

Marilene Fuhrmann

Christoph Strasser

Ökobilanzierung von Torfersatzstoffen in Österreich

Datum 29.August 2024

Nummer 966 TR N-31-388-0

Projektleitung Marilene Fuhrmann
marilene.fuhrmann@best-research.eu

Mitarbeit Christoph Strasser
christoph.strasser@best-research.eu

Projektnummer N-31-388-0
Projektlaufzeit 01.11.2023 – 31.08.2024

Auftraggeber Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Abteilung Umwelt- und Energiewirtschaft
Kontakt: Christiane Hannauer

Firmenpartner Natur im Garten GmbH
Kontakt: Katja Batakovic



BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH

office@best-research.eu

www.best-research.eu

FN 232244k

Landesgericht für ZRS Graz

UID-Nr. ATU 56877044

Abkürzungsverzeichnis

CED	Cumulative Energy Demand (Kumulativer Energieaufwand)
CO ₂ -eq	Kohlendioxid-Äquivalent
g	Gramm
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
kg	Kilogramm
KUP	Kurzumtriebsplantage
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)
m ² a	Quadratmeter und Jahr
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
MJ	Megajoule
SNP	Sägenebenprodukte
tkm	Tonnenkilometer

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Betrachtete Wirkungskategorien und verwendete Abschätzungsmethoden	7
Tabelle 2: Schüttdichte der betrachteten Substrate in kg pro Schüttraummeter (m ³ geschüttetes Substrat).....	8
Tabelle 3: Sachbilanz für Torf inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang).....	11
Tabelle 4: Sachbilanz für Torfmoos inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang).....	13
Tabelle 5: Sachbilanz für Kokosfasern inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang).....	15
Tabelle 6: Berechnung der Allokationsfaktoren von Schnittholz und Sägenebenprodukten (SNP) (ökonomische Allokation auf Basis des Produktionswertes)	16
Tabelle 7: Sachbilanz für Holzfasern aus Kurzumtriebsholz bzw. Sägenebenprodukten (SNP) inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang).....	17
Tabelle 8: Sachbilanz für Miscanthus inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang).....	18
Tabelle 9: Sachbilanz für Grünschnitt Kompost inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang).....	20
Tabelle 10: Sachbilanz für Sand inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten	21
Tabelle 11: Sachbilanz für Blähton inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang).....	22
Tabelle 12: Sachbilanz für Biokohle inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Produktion im Anhang).....	23
Tabelle 13: Sachbilanz für Ziegelsplitt inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang).....	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lebenszyklus Torf (Eigene Darstellung)	10
Abbildung 2: Österreichische Torf Importe der wichtigsten Importländer (Eigene Darstellung, Daten: Statistik Austria 2023)	10
Abbildung 3: Lebenszyklus Torfmoos (Eigene Darstellung)	12
Abbildung 4: Lebenszyklus Kokosfaser inkl. ökonomischer Allokationsfaktoren (Eigene Darstellung)	14
Abbildung 5: Lebenszyklus Holzfaser aus Kurzumtriebsholz bzw. Sägenebenprodukten (Eigene Darstellung)	16
Abbildung 6: Lebenszyklus Miscanthus (Eigene Darstellung)	18
Abbildung 7: Lebenszyklus Grünschnitt Kompost (Eigene Darstellung)	19
Abbildung 8: Lebenszyklus Sand (Eigene Darstellung)	20
Abbildung 9: Lebenszyklus (Bläh)ton, Tongranulat ohne hellgrauen Bereich (Eigene Darstellung)	22
Abbildung 10: Lebenszyklus Biokohle (Eigene Darstellung)	23
Abbildung 11: Lebenszyklus Ziegelsplitt (Eigene Darstellung)	24
Abbildung 12: Global Warming Potential (GWP) der einzelnen Substrate in kg CO ₂ -Äquivalent pro m ³ Substrat, unterteilt in Produktion, Transport und Nutzung. Schraffierte Bereiche verlangen Vorsicht in der Interpretation – siehe Erläuterungen im Text. (Eigene Darstellung)	27
Abbildung 13: Global Warming Potential (GWP) der einzelnen Substrate in kg CO ₂ -Äquivalent pro kg Substrat, unterteilt in Produktion, Transport und Nutzung. Schraffierte Bereiche verlangen Vorsicht in der Interpretation – siehe Erläuterungen im Text. (Eigene Darstellung)	27
Abbildung 14: Cumulative Energy Demand (CED) der einzelnen Substrate in MJ Primärenergieinput pro m ³ Substrat, unterteilt in Produktion und Transport (Eigene Darstellung)	28
Abbildung 15: Cumulative Energy Demand (CED) der einzelnen Substrate in MJ Primärenergieinput pro kg Substrat, unterteilt in Produktion und Transport (Eigene Darstellung)	29



Inhalt

1	Ziel und Umfang der Studie	6
2	Methodik	7
3	Systemgrenzen und Sachbilanzen	9
3.1	Torf (Referenz)	9
3.2	Torfmoos aus Paludikultur	11
3.3	Kokosfasern	13
3.4	Holzfasern aus Reststoffen bzw. Kurzumtriebsholz	15
3.5	Miscanthus	17
3.6	Kompost	19
3.7	Sand	20
3.8	(Bläh)ton(granulat)	21
3.9	Biokohle	22
3.10	Ziegelsplitt	24
4	Wirkungsabschätzung	26
4.1	Global Warming Potential	26
4.2	Cumulative Energy Demand	28
5	Diskussion	30
6	Schlussfolgerung	31
7	Literaturverzeichnis	32
8	Anhang	34

1 Ziel und Umfang der Studie

Torf ist ein breit etablierter und quantitativ wichtiger Inhaltsstoff von Substratmischungen für den Gartenbau. Den guten gartenbaulichen Eigenschaften stehen allerdings ökologische Bedenken gegenüber. Torf entsteht in Mooregebieten, welche als Kohlenstoffsinken fungieren. Das bedeutet, dass Kohlendioxid (CO₂) über tausende Jahre aus der Atmosphäre gebunden und als Torf langfristig im Boden gespeichert wird. Beim Abbau von Torf sowie bei dessen Nutzung wird dieses CO₂ freigesetzt, wodurch Torfabbau und -nutzung einen relevanten Einfluss auf das Klima haben können (ähnlich wie bei der Verwendung fossiler Energieträger). Global betrachtet speichern Moore etwa doppelt so viel Kohlenstoff wie die gesamte Biomasse der Wälder (Global 2000 2023). In Österreich spielt der Torfabbau eine relativ geringe Rolle, jedoch werden jährlich mehr als 100.000 t Torf für den Gartenbau importiert (Statistik Austria 2023). Durch den Verzicht von Torfprodukten und die Umstellung auf Torfersatzstoffe im Gartenbau sollen Treibhausgas-Emissionen aus dem Abbau des Torfes, aber auch aus dessen gartenbaulicher Nutzung, reduziert und Mooregebiete bewahrt werden (BMLRT 2022).

Es gibt verschiedene organische und auch mineralische Materialien, die als Torfersatz verwendet werden können. Diese Torfersatzstoffe unterscheiden sich in den pflanzenbaulichen Eigenschaften und der Verfügbarkeit. Soll ein Umstieg auf Substitute erfolgen, ist jedoch ein wesentlicher Punkt, dass Umweltwirkungen auch tatsächlich reduziert und nicht verlagert werden.

In dieser Studie werden daher Ökobilanzen für die folgenden Substrate berechnet und verglichen:

<ul style="list-style-type: none"> • Torf • Torfmoos • Kokosfasern • Holzfasern aus Kurzumtriebsholz • Holzfasern aus Sägenebenprodukten • Miscanthus 	<ul style="list-style-type: none"> • Kompost • Sand • (Bläh)Ton(granulat) • Biokohle • Ziegelsplitt
---	--

Üblicherweise kommen diese als Substratkomponenten in Mischungen zum Einsatz. In der vorliegenden Studie werden allerdings keine Mischungen, sondern nur die einzelnen Komponenten betrachtet, daher wird durchgehend die Bezeichnung „Substrat“ verwendet.

Der Fokus liegt auf den Auswirkungen auf das Klima und dem Energieverbrauch, während andere Umweltauswirkungen diskutiert, aber nicht quantifiziert werden. Das Ziel dabei ist, das Reduktionspotenzial gegenüber Torf abzuschätzen.

2 Methodik

Die Ökobilanzierung wurde durch Anwendung des sogenannten Life Cycle Assessment (LCA, dt. Lebenszyklusanalyse) mit der Software OpenLCA 2.0 durchgeführt. Als Datenquellen wurden wissenschaftliche Publikationen, Forschungsberichte sowie die Datenbank Ecoinvent 3.9 („Allocation, cut-off by classification“) verwendet. In allen Fällen wurden die Transporte basierend auf eigenen Annahmen modelliert. Diese sind in den einzelnen Unterkapiteln der betrachteten Substrate (3.1 bis 3.10) erläutert. Die betrachteten Wirkungskategorien sind das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) in kg CO₂-eq¹ sowie der kumulierte Energieaufwand (Cumulative Energy Demand, CED²) in MJ. Die jeweils verwendeten Abschätzungsmethoden und Einheiten sind in Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1: Betrachtete Wirkungskategorien und verwendete Abschätzungsmethoden

Wirkungskategorie	Abkürzung	Einheit	Abschätzungsmethode
Treibhauspotenzial	GWP100	kg CO ₂ -eq	IPCC 2021
Kumulierter Energieaufwand	CED	MJ	Cumulative Energy Demand

Das GWP berechnet sich durch folgende Charakterisierungsfaktoren:

- 1 kg CO₂ biogen = 0 kg CO₂-eq
- 1 kg CO₂ fossil = 1 kg CO₂-eq
- 1 kg CH₄ = 29,8 kg CO₂-eq
- 1 kg N₂O = 273 kg CO₂-eq

Als funktionelle Einheit – also jene Einheit, auf die sich die potenziellen Umweltauswirkungen bzw. alle Input- und Outputströme beziehen – wurde 1 m³ Substrat am Ende des Lebenszyklus gewählt. Zu diesem Zeitpunkt gilt das Substrat als vollständig abgebaut. Dies trifft nicht auf alle Substrate in dieser Form zu, da auch inerte Materialien, wie z.B. Sand, betrachtet werden. Das heißt, hier gibt es keinen Abbau im Boden, aber eventuell Auswaschungen aus dem Substrat. In solchen Fällen endet der Lebenszyklus in einem Zustand, in dem keine Inhaltsstoffe mehr in den Boden, das Wasser oder die Luft geraten. Hier ist zu beachten, dass die Vergleichbarkeit zwischen den Substraten aus verschiedenen Gründen schwierig bzw. eingeschränkt ist: Zum einen werden die in diesem Bericht beschriebenen Substrate üblicherweise als Substratkomponenten in Mischungen eingesetzt. Jede dieser Komponenten erfüllt unterschiedliche Eigenschaften, die in Kombination als Substrat für den Gartenbau geeignet sind. Zum anderen haben die Komponenten eine große Schwankungsbreite in der Schüttdichte, somit fallen bei volumenbezogener Darstellung viel stärkere Auswirkungen auf die Komponenten mit hoher Dichte („schwere“ Substrate wie Ziegelbruch oder Sand). Daher werden GWP und CED zusätzlich mit Massebezug (kg CO₂-eq pro kg Substrat) angeführt.

