

RessortForschtKlima

Ergebnisse aus drei Jahren Forschung für mehr Klimaschutz in Landwirtschaft, Wald und Ernährung

Abschlussbericht – Dezember 2025



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Beteiligte Ressortforschungsinstitute und Herausgeber:



Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)

Südufer 10
17493 Greifswald-Insel Riems
T: +49 38351 7-0



Julius Kühn-Institut (JKI)

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Erwin-Baur-Str. 27
06484 Quedlinburg
T: +49 3946 47-0



Max Rubner-Institut (MRI)

Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel
Haid-und-Neu-Str. 9
76131 Karlsruhe
T: +49 721 6625 0



Thünen-Institut

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
T: +49 531 596 1003

Zitiervorschlag:

RessortForschtKlima (2025)

Ergebnisse aus drei Jahren Forschung für mehr Klimaschutz in Landwirtschaft, Wald und Ernährung:

Abschlussbericht der RessortForschtKlima-Projekte. <https://doi.org/10.3220/253-2025-220>

Bildrechte Titelseite:

Doreen König, Julius Kühn-Institut

Dirk von Soosten, Friedrich-Loeffler-Institut

Max Rubner-Institut

Tania Runge, Thünen-Institut



© Die Autoren / Die Autorinnen.

Dieses Werk wird unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

Herstellung und Einsatz von Holzfaserstoffen als Torfersatz

Fokko Schütt, Jörn Appelt, Dirk Behrens, Rodrigo Coniglio, Sebastian Rüter und Faye Stulz (Thünen-Institut); Ute Vogler und Bunlong Yim (Julius Kühn-Institut)

ZIELSETZUNG

Technologische Ziele des Vorhabens waren, den möglichen Einsatz von Holzfaserstoffen in Pflanzsubstraten zu erhöhen, die Rohstoffbasis zu erweitern sowie vor dem Hintergrund der EU-Düngeprodukteverordnung zur Aufklärung der Entstehung von Nebenprodukten bei Zerkleinerungsprozessen über 100 °C beizutragen.

Weiteres Ziel war eine Einschätzung des möglichen Treibhausgas (THG)-Minderungsbeitrages durch die Nutzung von Holzfasern aus einheimischen Roh- und Reststoffen für den Ersatz von Torf als Kultursubstrat.

METHODIK

Zur Bewertung der Nebenprodukte wurden Temperaturreihen zwischen 100 °C und 185 °C mit verschiedenen Rohstoffen (Laubholz, Nadelholz und krautige Pflanzen) durchgeführt und die Nebenprodukte in den wässrigen Extrakten gaschromatographisch untersucht sowie die Phytotoxizität mittels Kressetest (DIN EN 16086-2) bewertet.

Die Stickstoff-(N)-Immobilisierung durch mikrobiellen Abbau der im Pflanzsubstrat enthaltenen Komponenten ist einer der begrenzenden Faktoren für den Einsatz von Torfersatzstoffen. Im Holz ist das enthaltene Lignin resistenter gegenüber mikrobiellem Abbau als die Cellulose- und Hemicellulosefraktion. Als Ansatz zur Stabilisierung der Holzfasern wurden daher Prozesse zur Anreicherung der Fasern mit zusätzlichem Lignin erforscht. Die Methode zur Ligninanlagerung wurde zunächst im Labormaßstab an bereits zerkleinerten Stoffen entwickelt und anschließend auf den Technikumsmaßstab übertragen. Im Technikumsrefiner wurde dazu die Zerkleinerung mit der Ligninanreicherung in einem Schritt kombiniert.

Zusätzlich wurden durch eine oxidative Anlagerung von Stickstoff an verschiedenen Ligninen Substratausgangsstoffe mit erhöhtem Stickstoffgehalt erzeugt, um längerfristig zusätzlichen Stickstoff im Pflanzsubstrat zur Verfügung zu stellen.

Es wurden Chinakohltests gemäß VDLUFA A 10.2.1 mit Nadelholzfasern sowie umfangreichere Pflanzversuche (Basilikum, Tagetes) mit verschiedenen Mischungen der Laubholzfasern von Birke (Anteil 100 %, 70 %, 50 % und 30 %) und N-Lignine (Anteil 2 %, 4 % und 8 %) mit Torf durchgeführt, um die erzeugten Produkte zu bewerten. Zusätzlich wurde im Unterauftrag die N-Immobilisierung der Faserstoffe bewertet.

