulturverträglichen Bereich. Die pH-Werte lagen in einem für Petunien günstigen Bereich (Röber und Wohanka 2014). Die Salzgehalte stiegen mit zunehmendem Anteil an Gärprodukt. Aufgrund der kurzen Kulturzeit von 6 Wochen kann davon ausgegangen werden, dass der hohe Salzgehalt nicht auf das Vorhandensein von Gips zurückzuführen ist (VDLUFA 1991b). Die geringere Petunienbiomasse bei Varianten mit hohen Gärprodukt- und Fasernesselanteilen könnte auf eine Kombination von Faktoren wie geringerer Wasserkapazität in Verbindung mit hohen Salz- und P_2O_5 -Gehalten im Substrat zurückzuführen sein. Dies führte möglicherweise v. a. bei Variante GR50 FN25 dazu, dass das Substrat über längere Phasen trockener war und es dadurch zu einer längeren und stärkeren Aufkonzentrierung der im Substratwasser gelösten Stoffe gekommen ist.

Tabelle 4: pH-Werte, Salzgehalte und NPK-Gehalte in den Substratmischungen (extrahiert mit CAT) und im Blatt am Ende des Petunienversuches. $n = 6$, GR = Gärprodukt, FN = Fasernesselschäben, Zahlen hinter Buchstaben entsprechen dem prozentualen Anteil eines Rohstoffes in der Mischung. Als dritte Komponente wurde Torf verwendet.

	pH (CaCl_2)	Salzgehalt (g l^{-1} Substrat)	N_{\min} (mg l^{-1} Substrat)	P_2O_5	K_2O	N (% i.d. TS Blatt)	P	K
Torf 100	4,7	1,72	52	273	52	5,0	0,74	4,5
GR25 FN0	4,9	2,25	36	502	91	4,7	0,66	5,4
GR25 FN12,5	5,2	2,36	148	489	144	4,8	0,61	5,4
GR25 FN25	5,2	2,29	167	481	129	4,8	0,67	5,0
GR50 FN0	5,4	2,99	63	796	269	4,5	0,63	6,1
GR50 FN12,5	5,6	3,18	164	789	356	4,6	0,59	5,7
GR50 FN25	5,9	2,96	183	801	444	4,3	0,53	5,8
GR0 FN12,5	5,4	2,29	115	283	68	5,2	0,71	3,9
GR0 FN25	4,8	2,07	127	265	97	5,3	0,75	4,4
SP1	5,7	1,99	59	208	60	4,6	0,69	5,6
SP2	5,7	1,79	51	312	196	4,7	0,58	5,6
SP3	5,5	1,26	62	265	160	4,3	0,60	6,0

4. Schlussfolgerung

Bei Anpassung in der Kulturführung (v. a. einer Erhöhung der N-Düngung) können Fasernessel-Schäben und fermentiertes Gärprodukt in geringen Anteilen von 10 % bzw. 30 % als Substratausgangsstoff eingesetzt werden. Voruntersuchungen und Zwischenanalysen der Substratmischungen während der Kulturlaufzeit zu einer ggfs. Anpassung der Düngung sind empfehlenswert. Die Verwendung von Fasernesselmaterial aus der Winterernte hatte positive Auswirkungen aufgrund einer geringeren N-Festlegung und sollte daher bevorzugt verwendet werden.

Danksagung

Diese Forschungsarbeiten wurden im Rahmen des Verbundvorhabens „Entwicklung und Bewertung torfreduzierter Produktionssysteme im Gartenbau“ (ToPGa) erarbeitet. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) durch den Projektträger Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) gefördert. Wir danken Floragard, Kekkilä-Brill Substrates und Klasmann-Deilmann für ihre Unterstützung.

Literatur

- Amha Amde, Y (2011) Water- and salt-extractable organic carbon from peats: Their relations with long-term CO₂ evolution, microbial biomass-C, and the degree of decomposition. In: Microbial activity and biomass of peats in relation to the intrinsic organic matter composition, pH, moisture, and C and N inputs. Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 26-43
- BGK (2018) RAL Gütesicherung Kompost – Qualitätskriterien für Substratkompost. DOK 251-006-3 (Stand 07.11.2018)
- Hirschler O , Osterburg B , Weimar H , Glasenapp S, Ohmes M F (2022) Peat replacement in horticultural growing media: Availability of bio-based alternative materials. Thünen Working Paper 190
- Höper H (2007) Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. *Telma* 37: 85-116
- Leiber-Sauheitl K, Bohne H, Böttcher J (2021) First steps toward a test procedure to identify peat substitutes for growing media by means of chemical, physical and biological material characteristics. *Horticulturae* 7: 164. Doi: 10.3390/horticulturae7070164
- Ofiti N O E, Schmidt M W I, Abiven S, Hanson P J, Iversen C M, Wilson R M, Kostka J E, Wiesenberg G L B, Malhotra A (2023) Climate warming and elevated CO₂ alter peatland soil carbon sources and stability. *Nature Communications* 2023 14: 7533. Doi: 10.1038/s41467-023-43410-z
- Röber R und Schacht H (2008) Pflanzenernährung im Gartenbau. Ulmer Verlag
- Röber R und Wohanka W (2014) 90 Kulturen im Zierpflanzenbau. Ulmer Verlag
- Schmitz, H-J, Meinken, E (2009) Composts from Residues of Anaerobically Treated Renewable Resources and Their Suitability in Growing Media. *Acta Horticulturae* 819, 361-366. Doi: 10.17660/ActaHortic.2009.819.43
- Schmilewski G (2008) The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat* 3: 1-8
- Stucki M, Wettstein S, Mathis A (2019) Erweiterung der Studie Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich. Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften: Wädenswil, Schweiz
- VDLUFA (1991a) Bestimmung des Salzgehaltes in Böden, gärtnerischen Erden und Substraten. Methodenbuch I A 10.1.1, VDLUFA-Verlag Darmstadt
- VDLUFA (1991b) Bestimmung des Salzgehaltes in gartenbaulich genutzten Böden, gärtnerischen Erden und Substraten im Wasserauszug. Methodenbuch I A 13.4.1, VDLUFA-Verlag Darmstadt

VDLUFA (1997a) Bestimmung der Rohdichte (Volumengewicht) von gärtnerischen Substraten mit sperrigen Komponenten. Methodenbuch I A 13.2.2, VDLUFA-Verlag Darmstadt

VDLUFA (1997b) Bestimmung von Haupt- und Spurennährstoffen in Kultursubstraten im Calciumchlorid/DTPA-Auszug (CAT-Methode). Methodenbuch I A 13.1.1, VDLUFA-Verlag Darmstadt

VDLUFA (2002) Bestimmung der Wasserkapazität (WK) von Substraten und Komposten ohne sperrige Komponenten. Methodenbuch I A 13.2.3, VDLUFA-Verlag Darmstadt

VDLUFA (2007) Bestimmung der Stabilität des Stickstoffhaushaltes organischer Materialien. Methodenbuch I A 13.5.1, VDLUFA-Verlag Darmstadt

VDLUFA (2016) Bestimmung des pH-Wertes. Methodenbuch I A 5.1.1, VDLUFA-Verlag Darmstadt