¹ Maßeinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase

² Der Kumulierte Energieaufwand stellt den gesamten Primärenergieinput dar, der summiert über die einzelnen Prozessschritte entsteht.

Mischungen werden in dieser Studie nicht betrachtet. Durch die Darstellung der einzelnen Substratkomponenten kann jedoch anhand eines Mischungsverhältnisses eine vereinfachte Abschätzung vorgenommen werden. Dieser würde der Prozessschritt des Mischens fehlen. Dieser Schritt ist jedoch für diverse Mischungen ähnlich und kann somit für einen einfachen Vergleich vernachlässigt werden.

Der betrachtete Lebenszyklus beginnt bei der Gewinnung des Substrats und endet mit dem (vollständigen) Abbau im Boden (Ende der Nutzungsphase). Es wird von einer fiktiven Erdaufbereitungsanlage in Krems ausgegangen. Somit umfasst der Lebenszyklus die Gewinnung und/oder erforderliche Verarbeitungsschritte, eventuell Zwischentransporte, den Transport zur Erdaufbereitungsanlage und letztendlich die Nutzungsphase. Verpackung und Distribution der fertigen Substratmischungen werden hier vernachlässigt, da diese theoretisch dem Mischen angerechnet werden und somit für die einzelnen Substrate bzw. deren Vergleichbarkeit keine Relevanz haben. In der Darstellung der Ergebnisse wird in die Prozessschritte (1) Produktion (alle Produktionsschritte), (2) Transport (Summe der Transporte) und (3) Nutzung unterschieden.

Die Nutzungsphase wirkt sich lediglich auf die Wirkungskategorie GWP aus, da hier kein Energieeinsatz erfolgt. Für das GWP sind Emissionen in die Luft relevant, während sich Schwermetall Emissionen in den Boden bzw. Emissionen in das Wasser nicht auswirken. Diese wären z.B. für die Wirkungskategorien Human- oder Ökotoxizität relevant, die in der vorliegenden Studie nicht betrachtet werden. Im Anhang werden Informationen dazu als Zusatzinformation angeführt. Dabei ist zu beachten, dass es sich dabei um Literatur- bzw. Grenzwerte handelt, welche mit Vorsicht interpretiert werden müssen. Für jene Substrate, für welche detaillierte Informationen zum Abbau in wissenschaftlicher Literatur vorhanden sind, wurden diese für die Nutzungsphase verwendet. Bei allen bio-basierten Substraten wird wie in Quantis (2012) sowie Eymann et al. (2015) den Empfehlungen des IPCC entsprechend davon ausgegangen, dass 1,5% des gesamten Stickstoffs als N₂O-N emittiert werden, während CO₂ Emissionen keine Auswirkung auf das GWP haben, da diese biogenen Ursprungs sind. Für die Umrechnung auf die funktionelle Einheit wurden die in Tabelle 2 angeführten Schüttdichten verwendet.

Tabelle 2: Schüttdichte der betrachteten Substrate in kg pro Schüttraummeter (m³ geschüttetes Substrat)

Substrat	Schüttdichte [kg/m ³]	Quelle
Torf	200	Boldrin et al. (2010)
Torfmoos	45	Stucki et al. (2019)
Kokosfaser*	200	Eymann et al. (2015)
Holzfaser	130	Eymann et al. (2015)
Miscanthus	70	Fritz und Formowitz (2009)
Grünschnitt Kompost	680	Boldrin et al. (2010)
Sand	1.500	IVG (2014)
Blähton	350	IVG (2014)
Tongranulat	580	Seramis (2023)
Pflanzkohle	300	Bergamo und Strimitzer (2022)
Ziegelbruch	1.150	Sonnenerde (2022)

* feucht/aufgewässert

3 Systemgrenzen und Sachbilanzen

In den folgenden Unterkapiteln werden die Annahmen zu den einzelnen Substraten angeführt und die Sachbilanzen dargestellt. Weitere Informationen zu den einzelnen Substraten, wie Eigenschaften, Vor- und Nachteile sind im Bericht „Vorstudie zur Ökobilanzierung von Torfersatzstoffen“ (Sonnleitner et al. 2023) zu finden.

3.1 Torf (Referenz)

Torf wird als Referenz für die Torfersatzstoffe angeführt, um das Reduktionspotenzial der Klimawirkung sowie des Energieaufwands abschätzen zu können. Der Lebenszyklus beinhaltet die in Abbildung 1 dargestellten Schritte. Daten zu den Vorbereitungsarbeiten, dem Torfabbau sowie zur Nutzung basieren auf Boldrin et al. (2010).

Die Vorbereitungsarbeiten umfassen die Entwässerung des Torfmoores, die Entfernung der Vegetation sowie die Einebnung des Terrains. Dabei wurde Boldrin et al. (2010) zufolge die Differenz zwischen der Ausgangslage (unberührte Moorlandschaft) und der Situation des genutzten Torfmoores berechnet und dem Torf nur die durch den Abbau zusätzlich anfallenden Emissionen angerechnet.

Importdaten (Statistik Austria 2023) zufolge wurden die Transportdistanzen anteilig nach den wichtigsten Importländern (Deutschland, Tschechien, Lettland, Litauen, Estland, insgesamt rund 96%) berechnet (Abbildung 2). Die gemittelte Transportdistanz beträgt 891 km, es wird von einem Transport per LKW ausgegangen.

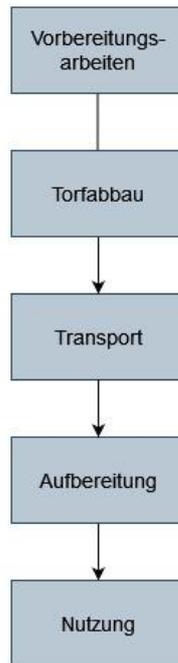


Abbildung 1: Lebenszyklus Torf (Eigene Darstellung)

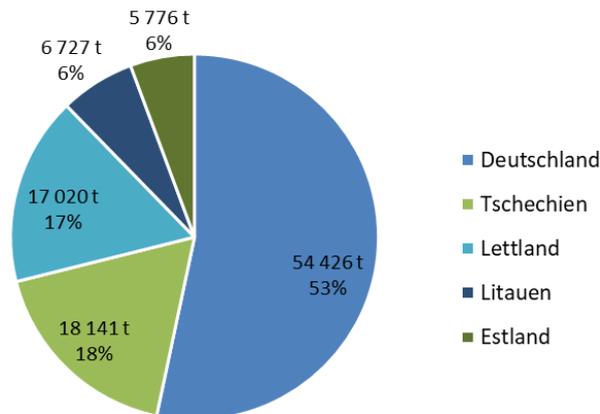


Abbildung 2: Österreichische Torf Importe der wichtigsten Importländer (Eigene Darstellung, Daten: Statistik Austria 2023)

In der Nutzungsphase wird davon ausgegangen, dass Torf innerhalb von 100 Jahren vollständig abgebaut und der gesamte Kohlenstoff freigesetzt wird, und zwar hauptsächlich als CO₂. Das emittierte CO₂ wird als fossiles CO₂ bilanziert, da der Kohlenstoff über tausende Jahre gebunden wurde und in Mooren langfristig gespeichert bleibt bzw. bleiben würde.

In Tabelle 3 sind die Input- und Outputströme der drei Prozessschritte Produktion, Transport und Nutzung mit den verwendeten Ecoinvent Datensätzen zur Modellierung in OpenLCA angeführt. Die Daten für Produktion und Nutzung stammen aus Boldrin et al. (2010) sowie Eymann et al. (2015).

Tabelle 3: Sachbilanz für Torf inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten
(Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang)

Produktion – Output: 1 kg Torf, am Abbauort			
<u>Inputs</u>			
Moor (Landnutzung)	0,123	m ² a	Occupation, mineral extraction site
Diesel	5,700	g	Diesel, low sulfur
Flüssiggas	2,100	g	Liquefied petroleum gas
Benzin	0,700	g	Petrol, low-sulfur
Heizöl leicht	0,020	g	Light fuel oil
Erdgas	0,004	g	Natural gas, from low pressure network (<0.1 bar), at service station
<u>Emissionen in die Luft</u>			
Methan	200,000	g	Methane
Lachgas	0,010	g	Dinitrogen monoxide
Kohlendioxid	142,000	g	Carbon dioxide, fossil
Kohlenmonoxid	0,200	g	Carbon monoxide, fossil
Stickoxide	0,500	g	Nitrogen oxides
Feinstaub	0,050	g	Particulates <2.5/>2.5, and < 10/>10 µm
Schwefeldioxid	0,040	g	Sulfur dioxide
<u>Emissionen ins Wasser</u>			
Phosphor	0,006	g	Phosphorous
Oxidierbare Stoffe	1,800	g	COD (Chemical Oxygen Demand)
Schwebstoffe	1,700	g	Suspended solids (unspecified)
Stickstoff	0,200	g	Nitrogen, total
Transport – Output: 1 kg Torf, in Erdaufbereitungsanlage			
Transport, LKW	0,9	tkm	Transport, freight, lorry, unspecified
Nutzung – Output: 1 kg Torf, abgebaut			
<u>Emissionen in die Luft</u>			
Kohlendioxid	815	g	Carbon dioxide, fossil

3.2 Torfmoos aus Paludikultur

Da in Österreich kaum potenzielle Moorgebiete für Paludikulturen³ vorhanden sind, wurde für diese Studie von einem Import aus Niedersachsen ausgegangen. Der Lebenszyklus beginnt mit den Vorbereitungsarbeiten für den Torfmoos Anbau.