Im Rahmen der Ökobilanz wurde ein strukturierter Fragebogen verwendet, um die notwendigen Primärdaten zu erfassen. Dieser wurde im Rahmen des Projekts entwickelt und speziell auf die Anforderungen der Substratproduktion angepasst. Ziel der Erhebung ist es, alle relevanten Input- und Outputströme eines Produktionsstandorts innerhalb

HIGHLIGHTS

- Zwischen 100 und 150 °C kein eindeutiger Einfluss der Zerkleinerungstemperatur auf die Bildung von Nebenprodukten erkennbar
- Laut Phytotoxizitätstest können Zerkleinerungstemperaturen bis 150 °C in Betracht gezogen werden
- Die Stickstoffanreicherung am Lignin konnte durch Preaktivierung des Lignins maßgeblich verbessert werden
- Die Zugabe von N-Ligninen verbesserte die Leistung von Substraten aus 100 % Fasern in Pflanzwachstumsversuchen
- Erfolgreiche Pflanzversuche mit ligninangereicherten Laubholzfasern:
 - Laubholzfasern konnten zu 50 % Torf ersetzen
 - Die Zugabe von 2 % Lignin zu Laubholzfasern verbesserte das Pflanzenwachstum

eines festgelegten Geschäftsjahres systematisch und vollständig zu dokumentieren.

Der Fragebogen ist in modulare Abschnitte gegliedert, die den gesamten Produktionsprozess abbilden. Er enthält allgemeine Unternehmensdaten wie Standort, Produktionszeitraum und Betriebsstruktur sowie detaillierte Informationen zu den verwendeten Technologien und Verfahren. Ein Schwerpunkt liegt auf der Erfassung organischer und mineralischer Ausgangsstoffe, wobei Torf und Holz am umfangreichsten abgedeckt werden. Zudem werden Daten zu Endprodukten, Verpackungen, Nebenprodukten, Abfällen, Betriebsstoffen, Energieverbrauch und Transport im Zusammenhang mit der Produktion gesammelt.

ERGEBNISSE

Entstehung von Nebenprodukten über 100 °C und deren Phytotoxizität

Niedermolekulare Nebenprodukte in den Prozesswässern wurden per GC-MS/FID teils qualitativ bestimmt sowie zu einem erheblichen Anteil zusätzlich quantifiziert. Ein stärkerer Anstieg der Nebenprodukte wurde erst bei Temperaturen ab 165 °C und noch deutlicher bei 185 °C gefunden, während bei Temperaturen zwischen 120 °C und 150 °C kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Zerkleinerungstemperatur und dem Wachstum der Kresse festgestellt wurde (Abb. 1).

Zusätzlich zeigte sich, dass die Ausgangsrohstoffe einen größeren Einfluss auf die Phytotoxizität der Extrakte hatten, als die Zerkleinerungstemperatur. Im Allgemeinen bewirkten die Extrakte der Gras- und Riedpflanzen eine deutlich höhere Wachstumshemmung als die Holzrohstoffe.

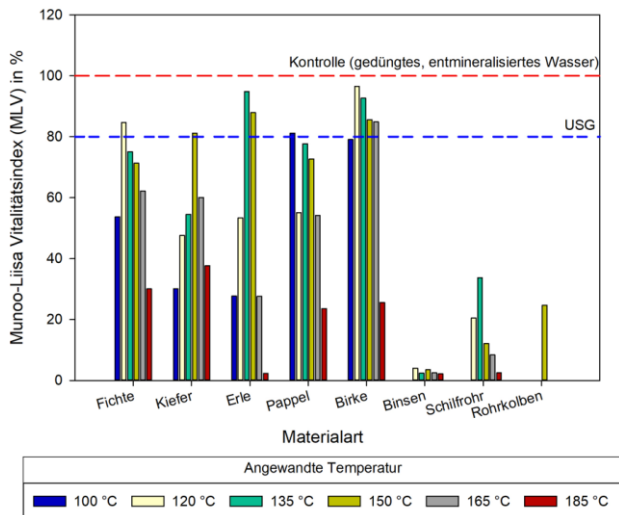


Abbildung 1: Untersuchung der Pflanzenverträglichkeit gemäß DIN EN 16086-2 Extraktverfahren (Kressetests)