³ Paludikultur bezeichnet die Nutzung nasser Moorstandorte zur Produktion geeigneter Pflanzenarten

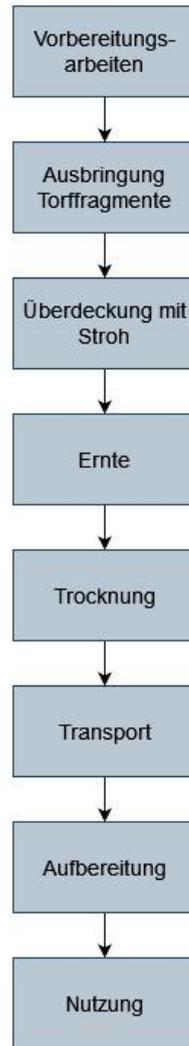


Abbildung 3: Lebenszyklus Torfmoos (Eigene Darstellung)

Daten für die Produktionsphase stammen aus Stucki et al. (2019). Der Transport wurde dem Import aus Niedersachsen entsprechend modelliert. Die Transportstrecke liegt bei rund 1.000 km, wobei davon ausgegangen wird, dass über 800 km ein Schienentransport und über 200 km ein Straßentransport per LKW erfolgt. Die Nutzungsphase wurde basierend auf Kempster et al. (2017) bzw. für Lachgas (N₂O) basierend auf Astolfi et al. (2023) bilanziert.

Tabelle 4: Sachbilanz für Torfmoos inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten
 (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang)

Produktion – Output: 1 kg Torfmoos, am Abbauort			
Inputs			
Landnutzung	3,10	m ²	Occupation, permanent crop
Wasser zur Bewässerung	4,00	l	Water, well, in ground
Aushub	0,99	m ³	Excavation, hydraulic digger
Stroh	0,07	kg	Straw, organic
Stroh ausbringen	0,05	kg	Solid manure loading and spreading, by hydraulic loader and spreader
Transport Bagger und Stroh	0,05	tkm	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO6
Ernte	9,90	m ²	Combine harvesting
Trocknung	2,76	l	Drying of grass
Emissionen in die Luft			
Methan	6,25	g	Methane
Lachgas	0,08	g	Dinitrogen monoxide
Transport – 1 kg Torfmoos, in Erdaufbereitungsanlage			
Transport, Schiene	0,80	tkm	Transport, freight, rail
Transport, Straße	0,20	tkm	Transport, freight, lorry, unspecified
Nutzung – 1kg Torfmoos, abgebaut*			
Lachgas	0,30	g	Dinitrogen monoxide

* biogenes CO₂ als 0 kg CO₂-eq gewertet

3.3 Kokosfasern

Es gibt verschiedene Kokosmaterialien, die als Substrat in Frage kommen, z.B. Kokosfaser, Kokosmark (Kokostorf) oder Kokoschips, welche sich nur in einzelnen Prozessschritten unterscheiden. In diesem Kapitel werden Kokosfasern als Beispiel für diese Substratgruppe betrachtet.

Mehr als 88% der weltweiten Kokosfaserproduktion erfolgt in Indien und Vietnam, der Rest verteilt sich auf Thailand, Sri Lanka, Ghana und Malaysia (FAO 2023). Österreich importiert Kokosnüsse hauptsächlich aus Thailand (Statistik Austria 2023), daher wurde auch für die Kokosfasern von einem Import aus Thailand ausgegangen.

Ausgangsmaterial für die Gewinnung der Kokosfasern ist die Faserschicht, welche eine Kokosnuss umgibt (Mesokarp). Dabei handelt es sich um ein dichtes Geflecht aus Kokosfasern und den Feinbestandteil zwischen den Fasern, den sogenannten Cocopeat bzw. Kokostorf. Die Kokosnüsse, die in der Lebensmittelindustrie verwendet werden, sind dabei das Hauptprodukt, während die Faserschicht ein Nebenprodukt ist. Aus diesem Grund wird hier anhand ökonomischer Allokation gerechnet, das heißt die Umweltauswirkungen werden dem ökonomischen Wert entsprechend aufgeteilt. Der Prozess inkl. Allokationsfaktoren ist in

Abbildung 4 dargestellt. Dementsprechend werden die Kokosnüsse nach Anbau und Ernte geschält. Hierbei fallen 7% der Auswirkungen auf die Faserhülle. Anschließend werden Fasern und Cocopeat getrennt, wobei 65% der Auswirkungen den Fasern zukommen. Für diesen Trennungsprozess wird das sogenannte Rösten betrachtet (Quantis 2012). Dabei handelt es sich um eine Faseraufschluss-Methode, bei der die Fasern mehrere Wochen bis Monate in Wasser aufgeweicht werden. Danach lassen sie sich einfach mechanisch vom Feinanteil trennen (Eymann et al. 2015). Dieser Prozess ist sehr zeitintensiv und bei Annahme der händischen Trennung arbeitsintensiv, benötigt aber außer Wasser keine Ressourcen. Die Fasern werden anschließend getrocknet und nach Österreich transportiert, wo sie erneut aufgewässert werden. Die in Tabelle 5 dargestellte Sachbilanz sowie die in Kapitel 4 dargestellten Umweltauswirkungen beziehen sich auf diesen aufgewässerten Zustand. Daten für die Nutzungsphase basieren auf Eymann et al. (2015).

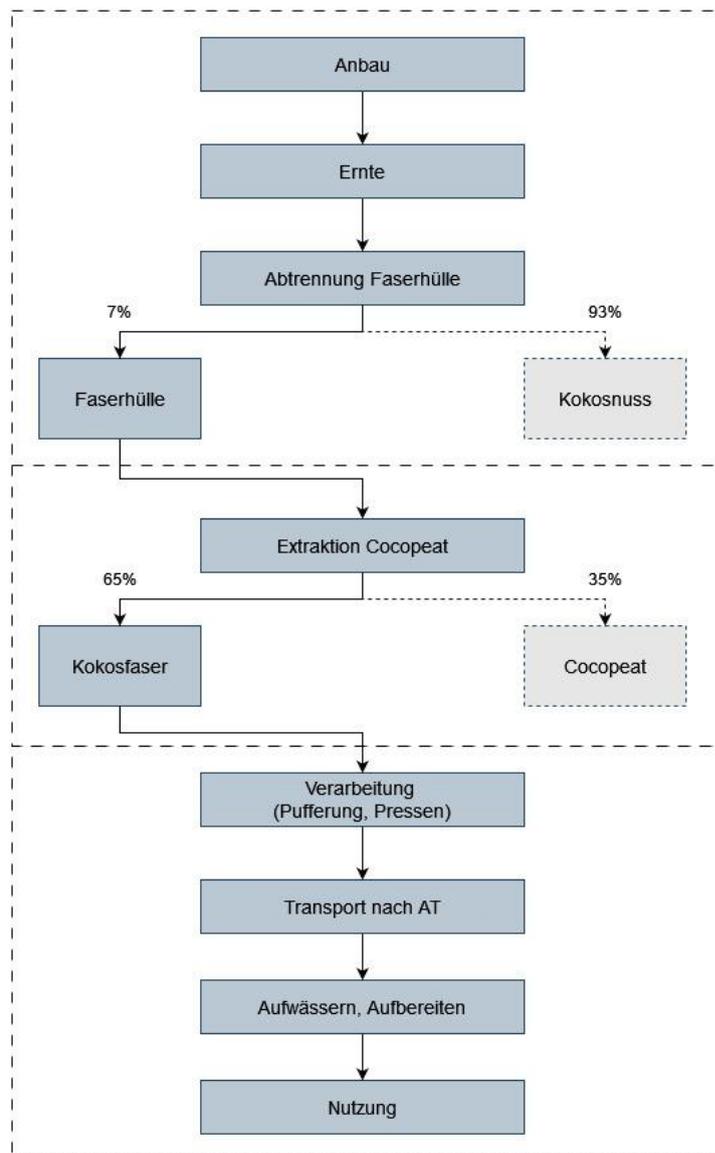


Abbildung 4: Lebenszyklus Kokosfaser inkl. ökonomischer Allokationsfaktoren (Eigene Darstellung)

Tabelle 5: Sachbilanz für Kokosfasern inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten
(Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang)

Produktion – Output: 1 kg Kokosfaser, im Produktionsland			
Inputs			
Kokosnuss Produktion**	3,7	kg	Coconut production, dehusked
Rotten (Faseraufschluss)***	1,7	kg	Fibre production, flax, retting
Wasser (Aufwässern in AT)	1,0	l	Tap water
Transport – 1 kg Kokosfaser, in Erdaufbereitungsanlage			
Transport, Schiff	14,0	tkm	Transport, freight, sea, container ship
Transport, Zug	1,0	tkm	Transport, freight train
Nutzung – 1 kg Kokosfaser, abgebaut*			
Lachgas	35,4	mg	Dinitrogen monoxide

* biogenes CO₂ als 0 kg CO₂-eq gewertet; ** 4,55% Allokation; *** 65% Allokation

3.4 Holzfasern aus Reststoffen bzw. Kurzumtriebsholz

Für die Produktion von Holzfasern wird ein rein mechanischer Faseraufschluss betrachtet. Dieser wird in Österreich derzeit von der Firma Ehrensberger⁴ in Tenneck (Salzburg) angewendet, weshalb diese als Referenz für die Berechnung der Transportdistanzen herangezogen wurde. Für die Faserproduktion wurde der Ecoinvent Prozess für die mechanische Zellstoffproduktion nach Hashemi et al. (2024) angepasst.

Für diesen Prozess werden zwei unterschiedliche Rohstoffe betrachtet (Überblick in Abbildung 5):

a) Hackgut aus Kurzumtrieb:

Da es in Österreich bisher keine relevanten Kurzumtriebsflächen gibt, wird von einem Import aus Tschechien ausgegangen.

b) Sägenebenprodukte (SNP):

Hierfür wurde das nächst gelegene Sägewerk als Referenz herangezogen, um die Transportdistanz zu berechnen. Die Umweltauswirkungen bis zum Anfall der SNP werden auf Basis einer ökonomischen Allokation zu 10% den SNP angerechnet, während die restlichen 90% auf das Schnittholz (Hauptprodukt) fallen (siehe Tabelle 6).

⁴ <https://www.ehrensberger-steine.at/>

Tabelle 6: Berechnung der Allokationsfaktoren von Schnittholz und Sägenebenprodukten (SNP)
(ökonomische Allokation auf Basis des Produktionswertes)

	1 m ³ Rundholz	
Produktion	Schnittholz 0,6 m ³	0,4 m ³ SNP
Preis (August 2023)	254 €/m ³	44 €/m ³
Produktionswert pro m ³ Rundholz	152 €	18 €
Allokationsfaktor	0,9	0,1

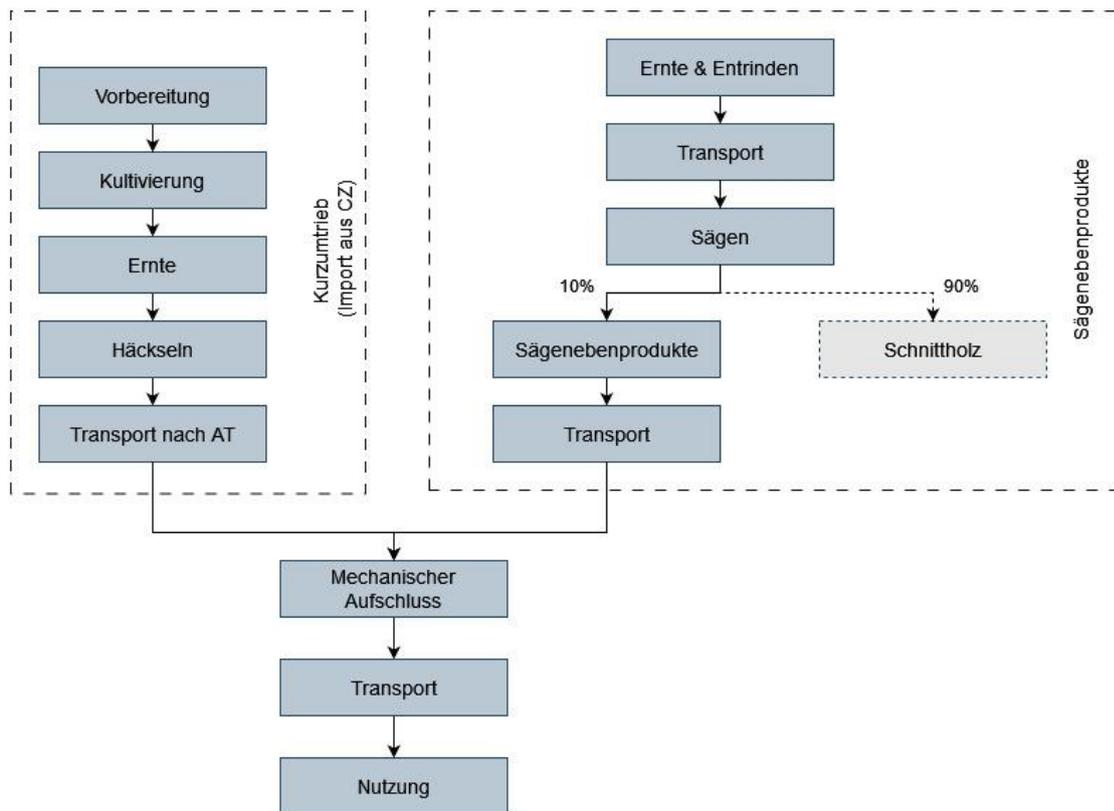


Abbildung 5: Lebenszyklus Holzfaser aus Kurzumtriebsholz bzw. Sägenebenprodukten (Eigene Darstellung)

Tabelle 7: Sachbilanz für Holzfasern aus Kurzumtriebsholz bzw. Sägenebenprodukten (SNP) inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang)

Rohstoff a – Output: 1 kg Hackgut aus Kurzumtrieb, am Produktionsort			
<u>Inputs</u>			
Weiden Stecklinge	0,0540	Stück	Willow stem cutting production, for planting
Ernte	0,0024	min	Harvesting/bundling, energy wood harvester
Schmieröl	0,0003	MJ	Market for lubricating oil
Diesel	0,0640	MJ	Market for diesel, burned in agricultural machinery
Dünger, konventionell	0,0020	kg	Market for NPK (26-15-15) fertiliser
Hacken	0,0042	min	Wood chipping, chipper, mobile, diesel, at forest road
Transport – 1 kg Hackgut aus Kurzumtrieb			
Transport, LKW	0,26	tkm	Transport, freight, lorry
Transport, Zug	0,13	tkm	Transport, freight train
Rohstoff b – Output: 1 kg Sägenebenprodukte (SNP)			
Sägerundholz Bereitstellung**	0,006	m ³	Softwood forestry, spruce, sustainable forest management sawlog and veneer log, softwood, measured as solid wood under bark
Sägewerk**	0,003	m ³	Sawing, softwood sawnwood, softwood, raw
Transporte – 1 kg SNP			
Transport Sägerundholz**	0,021	tkm	Transport, freight, lorry unspecified
Transport SNP	0,044	tkm	Transport, freight, lorry unspecified
Produktion – Output: 1 kg Holzfaser			
Hackgut bzw. SNP	1,250	kg	
Strom	0,030	kWh	Market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage - AT
Wärme	0,062	MJ	Heat, district or industrial, natural gas
	0,117	MJ	Heat, district or industrial, other than natural gas
Anlage	5E-11	Item	Pulp factory
Kühlwasser	0,005	m ³	Water, cooling, unspecified natural origin
Wasser	0,008	m ³	Water, unspecified natural origin
Transport – 1 kg Holzfaser, in Erdaufbereitungsanlage			
Transport, LKW	0,08	tkm	Transport, freight, lorry unspecified
Transport, Zug	0,20	tkm	Transport, freight train
Nutzung – Output: 1 kg Holzfaser, abgebaut*			
Lachgas	0,05	g	Dinitrogen monoxide

* biogenes CO₂ als 0 kg CO₂-eq gewertet; ** 10% Allokation

3.5 Miscanthus

Laut Grünem Bericht (BMLRT 2023) wurden im Jahr 2022 in Österreich knapp über 1.000 ha Miscanthus und Sudangras angebaut. Für diese Studie wird von einer Produktion in Niederösterreich ausgegangen, wobei die Transportdistanz vom Feld zur

Erdaufbereitungsanlage mit 20 km festgelegt wurde. Der Lebenszyklus ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Produktionsphase reicht dabei bis zum gehäckselten Miscanthus, welcher als Ausgangsstoff für Substrate betrachtet werden kann. Für die tatsächliche Verwendung schließt üblicherweise noch ein Fermentationsschritt an, welcher die Substrateigenschaften verbessert. Dieser wird in der vorliegenden Studie allerdings nicht berücksichtigt.

Die Sachbilanz für Miscanthus ist Tabelle 8 zu entnehmen. Die Produktion wurde anhand von Ecoinvent Hintergrund Daten modelliert, welche Anbau, Pflege, Ernte und das Häckseln beinhalten. Detailliertere Daten zur Nutzungsphase sind im Anhang zu finden. Diese basieren auf Fritz und Formowitz (2009) sowie Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (2010).

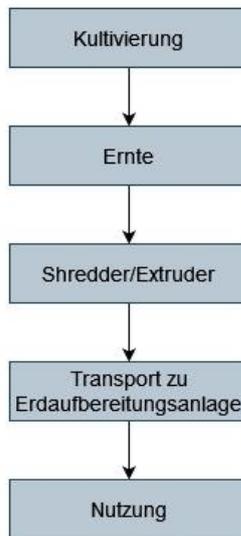


Abbildung 6: Lebenszyklus Miscanthus (Eigene Darstellung)

Tabelle 8: Sachbilanz für Miscanthus inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang)

Produktion – Output: 1 kg Miscanthus, gehäckselte, am Feld			
Inputs			
Miscanthus Produktion	1	kg	Miscanthus, chopped Miscanthus production
Transport – 1 kg Miscanthus, gehäckselte			
Transport, Traktor	0,02	tkm	Transport, tractor trailer
Nutzung – Output: 1 kg Miscanthus, abgebaut*			
Lachgas	0,1	mg	Dinitrogen monoxide

* biogenes CO₂ als 0 kg CO₂-eq gewertet

3.6 Kompost

Die Ökobilanzierung von Kompost bringt einige Herausforderungen mit sich. Zum einen gibt es eine Reihe unterschiedlicher Ausgangsstoffe, die kompostiert werden können, was einen großen Einfluss auf entstehende Emissionen haben kann. Zum anderen kann der Kompostierungsprozess an sich unterschiedlich ausgeführt sein. Je nach Betriebsweise können entstehende Emissionen stark variieren. In dieser Studie wird die Kompostierung von Grünschnitt in Form einer offenen Mietenkompostierung betrachtet. Da das Mähen einer Wiese nicht zum Zweck der Kompostierung geschieht, beginnt der Lebenszyklus beim Transport vom Grünschnitt zur Kompostierungsanlage (Abbildung 7). Der Kompostierungsprozess wurde anhand eines Berichts vom Umweltbundesamt (Lampert und Neubauer 2015) sowie Boldrin et al. (2010) modelliert. Daten zur Nutzungsphase stammen aus Boldrin et al. (2010). Jene Daten, die für die Berechnungen nicht relevant sind, sind im Anhang gelistet.

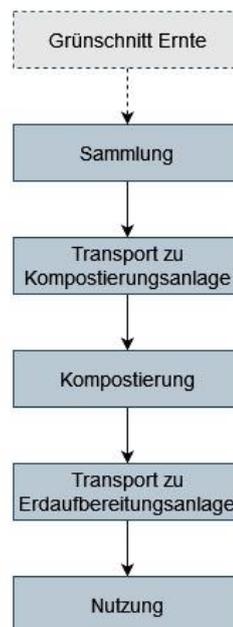


Abbildung 7: Lebenszyklus Grünschnitt Kompost (Eigene Darstellung)

Tabelle 9: Sachbilanz für Grünschnitt Kompost inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang)

Produktion – Output: 1 kg Kompost			
Inputs			
Grünschnitt	1,500	kg	
Diesel	0,140	MJ	Diesel, burned in agricultural machinery
Strom	0,005	kWh	Market for electricity, low voltage electricity, low voltage - AT
Emissionen in die Luft			
Methan	1,258	g	Methane, biogenic
Lachgas	0,107	g	Dinitrogen monoxide
Transporte			
Transport Grünschnitt, Traktor	0,01	tkm	Transport, tractor trailer
Transport Kompost	0,01	tkm	Transport, freight, lorry unspecified
Nutzung – Output: 1 kg Kompost, abgebaut*			
Lachgas	0,26	g	Dinitrogen monoxide

* biogenes CO₂ als 0 kg CO₂-eq gewertet

3.7 Sand

Bei Sand handelt es sich um einen relativ einfachen Lebenszyklus mit wenigen Prozessschritten (Abbildung 8). Dieser umfasst den Abbau, das Sieben sowie den Transport zur Erdaufbereitungsanlage. Hierfür wurden Hintergrunddaten aus Ecoinvent verwendet. Es wird von einem Abbau durch die Firma Rohrdorfer, Standort Grafenwörth, ausgegangen, woraus sich die Transportdistanz ergibt. Da Sand ein inertes Material ist, gibt es keine Emissionen aus der Nutzungsphase. Die Sachbilanz ist Tabelle 10 zu entnehmen.