Entwicklung N-angereicherter Lignine und Substrate

Für die Erzeugung stickstoffangereicherter Lignine (N-Lignine) wurde zunächst eine umfangreiche Literaturrecherche angefertigt und in einem Review-Paper veröffentlicht (Coniglio et al. 2024). Darin wurde dargestellt, dass für den Einsatz in Pflanzsubstraten eine mittelfristige N-Freisetzung besonders interessant ist. Dies trifft bei N-Ligninen vor allem für Stickstoff zu, der in Amid-Strukturen gebunden ist. Ein besonderer Fokus lag daher auf der selektiven Einbringung von Amidstickstoff. Hierfür wurden zunächst die Reaktionsbedingungen während der N-Anlagerung bezüglich Temperatur, Druck und Behandlungsdauer optimiert. Es wurde festgestellt, dass durch diese Optimierung der Anteil an Amidstickstoff nicht wesentlich gesteigert werden konnte (Coniglio et al. 2025). Daher wurden in der Folge verschiedene Strategien zur Voraktivierung von Lignin untersucht, darunter Sauerstoff-, Wasserstoffperoxid- und Peressigsäurebehandlungen, um die Reaktivität des Lignins vor der Amoxidation gezielt zu verändern. Die strukturellen Veränderungen sowie deren Einfluss auf den Stickstoffeinbau wurden umfassend charakterisiert.

Ligninanlagerung zur Reduzierung der N-Immobilisierung

Die Ligninanlagerung wurde im Labormaßstab zunächst an industriell verfügbaren Nadelholzfaserstoffen entwickelt und optimiert. Dazu wurde Lignin in alkalischer Kaliumhydroxidlösung gelöst, mit Faserstoff vermischt und anschließend durch Ansäuerung mit Phosphorsäure auf der Faser ausgefällt. Durch anschließende Waschversuche konnte gezeigt werden, dass es gelungen ist, einen wesentlichen Anteil des eingebrachten Lignins auf der Faser so zu binden, dass es während des Gießvorgangs nicht wieder ausgewaschen wird. Abbildung 2 zeigt die im Filtrat aus Waschversuchen gefundenen Mengen an Lignin und Kohlenhydraten, dargestellt als Waschverluste bezogen auf den Fasereinsatz. Bei Einsatzmengen an Lignin von 2 % liegt die Menge an Lignin im Waschfiltrat in gleicher Höhe wie in den Filtraten der Naturfaser sowie der Nullprobe, welche ausschließlich der Alkali-/Säurebehandlung unterzogen wurde, ohne Lignin hinzuzugeben. Bei einer Zugabe von 10 % Lignin wurde eine Menge von 3,4 % Lignin bezogen auf die eingesetzte Faser im Waschfiltrat gefunden. Dies zeigt, dass bei höheren Zugaben zwar der größere Teil an angelagertem

Lignin auf der Faser gebunden werden konnte, gewisse Mengen jedoch ausgewaschen wurden. Durch eine anschließende Temperaturbehandlung der Fasern bei 140 °C konnte diese Menge jedoch deutlich verringert werden (Abb. 2). Basierend auf diesen Ergebnissen wurden die Bedingungen der Upscaling-Versuche mit Laubholz geplant.

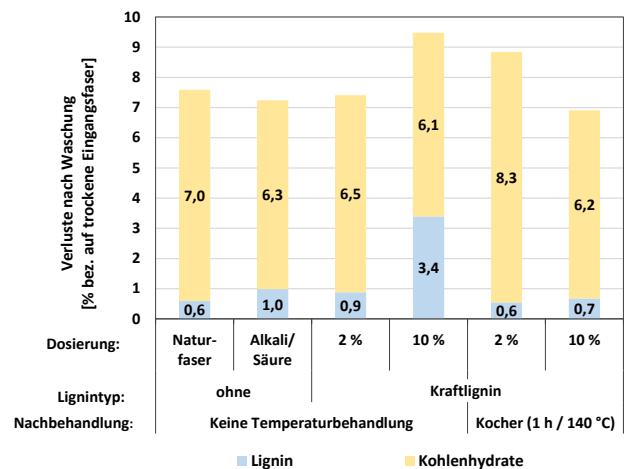


Abbildung 2: Quantifizierung der Ligninverluste bei den Waschversuchen der Faserstoffe nach Ligninanlagerung