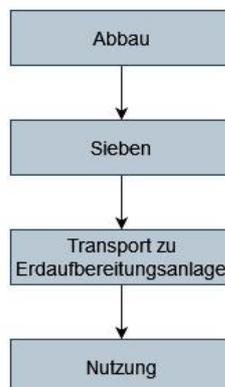


Abbildung 8: Lebenszyklus Sand (Eigene Darstellung)

Tabelle 10: Sachbilanz für Sand inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten

Sachbilanz 1 kg Sand		
Sand Abbau	1 kg	Gravel and sand quarry operation sand
Transport	0,001 tkm	Transport, freight, lorry unspecified

3.8 (Bläh)ton(granulat)

Es gibt verschiedene Substrate auf Basis von Ton, die sich im Wesentlichen in Korngröße, Geometrie und Dichte unterscheiden. In diesem Bericht werden Blähton und Tongranulat (undefinierter Korngröße) gegenübergestellt. Bei der Blähton Produktion handelt es sich um einen energieintensiven Prozess, bei dem Ton im Drehofen unter hohen Temperaturen gebläht wird. Für nicht geblähtes Tongranulat wird vereinfachter Weise der Prozessschritt des Blähens ausgeschlossen, während auch keine weitere Aufbereitung berücksichtigt wird. Der Lebenszyklus von (Bläh)ton ist in Abbildung 9 dargestellt.

Das einzige Blähtonwerk in Österreich gehört zur Liapor Gruppe⁵ und befindet sich in Fehring bei Graz. Dieser Standort wurde für die Berechnung der Transportdistanzen herangezogen. Der Transportweg vom Rohdon-Abbauort zum Werk ist dabei so gering, dass dieser vernachlässigt wird. Für die Produktion werden Hintergrunddaten aus Ecoinvent verwendet.

⁵ <https://www.liapor.com/at/unternehmen/kurzprofil.html>

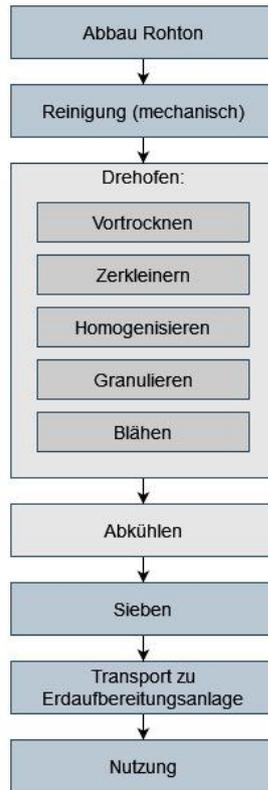


Abbildung 9: Lebenszyklus (Bläh)ton, Tongranulat ohne hellgrauen Bereich (Eigene Darstellung)

Tabelle 11: Sachbilanz für Bläh)ton inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang)

Sachbilanz 1 kg Bläh)ton			
Bläh)ton Produktion	1	kg	Expanded clay production expanded clay Cutoff, U
Transport	0,25	tkm	Transport, freight, lorry unspecified

3.9 Biokohle

Für die Biokohle Produktion mittels langsamer Pyrolyse wird von einem integrierten System ausgegangen, d.h. die hypothetische Pyrolyseanlage steht am Kompostierungsstandort, an den die Erdaufbereitungsanlage anschließt. Dabei wird der Siebüberlauf der Kompostierung pyrolysiert. Da es sich dabei um einen Reststoff handelt, ist dieser nicht mit Umweltauswirkungen belastet und der Lebenszyklus beginnt bei der Pyrolyse (Abbildung 10). Da es bei der Pyrolyse keinen einheitlichen Prozess, sondern viele technologische Möglichkeiten gibt, wird versucht hier einen Betrieb darzustellen, der repräsentativ für den derzeitigen Stand der Technik und den Betrieb in Europa ist. Hierfür wurden Factsheets europäischer Anlagen aus Klauser et al. (2023) verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass das entstehende Pyrolysegas zur Wärmebereitstellung verbrannt wird, sodass keine externe Wärmezufuhr notwendig ist. Zusatzinformationen aus dem Betrieb sind im Anhang zu finden und stammen vom GreenCarbon

Lab der BEST GmbH am Standort Wieselburg⁶. Der Anlagenbau wurde anteilig berücksichtigt, d.h. anhand einer Produktionskapazität von 70 kg/h und 7.500 Betriebsstunden pro Jahr mit einer Lebensdauer von 25 Jahren auf die funktionelle Einheit umgerechnet. In der Nutzungsphase der Biokohle entstehen keine Emissionen. Da Kohlenstoff in Biokohle langfristig gespeichert wird, wird diese häufig als Kohlenstoffsenke (negative Emissionen) bilanziert. Derzeit gibt es allerdings noch keine einheitliche Richtlinie, wie damit umzugehen ist, weshalb in dieser Studie keine Negativemissionen berücksichtigt werden.

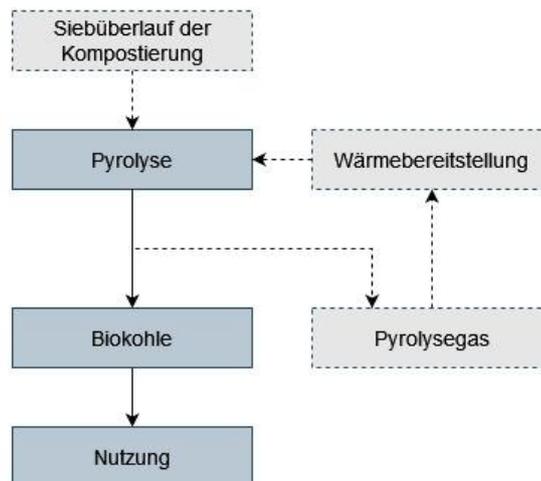


Abbildung 10: Lebenszyklus Biokohle (Eigene Darstellung)

Tabelle 12: Sachbilanz für Biokohle inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten (Zusatzinformationen zur Produktion im Anhang)

Produktion – Output: 1 kg Biokohle			
Inputs			
Sieüberlauf der Kompostierung	4,0	kg	
Strom	0,2	kWh	Market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage - AT
Wasser	0,4	l	Market for tap water
Stickstoff	8,4	g	Market for nitrogen, liquid
Propan (Hochfahren der Anlage)	0,2	g	Market for propane
Beton	134,0	g	Market for concrete, normal strength
Stahl	42,6	g	Steel production, electric, low-alloyed
Eisen	0,6	g	Market for cast iron cast iron
Aluminium	0,3	g	Market for aluminium, primary, ingot
Transport	17,7	g	Market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5
Abfall			
Abwasser	0,4	l	Wastewater, average

⁶ https://best-research.eu/content/de/infrastruktur/greencarbon_lab

3.10 Ziegelsplitt

Basis für die Modellierung von Ziegelsplitt ist die Recycling-Baustoffverordnung⁷. Darin ist vorgeschrieben, dass beim Rückbau eines Gebäudes die unterschiedlichen Baustoffklassen am Anfallsort getrennt werden müssen. Daher beginnt der Lebenszyklus bei der Sammlung bzw. dem Transport (Abbildung 11). Der Anfallsort gebrauchter Ziegel kann gemeinsam mit dem Aufbereitungsort variieren, weshalb es in diesem Fall keine konkrete Referenzsituation für die Festlegung der Transportdistanzen gibt. Daher wurden 70 km als durchschnittlicher Transportweg angenommen. Die Produktionsdaten (Aufbereitung) beruhen auf Klingler et al. (2019). In der Nutzungsphase entstehen keine Emissionen. Allerdings kann es zu Auswaschungen aus dem Ziegelsplitt kommen. Hierfür sind Grenzwerte laut Baustoff-Recyclingverordnung im Anhang angeführt (Qualitätsklasse U-A, höchste Qualität und Anforderungen).

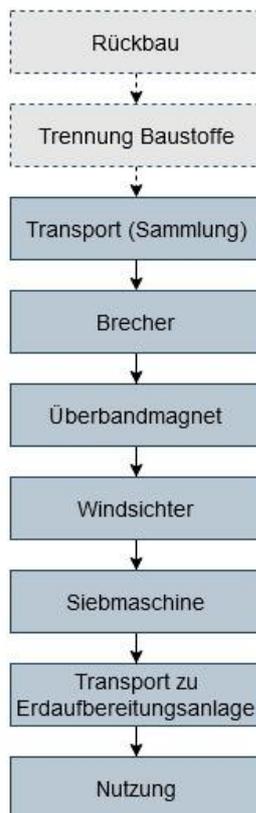


Abbildung 11: Lebenszyklus Ziegelsplitt (Eigene Darstellung)

⁷ Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen (Recycling-Baustoffverordnung – RBV) StF: [BGBl. II Nr. 181/2015](#)

Tabelle 13: Sachbilanz für Ziegelsplitt inkl. verwendeter Ecoinvent Datensätze für Hintergrunddaten
(Zusatzinformationen zur Nutzungsphase im Anhang)

Transport – Output: 1 kg Ziegel, in Aufbereitungsanlage			
Transport, LKW	0,07	tkm	Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average
Produktion/Brechen – Output: 1 kg Ziegelbruch			
<u>Inputs</u>			
Diesel	0,027	MJ	Diesel, burned in building machine, average
Strom	0,002	kWh	Market for electricity, medium voltage electricity, medium voltage - AT
Bagger	4,9*10 ⁻⁹	Item(s)	Hydraulic digger
Schmieröl	0,009	g	Market for lubricating oil
Sortieranlage	1*10 ⁻¹⁰	Item(s)	Market for sorting facility, for construction waste
<u>Abfall/Emissionen</u>			
Altöl	8,8*10 ⁻⁶	kg	Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration
Abwärme	0,039	MJ	Heat, waste

4 Wirkungsabschätzung

Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung zusammen und ist in die Kategorien Global Warming Potential (4.1) und Cumulative Energy Demand (4.2) gegliedert.

4.1 Global Warming Potential

In Abbildung 12 ist das Global Warming Potential (GWP) pro m³ Substrat zu sehen. Dabei ist zu erkennen, dass das größte GWP von **Torf** ausgeht. Das beruht auf den Auswirkungen der Nutzungsphase, in welcher der gespeicherte Kohlenstoff als fossil gewertetes CO₂ freigesetzt wird. Die Auswirkungen der **Blähton** Produktion werden durch die hohen Temperaturen erklärt, die im Prozess erforderlich sind. Diese werden durch Erdgas bereitgestellt, was sich deutlich im GWP niederschlägt. Wird **Tongranulat** ohne diesen Blähprozess verwendet, verringert sich das GWP gravierend. **Kompost** bedarf einer vorsichtigen Interpretation. Einerseits entstehen (Methan)Emissionen in der Kompostierung selbst, andererseits aber auch beim Abbau des Kompostes im Boden. Hier ist aber zu berücksichtigen, dass auch der Abbau des Grünschnitts ohne Kompostierung Emissionen verursachen würde, weshalb man mit diesem Referenzprozess vergleichen könnte. Derartige Gegenrechnungen sind allerdings mit großen Unsicherheiten verbunden, weshalb in dieser Studie darauf verzichtet wird. Daher ist die Nutzungsphase von Kompost schraffiert dargestellt. Das GWP von **Kokosfasern** wird hauptsächlich durch den langen Transportweg verursacht, während die Produktion selbst nur wenig Emissionen verursacht. Das beruht darauf, dass es sich hier um ein Nebenprodukt handelt, dem nur ein Teil der Auswirkungen von Anbau und Ernte zufällt. Die Auswirkungen des Transportes veranschaulichen den Vorteil der Nutzung regionaler Ressourcen. Bei der **Holzfasern** Produktion ist das GWP vergleichsweise gering, die Nutzung von SNP ist hier die Variante mit den geringeren Auswirkungen (Nebenprodukte, kürzere Transportwege). Das GWP der **Biokohle** Produktion wird zu mehr als 80% durch den Strominput verursacht. Die Energie des Pyrolysegases wird hier allerdings nicht vollständig genutzt. Würde ein Teil des Pyrolysegases verstromt werden, könnte zumindest ein Teil des Strombedarfs gedeckt werden, was das GWP senken würde. Beim **Ziegelsplitt** stammt der Großteil des GWP vom Transport, da es sich hier um ein relativ schweres Substrat handelt. Allerdings ist auch dieser Teil schraffiert dargestellt, da dieser Transport theoretisch der alternativen Situation gegenübergestellt werden könnte (Deponierung des Ziegels). Ein Transport muss hier also ohnehin erfolgen (siehe Recycling-Baustoffverordnung). Das GWP von **Torfmoos** pro m³ ist relativ gering, da das Substrat eine geringe Dichte hat. Bei **Sand** und **Miscanthus** sind die Prozessketten relativ simpel und erfordern nur geringen Ressourcen- und Energieinput, daher sind diese Substrate auch nur mit einem geringen GWP verbunden.

Im Vergleich dazu bezieht Abbildung 13 das GWP auf ein kg Substrat (Umrechnung mit Hilfe der Schüttdichten in Tabelle 2), wodurch sich das Gesamtbild etwas ändert. Wie zu erwarten, schneiden hier viele der leichten Substrate, wie z.B. Torfmoos, Kokosfaser oder Miscanthus, schlechter und die schweren Substrate, wie z.B. Tongranulat und Ziegelsplitt, besser ab.

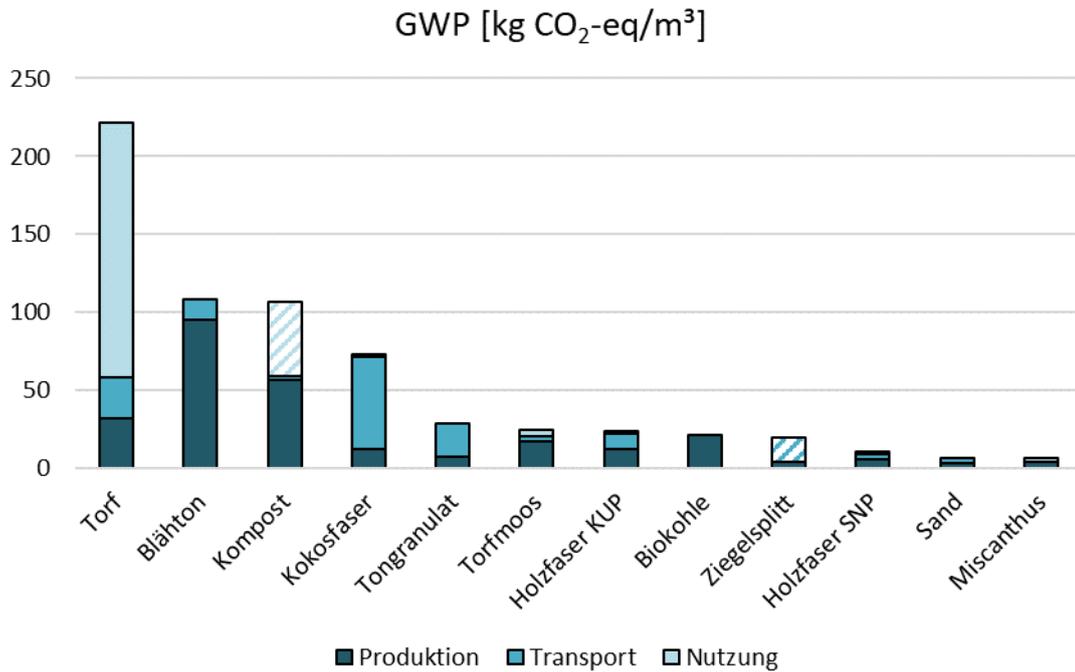


Abbildung 12: Global Warming Potential (GWP) der einzelnen Substrate in kg CO₂-Äquivalent pro m³ Substrat, unterteilt in Produktion, Transport und Nutzung. Schraffierte Bereiche verlangen Vorsicht in der Interpretation – siehe Erläuterungen im Text. (Eigene Darstellung)

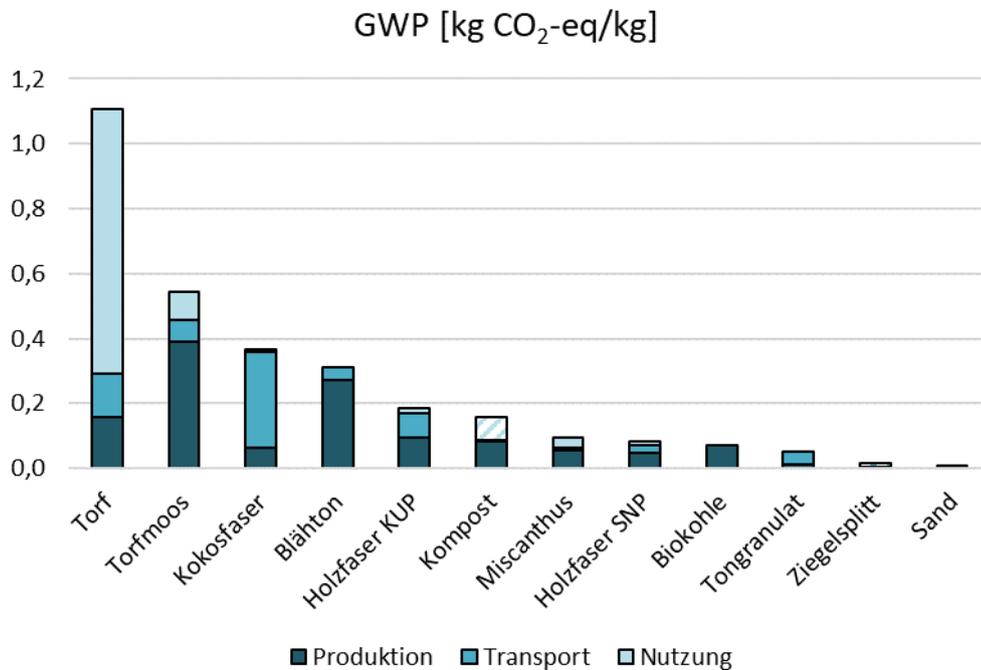


Abbildung 13: Global Warming Potential (GWP) der einzelnen Substrate in kg CO₂-Äquivalent pro kg Substrat, unterteilt in Produktion, Transport und Nutzung. Schraffierte Bereiche verlangen Vorsicht in der Interpretation – siehe Erläuterungen im Text. (Eigene Darstellung)

4.2 Cumulative Energy Demand

Der Kumulierte Energieaufwand ist in Abbildung 14 mit Bezug auf 1 m³ Substrat und in Abbildung 15 mit Bezug auf 1 kg Substrat dargestellt (äquivalent zu GWP in 4.1). Zu einem gewissen Grad spiegelt das die Ergebnisse des GWP wider, allerdings gibt es in der Nutzungsphase keinen Energieinput, sehr wohl aber Emissionen. **Blähton** erfordert den höchsten Energieaufwand, und zwar in der Produktion. Bei **Kokosfasern** erfolgt der Energieinput wiederum hauptsächlich im Transport, ebenso bei **Torf** (Importe, lange Transportwege). Während das GWP von Torf aufgrund der fossilen CO₂ Emissionen höher ist als bei anderen Substraten, trifft das nicht auf den Energieinput zu. Dieser ist für Blähton wesentlich höher, ebenso wie bei Kokosfasern. Der Energieinput der **Biokohle** beruht auch hier auf dem Strombedarf (siehe 4.1). Bei **Tongranulat** und **Ziegelsplitt** ist der Transport Hauptverursacher des Energieaufwandes, während die restlichen Substrate nur einen relativ geringen Energieinput erfordern.

In Abbildung 15 ergeben sich mit Massenbezug ähnliche Verschiebungen wie beim GWP in Kapitel 4.1. Wiederum schneiden hier die leichten Substrate tendenziell schlechter und die schweren besser ab. Dies ist wieder als Zusatzinformation für die Interpretation zu verstehen.

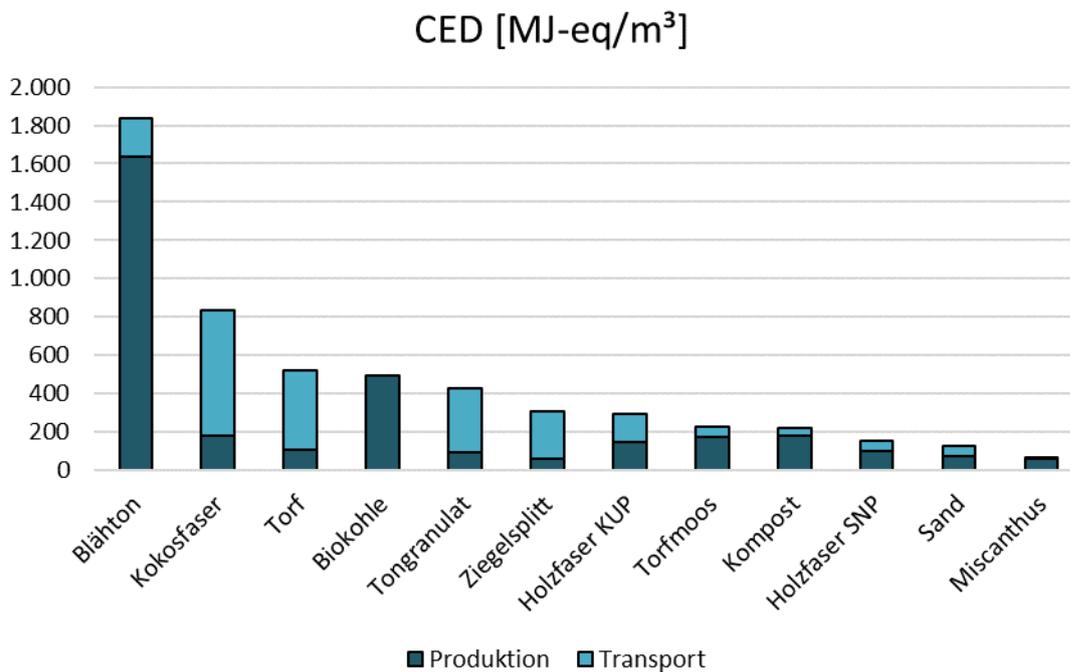


Abbildung 14: Cumulative Energy Demand (CED) der einzelnen Substrate in MJ Primärenergieinput pro m³ Substrat, unterteilt in Produktion und Transport (Eigene Darstellung)

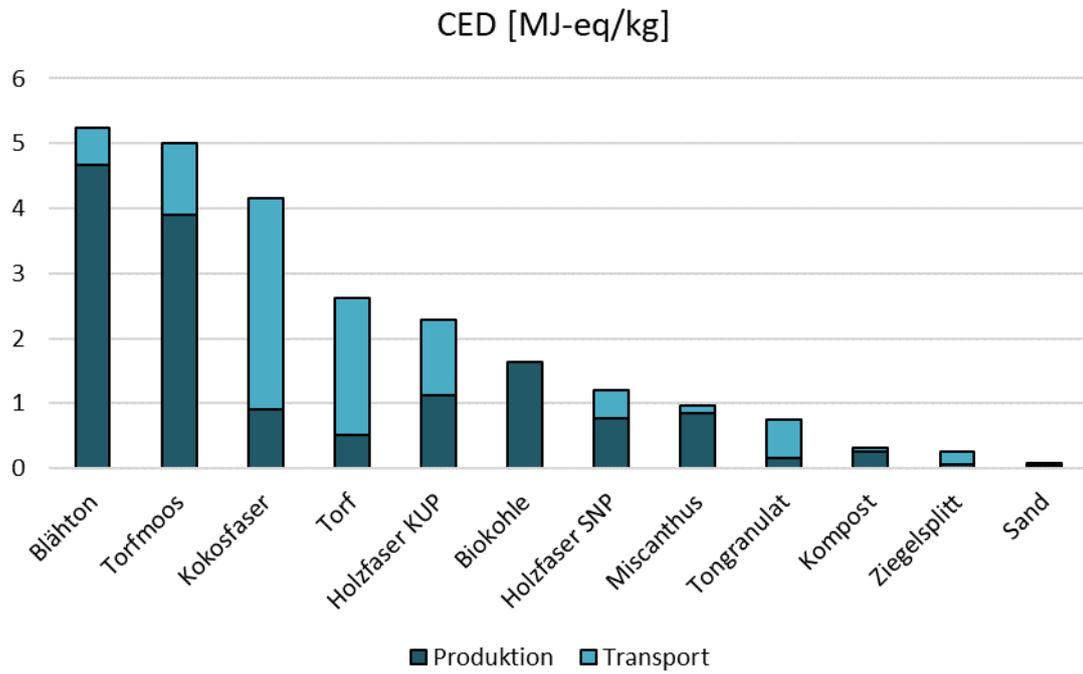


Abbildung 15: Cumulative Energy Demand (CED) der einzelnen Substrate in MJ Primärenergieinput pro kg Substrat, unterteilt in Produktion und Transport (Eigene Darstellung)

5 Diskussion

Im Rahmen dieser Studie wurden erstmals umfassend Ökobilanzen für Torfersatzstoffe in Österreich berechnet und verglichen. Die Ergebnisse geben einen Überblick über die ökologischen Auswirkungen entlang der Lebenszyklen der ausgewählten Substrate, die als Ausgangsstoffe für Substratmischungen verwendet werden können. Daraus können wichtige Aussagen abgeleitet werden, wobei bei der Interpretation einige Punkte zu berücksichtigen sind.

Der Fokus dieser Studie liegt am Global Warming Potential und dem Kumulierten Energieaufwand, da ein wesentlicher Nachteil des Torfabbaus in der CO₂-Freisetzung liegt. Ein großer Diskussionspunkt ist aber auch, dass der Abbau nachteilige Auswirkungen auf die Biodiversität im Ökosystem Moor hat. Dies ist allerdings schwer zu quantifizieren und zu vergleichen. Weiters kann der Einsatz von Substraten im Gartenbau Emissionen in Boden und Wasser verursachen (z.B. Stickstoff, Phosphor, Schwermetalle), welche sich in weiterer Folge auf Gewässer (Eutrophierung) sowie Tierwelt (Ökotoxizität), aber auch auf die menschliche Gesundheit (Humantoxizität) auswirken können. Aufgrund einer insgesamt schlechten Datenlage hierfür relevanter Sachbilanzen und dadurch möglicher Verzerrungen der Ergebnisse wurden solche Wirkungskategorien nicht betrachtet. Der Ansatz mit Grenzwerten zu rechnen, birgt ebenso die Gefahr, Auswirkungen zu überschätzen. Daher werden Zusatzinformationen diesbezüglich im Anhang angeführt und nicht in den Substratvergleich einbezogen. Bei einzelnen Substraten muss außerdem berücksichtigt werden, ob diese im Bio-Landbau zugelassen sind bzw. biologisch hergestellt wurden.

Im Kontext anderer Ökobilanzen von Torfersatzstoffen (z.B. Eymann et al. 2015, Stucki et al. 2019, Quantis 2012) bewegen sich die Ergebnisse der vorliegenden Studie in vergleichbaren Größenordnungen. Allerdings gibt es einige Unterschiede, die eine direkte Vergleichbarkeit erschweren. Diese betreffen Transportdistanzen, den nationalen Strommix, die Wärmebereitstellung und Annahmen zu Systemgrenzen. Außerdem werden teilweise unterschiedliche Wirkungsabschätzungsmethoden verwendet, deren Charakterisierungsfaktoren (z.B. Umrechnung von Methan und Lachgas auf CO₂-Äquivalente) zusätzlich laufend überarbeitet werden, weshalb auch das Publikationsjahr einer Studie zu berücksichtigen ist.

Die starken Unterschiede in der Schüttdichte der einzelnen Substrate erschweren eine direkte Vergleichbarkeit, wobei zusätzlich berücksichtigt werden muss, dass jedes Substrat in einer finalen Mischung und Verwendung andere Funktionen erfüllt (z.B. Struktur, Wasserspeicher, Nährstoffspeicher).

Bei Biokohle fehlt es noch an einer klaren Vorgabe, wie Kohlenstoffströme zu bilanzieren sind, was derzeit aber ein diskutierter Aspekt ist. Ein Ansatz hierfür wird z.B. in Buffi et al. (2024) erläutert. In dieser Studie wird der Fokus allerdings auf die Auswirkungen aus der Produktion gelegt, während die Kohlenstoffspeicher-Funktion vernachlässigt wird. Neben diesen Aspekten wurde in der vorliegenden Studie bestmöglich versucht, eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Substraten zu ermöglichen.

6 Schlussfolgerung

In dieser Ökobilanz von Torfersatzstoffen konnte gezeigt werden, dass die ausgewählten Substrate das Potenzial haben, Treibhausgasemissionen sowie den Energieverbrauch gegenüber Torf zu verringern. Wichtige Faktoren, die hierbei eine Rolle spielen, sind der Strom- und Wärmebedarf sowie Wärmequellen in der Produktion, aber auch Transportdistanzen. Transporte spielen vor allem bei importierten Substraten eine wesentliche Rolle.

In der Nutzungsphase zeigen alle betrachteten Substrate einen Vorteil gegenüber Torf, da diese entweder biogenen Ursprungs und daher rechnerisch nicht mit CO₂ Emissionen verbunden sind, oder es sich um inerte Materialien handelt, die keine Emissionen verursachen.

Um weitere Aspekte berücksichtigen zu können, bedarf es praktischer Versuche und Analysen der Materialien und letztendlich der Substratmischungen, um Auswaschungen in den Boden oder in das Grundwasser abschätzen zu können. Dabei kann es sich z.B. um Schwermetalle handeln, die sich sowohl auf Ökosysteme als auch die menschliche Gesundheit auswirken können. Eine Quantifizierung kann durch chemische Analysen und Abbauprobversuche erfolgen. Die derzeitige Datenlage ist allerdings stark Substrat-abhängig und insgesamt noch als eingeschränkt einzuschätzen.

7 Literaturverzeichnis

- Astolfi M.L., Massimi L., Rapa M., Plà R.R., Jasan R.C., Tudino M.B., Canepari S., Conti M.E. (2023): A multi-analytical approach to studying the chemical composition of typical carbon sink samples. *Scientific Reports* 13:7971. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35180-x>
- Bergamo A., Strimitzer L. (2022): Entwicklung und Potenzial von Biokohle. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).
- BMLRT (2022): Moorstrategie 2030+. <https://info.bml.gv.at/service/publikationen/wasser/moorstrategie-oesterreich-2030.html> (Zugriff am 27.08.2024)
- BMLRT (2023): Grüner Bericht 2023. <https://gruenerbericht.at/cm4/download/send/2-gr-bericht-terreich/2586-gb2023> (Zugriff am 27.08.2024)
- Boldrin A., Hartling K.R., Laugen M., Christensen T.H. (2010): Environmental inventory modelling of the use of compost and peat in growth media preparation. *Resources, Conservation and Recycling* 54: 1250–1260. 10.1016/j.resconrec.2010.04.003
- Buffi M., Hurtig O., Prussi M., Scarlat N., Chiamonti D. (2024): Energy and GHG emissions assessment for biochar-enhanced advanced biofuels value chains. *Energy Conversion and Management* 309: 118450. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118450>
- 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 ZHAW, Wädenswil.
- FAO (2023): FAOSTAT. Data. <https://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Fritz M., Formowitz B. (2009): Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff. Ergebnisse aus bayerischen Forschungsarbeiten. Berichte aus dem TFZ 18. Straubing, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe.
- Global 2000 (2023): Mooratlas. Daten und Fakten zu nassen Klimaschützern. https://www.global2000.at/sites/global/files/mooratlas2023_oesterreich_web_20230123.pdf (Zugriff am 27.08.2024)
- Hashemi F., Mogensen L., Smith A.M., Larsen U.S., Knudsen M.T. (2024): Greenhouse gas emissions from bio-based growing media: A life-cycle assessment. *Science of the Total Environment* 907: 167977. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167977>
- IVG (2014): Ausgangsstoffe. Industrieverband Garten. <https://substratbuch.ivg.org/substratbuch/ausgangsstoffe/mineralische-ausgangsstoffe/sand> (Zugriff am 27.08.2024)
- Kempton H., Krachler M., Shotyck W., Zacccone C. (2017): Major and trace elements in Sphagnum moss from four southern German bogs, and comparison with available moss monitoring data. *Ecological indicators* 78: 19-25.