Pflanzenverträglichkeitstest: Chinakohl

Die Pflanzenverträglichkeit der ligninangereicherten Fasern sowie der N-angereicherten Lignine aus den Laborversuchen wurden im Rahmen von Kresse- und Chinakohltests getestet und die Ergebnisse dieser Tests teilweise bereits veröffentlicht (Coniglio et al. 2025). In diesen Versuchen förderte die Zugabe von 2 % N-angereichertem Organocell-Lignin in Substraten mit 50 % bzw. 100 % Holzfasern das Pflanzenwachstum im Vergleich zu ligninfreien Substraten. Diese vorläufigen Ergebnisse bedürfen weiterer Untersuchungen, um sie statistisch absichern zu können.

Upscaling der Ligninanlagerung an Laubholzfaserstoffen

Auf einem Technikumsrefiner des Fraunhofer Instituts für Holzforschung (WFI) wurden Upscalingversuche für den Prozess der Ligninanlagerung durchgeführt. Dabei wurden die Bedingungen zur Ligninlösung und -ausfällung aus den Laborversuchen adaptiert. Zusätzlich konnten Zerfaserung sowie die Lignin-Anlagerung in einem Schritt kombiniert werden. Dafür wurde die Ligninlösung in der Zuführschnecke zum Refiner zu den Hackschnitzeln gegeben und die Fasern direkt nach der Zerfaserung mit Phosphorsäure angesäuert, um das Lignin auszufällen. Um die Fasern lagerstabil zu machen, wurden diese bis auf ca. 10 % Restfeuchte heruntergetrocknet. Durch die Behandlungsschritte mit unterschiedlichen Einsatzmengen an Lignin konnte die N-Immobilisierung gegenüber der Naturfaser in unterschiedlichem Maße reduziert werden.

Pflanzenverträglichkeitstest: Basilikum und Tagetes

Zur Bewertung der Pflanzenverträglichkeit der ligninangereicherten Laubholzfaserstoffen wurden umfangreichere Pflanzenversuche mit Basilikum und Tagetes durchgeführt. Beiden Pflanzenarten reagierten ähnlich auf die unterschiedlichen Substratmischungen. Substrate mit 100 % Laubholzfaserstoffen förderten das Pflanzenwachstum nicht, was sich besonders ausgeprägt beim Basilikum zeigte. Zwar wuchsen Tagetes besser als Basilikum, doch waren auch hier Biomasse,

Habitus und Blüte im Vergleich zu den anderen Substratmischungen am geringsten (Abb. 3). Ein höherer Torfanteil im Substrat sorgte für ein verbessertes Pflanzenwachstum. Die Daten zeigen, dass sowohl die Pflanzenbiomasse als auch der Chlorophyllgehalt der Pflanzenblätter sowie der Photosynthese-Leistungsindex der in dem Substrat mit 50 % Laubholzfasern kultivierten Pflanzen vergleichbar zu den im Torf als Kontrolle kultivierten Pflanzen war (Yim et al. 2025). Es war außerdem zu beobachten, dass die mit 2 % Lignin versetzten Laubholzfasern ein verbessertes Pflanzenwachstum gegenüber den unbehandelten Laubholzfasern aufwiesen.



Abbildung 3: Basilikum und Tagetes wachsen im Substrat mit 2 % Kraftlignin und aus verschiedenen Mischungen. T, Torf; H, Laubholzfasern; 100, 70, 50 und 30 stehen für Substrat mit Laubholzfaserteilen von 100 %, 70 %, 50 % bzw. 30 %.

Ökobilanzierung und möglicher THG-Minderungsbeitrag

Trotz intensiver Bemühungen konnten keine zuverlässigen Primärdaten von Substratherstellern gesammelt werden, um eine vollständige und vergleichbare Ökobilanz der Substratproduktion zu erstellen. Mehrere Unternehmen, die zunächst eine Zusammenarbeit zusagten, zogen diese später zurück oder konnten die erforderlichen Daten nicht in der benötigten Qualität liefern. Als Grund wurde vor allem der zeitliche Aufwand für die Datenerhebung genannt. Auch das Vorhandensein bereits etablierter Bewertungsinstrumente, die in Teilen der Branche genutzt werden, sowie mögliche Abweichungen in den Ergebnissen durch eine vertiefte Untersuchung im Rahmen dieses Projekts könnten die Bereitschaft der Branche, Daten bereitzustellen, verringert haben. Trotzdem lieferten die Gespräche wertvolle Erkenntnisse über die aktuelle Datenlage und die wichtigsten Gründe für die Bewertung der Vorteile von Holz als Substratersatz.