- Klauser F., Schwarz M., Schwabl M., Wopienka E., Fuhrmann M., Dissauer C. (2024): Pyrolysetechnologien in Europa. Technologieübersicht mittelschneller Pyrolyse für dezentrale Anwendungen, für kleine und mittlere Unternehmen und für die Kreislaufwirtschaft. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 14/2024. Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).
- Klingler M., Savi D., Doka G. (2019): Harmonisierte Ökobilanzen der Entsorgung von Baustoffen – Für die Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich. Zürich: Büro für Umweltchemie.
- Lampert C., Neubauer C. (2015): Praxis grosser Kompostierungsanlagen und wesentliche Anforderungen an einen emissionsarmen Betrieb. Wien,: Umweltbundesamt.
- Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (2010): Chinaschilf (*Miscanthus x giganteus*) - Anbau, Verwertung und rechtliche Rahmenbedingungen.
- Recycling-Baustoffverordnung - RBV. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- oder Abbruch Tätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- oder Abbruch Tätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen. [BGBl. II Nr. 181/2015](#).
- Seramis (2023): Produkte. <https://www.seramis.com/produkte/granulate-substrate/pflanzgranulat-zimmerpflanzen/> (Zugriff am 27.08.2024)
- Sonnenerde (2022): Produktdatenblatt Ziegelsplitt 4-8 mm. https://www.sonnenerde.at/fileadmin/user_upload/Produkte/Datenblaetter/sonnenerde_datenblatt_ziegelsplitt_4-8_mm_v2022_02.pdf (Zugriff am 27.08.2024)
- Sonnleitner A., Fuhrmann M., Matschegg D., Strasser C. (2023): Vorstudie zur Ökobilanzierung von Torfersatzstoffen. BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH.
- 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 ZHAW, Wädenswil.
- Statistik Austria (2023): STATcube – Statistische Datenbank. <https://www.statistik.at/datenbanken/statcube-statistische-datenbank>
- Quantis (2012): Comparative life cycle assessment of horticultural growing media based on peat and other growing media constituents. Final Report. Quantis Switzerland, Lausanne.

8 Anhang

In den folgenden Tabellen sind Zusatzinformationen, hauptsächlich zur Nutzungsphase der einzelnen Substrate, gelistet, welche für die berechneten Wirkungskategorien keine Rolle spielen. Für die Berechnung anderer Kategorien, wie Eutrophierung, Öko- oder Humantoxizität kann die Datenqualität allerdings als zu gering eingeschätzt werden.

Tabelle A1: Sachbilanz der Nutzungsphase von Torf (nach Boldrin et al. 2010)

Nutzung – Output: 1 kg Torf, abgebaut		
<u>Emissionen in die Luft</u>		
Kohlendioxid	0,815	kg
<u>Emissionen ins Wasser</u>		
Nitrat	6e-6	kg
Chlorid	2E-5	kg
Calcium	6E-6	kg
Natrium	3E-5	kg
Magnesium	6E-6	kg
Sulfat	6E-6	kg
Aluminium	6E-7	kg
Eisen	7E-7	kg
Cadmium	4E-10	kg
Chrom	2E-9	kg
Kupfer	4E-9	kg
Quecksilber	6E-10	kg
Blei	7E-9	kg
Zink	1E-6	kg
Mangan	6E-8	kg
Arsen	7E-9	kg
Nickel	8E-9	kg
Molybden	1E-9	kg
Antimon	3E-10	kg
<u>Emissionen in den Boden</u>		
Cadmium	2E-8	kg
Chrom	2E-07	kg
Kupfer	2E-07	kg
Quecksilber	1E-08	kg
Nickel	9E-08	kg
Blei	1E-06	kg
Zink	4E-08	kg
Aluminium	0,0002	kg
Eisen	0,0001	kg
Mangan	2E-6	kg
Molybden	3E-8	kg
Arsen	1E-7	kg
Antimon	2E-8	kg

Tabelle A2: Sachbilanz der Nutzungsphase von Torfmoos (nach Astolfi et al. 2023, Kempster et al. 2017)

Nutzung – Output: 1 kg Torfmoos, abgebaut		
<u>Emissionen in die Luft</u>		
Lachgas	0,32051	g
<u>Emissionen in den Boden</u>		
Silber	0,056	mg
Aluminium	176,325	mg
Arsen	0,197	mg
Barium	9,98	mg
Cadmium	0,131	mg
Cobalt	0,083	mg
Chrom	0,835	mg
Kupfer	4,72	mg
Eisen	203,325	mg
Mangan	62,875	mg
Molybden	0,35	mg
Blei	3,08	mg
Rubidium	18,025	mg
Antimon	0,23	mg
Scandium	0,036	mg
Strontium	3,858	mg
Titan	15,375	mg
Thallium	0,077	mg
Uran	0,014	mg
Vanadium	0,96	mg
Zink	46,6	mg

Tabelle A3: Sachbilanz der Nutzungsphase von Kokosfaser (nach Eymann et al. 2015)

Nutzung – Output: 1 kg Kokosfaser, abgebaut		
<u>Emissionen in die Luft</u>		
Lachgas	35,4	mg
<u>Emissionen in den Boden</u>		
Cadmium	0,077	mg
Kupfer	0,805	mg
Blei	0,293	mg
Zink	6,33	mg

Tabelle A4: Sachbilanz der Nutzungsphase von Holzfasern (nach Hashemi et al. 2024, Eymann et al. 2015)

Nutzung – Output: 1 kg Holzfaser, abgebaut		
<u>Emissionen in die Luft</u>		
Lachgas	0,05	g
<u>Emissionen in den Boden</u>		
Kupfer	1,2	mg
Blei	1,2	mg
Zink	8,8	mg

Tabelle A5: Sachbilanz der Nutzungsphase von Miscanthus (nach Fritz und Formowitz 2009, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg 2010)

Nutzung – Output: 1 kg Miscanthus, abgebaut		
<u>Emissionen in die Luft</u>		
Lachgas	0,113	g
<u>Emissionen in den Boden</u>		
Blei	0,67	mg
Cadmium	0,1	mg
Chrom	0,34	mg
Kupfer	1,2	mg
Nickel	0,67	mg
Quecksilber	0,03	mg
Zink	10	mg

Tabelle A6: Sachbilanz der Nutzungsphase von Kompost (nach Boldrin et al. 2010)

Nutzung – Output: 1 kg Kompost, abgebaut		
<u>Emissionen in die Luft</u>		
Lachgas	0,26	g
Ammoniak	0,014	g
<u>Emissionen ins Wasser</u>		
Nitrat	23	mg
Kalium	2,8	g
Chlorid	1,1	g
Calcium	0,38	g
Natrium	0,28	g
Magnesium	0,09	g
Sulphat	0,07	g
Aluminium	19	mg
Eisen	18	mg
Zink	3,1	mg
Mangan	2,8	mg
NVOC	1,5	mg
Arsen	0,41	mg
Kupfer	0,4	mg
Blei	0,19	mg
Nickel	0,11	mg
Molybden	0,1	mg
Chrom	0,02	mg
Antimon	0,02	mg
Cadmium	0,0004	mg
Quecksilber	0,0002	mg
<u>Emissionen in den Boden</u>		
Aluminium	16	g
Eisen	8,3	g
Mangan	213	mg
Zink	96	mg
Kupfer	23	mg
Blei	22	mg
Chrom	18	mg
Nickel	4,5	mg
Molybden	2,6	mg
Arsen	2	mg
Cadmium	0,24	mg
Quecksilber	0,09	mg
Antimon	0,03	mg

Tabelle A7: Sachbilanz der Nutzungsphase von Blähton – Grenzwerte für Deutschland
(Gütebestimmungen für Blähton als Kultursubstrat (RAL-GZ 250/4))

Nutzung – Output: 1 kg Blähton, Grenzwerte		
Emissionen in den Boden		
Arsen	< 40	mg
Blei	<150	mg
Cadmium	<1,5	mg
Chrom	<300	mg
Nickel	<80	mg
Quecksilber	<1	mg
Thallium	<1	mg

Tabelle A8: Emissionen aus der Produktion von Biokohle (Abgasmessung Mittelwerte, GreenCarbon Lab
Wieselburg, BEST GmbH 2023)

Produktion Biokohle - Abgasmessung		
Emissionen in die Luft		
CO	34	mg/m ³
NOx	148	mg/m ³
Ges. C	≤ 3	mg/m ³
Staub	11	mg/m ³
Ammoniak	0,29	mg/m ³
Benzol	< 5,6	µg/m ³
Benzo(a)pyren	< 3,3	µg/m ³
Geruchsstoffkonzentration	137	GE _E /m ³
Formaldehyd	0,29	mg/m ³

Tabelle A9: Sachbilanz der Nutzungsphase von Ziegelsplitt (nach Anhang 2, Tabelle 1 Recycling-Baustoffverordnung)

Nutzung – Output: 1 kg Ziegelsplitt, Grenzwerte		
<u>Emissionen ins Wasser (Eluat)</u>		
Chrom ges.	0,60	mg
Cobalt	1,0	mg
Kupfer	1,0	mg
Molybdän	0,50	mg
Nickel	0,40	mg
Ammonium-N	4,0	mg
Chlorid	800	mg
Fluorid	10	mg
Nitrit-N	2,0	mg
Sulfat	2.500	mg
TOC	100	mg
<u>Emissionen in den Boden</u>		
Arsen	50/200	mg
Blei	150/500	mg
Cadmium	2,0/4,0	mg
Chrom ges.	300/700	mg
Cobalt	50	mg
Kupfer	100/500	mg
Nickel	100	mg
Quecksilber	1,0/2,0	mg
Zink	500/1.000	mg
TOC	30.000	mg
∑16PAK (EPA)	12,0	mg
Benzo(a)pyren	1,2	mg