Die biogenen Emissionen sowohl aus Torf wie auch aus Holz werden nach den IPCC-Leitlinien im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) bilanziert. Die Emissionen aus Torf, die durch die Freisetzung von im Boden über Jahrtausende gebundenem Kohlenstoff infolge von Entwässerung und Nutzung organischer Böden entstehen, werden anhand der abgebauten Torfmenge, der Abbaufächen und eines entsprechenden Emissionsfaktors ermittelt. Aufgrund des schnellen Nachwachsens der Waldbiomasse und seines Rohstoffs Holz erfolgt die Bilanzierung anders als bei Torf, über die Erfassung der Änderung der Kohlenstoffspeicher in Wald und Holz. Eine

KLIMAWIRKUNG

Eine breitere Rohstoffbasis für die Holzfaserverzeugung erweitert die Möglichkeiten, Torf in Pflanzsubstraten zu ersetzen. Insbesondere in Kombination mit der Wiedervernässung von Moorflächen kann dies zu einer Minderung der THG-Emissionen beitragen. Beim direkten Vergleich des Einsatzes von Holzfasern mit dem Einsatz von Torf in Pflanzsubstraten muss die unterschiedliche Einordnung der biogenen CO₂-Emissionen in der Ökobilanz kritisch hinterfragt werden.

Vergrößerung dieser Speicher führt dabei zu einer Netto-Senkenwirkung. Entspricht der Biomassezuwachs bzw. die auf den Produktspeicher übertragene Kohlenstoffmenge der durch Zerfall oder Nutzung freigesetzten CO₂-Emissionen, befinden sich die Speicher im Fließgleichgewicht und sind quasi „CO₂-neutral“.

Bei einem ökobilanziellen Vergleich der Materialien Holz und Torf im Substrat auf Produktebene hat der unterschiedliche methodische Umgang mit der genannten zeitlichen Dynamik der biogenen CO₂-Emissionen hingegen maßgeblichen Einfluss auf die Bewertung eines möglichen Vorteils von Holz als Substratersatz für Torf. Während der mit dem Torfabbau verbundene Kohlenstoffverlust, der den CO₂-Emissionen des Zerfalls des Torfes in der nachgelagerten Nutzung des Substrates entspricht, in cradle-to-gate-Ökobilanzen quasi als „fossile“ Emission berücksichtigt wird, werden die biogenen CO₂-Emissionen der Holzfasern als Torfersatz generell als CO₂-neutral gewertet. Dies ist im Zuge von standardisierten Produktökobilanzen, die die Umweltbewertung auf eine „funktionelle Einheit“ beziehen, bei stofflich genutzten Holzprodukten zwar korrekt, jedoch muss klar sein, dass im Fall der auftretenden Zersetzungsprozesse der Substrate im Zuge ihrer Nutzung der materialinherente Kohlenstoff sowohl aus Torf als auch aus Holzfasern de facto CO₂-Emissionen und andere mögliche Treibhausgase (THG) verursacht. Damit zeigt sich, dass zwar die biogene CO₂-Bilanz in Holz, die mit dem materialinherenten Kohlenstoffgehalt korreliert, methodisch korrekt in Ökobilanzen quantifiziert wird; die unterschiedliche Interpretation dieser Bilanz kann in den Ökobilanzergebnissen jedoch zu möglicherweise falschen Schlussfolgerungen führen. Hinzu kommt, dass Holzfasern, um überhaupt als Torfersatz fungieren zu können (Stichwort: funktionelle Äquivalenz), unter hohem Energieaufwand hergestellt und u. a. thermisch behandelt werden müssen (s. o.). Diese Aufwendungen werden in Ökobilanzen detailliert erfasst und transparent ausgewiesen. Es zeigt sich, dass der deutlich höhere Aufwand für die Herstellung und Behandlung der Holzfasern im Ergebnis zu höheren THG-Emissionen bei deren Produktion führt als bei Torf. Eine generelle „Vorteilhaftigkeit“ von Holz als Substratersatz kann daher nur vor dem Hintergrund des Aufwandes für seine Herstellung sowie der Verfügbarkeit des nachwachsenden Rohstoffs Holz für solche Anwendungen und mögliche Nutzungsalternativen bewertet werden (Stichwort: Bioökonomie). Nur bei einem ausreichenden Angebot des heimischen Rohstoffs und einer nachhaltigen Bewirtschaftung, die sich in einer ausgeglichenen CO₂-Bilanz

oder gar einer Senke widerspiegelt, kann Holz als Torfersatzstoff einen positiven Einfluss haben.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse aus den Temperaturreihen legen nahe, dass eine Temperaturbeschränkung bei der Holzerfaserung grundsätzlich sinnvoll erscheint, da bei sehr hohen Temperaturen potenziell inhibierende Substanzen in größeren Mengen entstehen. Es sollte jedoch eine Erhöhung der Temperaturgrenze, z. B. auf 150 °C, diskutiert werden, da bis zu dieser Temperatur kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Zerfaserungstemperatur und Beeinflussung des Pflanzenwachstums festgestellt wurde.

In den Pflanzversuchen mit ligninangereicherten Fasern konnten vielversprechende Ergebnisse erzielt werden, die darauf schließen lassen, dass eine Herabsetzung der Stickstoff-(N)-Immobilisierung und in der Folge die Erhöhung des Holzfaserstoffanteils in Substraten sowie eine Erweiterung der Rohstoffbasis für die Faserstoffherzeugung erzielt werden könnte. Bei der Rohstoffauswahl muss jedoch berücksichtigt werden, dass offensichtlich aus dem Rohstoff selbst pflanzeninhibierende Stoffe eingebracht werden können. Die getesteten Laubhölzer zeigten sich in diesem Zusammenhang als geeignete Rohstoffe. Bezüglich der N-Immobilisierung wären weitere Untersuchungen, insbesondere zur Kombination der N-Anreicherung im Lignin sowie der anschließenden Anreicherung von Faserstoffen mit diesen Ligninen förderlich.

AUSGEWÄHLTE VERÖFFENTLICHUNGEN

- Coniglio R, Schütt F, Appelt J (2024): Challenges for the utilization of ammoxidized lignins and wood fibres as a peat substitute in horticultural substrates. *Journal of Cleaner Production* 475. doi. 10.1016/j.jclepro.2024.143737
- Coniglio R, Behrens D, Schütt F, Roesky N, Vogler U, Appelt J (2025): Exploring the potential of ammoxidation of lignins to enhance amide-nitrogen for wood-based peat alternatives and its impact on plant development. *Holzforschung* 2025; doi. 10.1515/hf-2024-0127
- Schütt F, Appelt J, Behrens D, Coniglio R, Roesky N, Vogler U (2025): Herstellung und Einsatz von Holzfaserstoffen als Torfersatzstoff (HoFaTo). Posterpräsentation Statustagung „Torfminderung im Gartenbau“, Berlin, 19.-20.03.2025 <https://veranstaltungen.fnr.de/statustagung-torf-minderung-im-gartenbau/rueckblick>
- Yim B, Schütt F, Behrens D, Vogler UK (2025) Torfersatz: Erforschung der potenziellen Verwendung von Laubholzfasern als Torfersatz im Gartenbau. Bericht, 79. ALVA – Jahrestagung 2025. https://www.openagrar.de/receive/openagrar_md_00109200

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR POLITIK UND PRAXIS

Da bei der Holzerfaserung im Bereich von 100 °C bis 150 °C kein eindeutiger Einfluss der Zerfaserungstemperatur auf die Performance in Keimpflanzentests nachgewiesen werden konnte, sollte angestrebt werden, die bestehenden Möglichkeiten zum Einsatz von Holzfaserstoffen, die bei Temperaturen über 100 °C zerfasert wurden, aufrecht zu erhalten.

Die Entwicklung funktionaler Torfersatzstoffe, die einen stabilen Stickstoffhaushalt im Pflanzsubstrat gewährleisten, sollte weiterhin unterstützt und vorangetrieben werden.

Bei der Bewertung von Treibhausgasemissionen von Torf und Torfersatzstoffen in Pflanzsubstraten besteht die Notwendigkeit, die Ansätze in der Klimaberichterstattung und Ökobilanzierung weiterzuentwickeln, um eine konsistente und realitätsnahe Bewertung beider Materialien zu gewährleisten. Diese Entwicklung sollte in Zukunft kritisch diskutiert werden.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages