

Vergleich vorgelagerter Umweltwirkungen bei Gründachsubstraten mit Ersatzbaustoffen

Der zunehmende Bau von Gründächern erfordert große Mengen an Substraten, deren ökologische Bewertung für eine nachhaltige Stadtentwicklung entscheidend ist. Vorgestellt werden Ergebnisse einer Untersuchung der Umweltwirkungen von mineralischen Ersatzbaustoffen in Gründachsubstraten im Vergleich zu Primärrohstoffen. Hinweise für Planung, Forschung und Praxis werden gegeben, das Potenzial dieser Stoffe zur Ressourcenschonung wird sichtbar. Folgerungen für die Entwicklung und Anwendung von Gründachsubstraten werden abgeleitet.

Petra Schneider, Jonas Kannengießer, Conrad Dorer, Gina Wilhelm und Alexander Marx

Die zunehmende Bedeutung von Gründächern im Kontext der Klimaanpassung und nachhaltigen Stadtentwicklung rückt auch alternative Substrate stärker in den Fokus. Dachbegrünungen leisten einen wichtigen Beitrag zur Regenwasserrückhaltung, zur Minderung städtischer Wärmeinseln sowie zur Förderung der Biodiversität [1]. Gleichzeitig erfordert ihre großflächige Umsetzung erhebliche Mengen an Substraten, deren Herstellung und Zusammensetzung aus ökologischer Sicht kritisch zu betrachten sind. Daher gewinnen mineralische Ersatzbaustoffe (MEB) als Substratkomponenten zunehmend an Relevanz. Klassische Gründachsubstrate sind in der Regel mineralisch dominierte Leichtsubstrate. Sie bestehen überwiegend aus Lava, Bims, Blähton, Blähschiefer, Sand oder Ziegelsplitt und enthalten ergänzend einen Anteil organischer Substanz. Dieser stammt vor allem aus Kompost, zum Teil auch aus Torf, Kokosfaser sowie zersetzter Rinde oder Sägemehl [2], [3]. Extensivsubstrate sind zumeist mineralisch und nährstoffarm aufgebaut, da extensive Dachbegrünungen als leichte, strukturstabile und pflegearme Systeme für an Trockenheit und Nährstoffarmut angepasste Vegetation konzipiert sind. Intensivsubstrate können demgegenüber einen höheren Anteil organischer Substanz aufweisen. Durch ihre größere Substratmächtigkeit wird zudem ein höheres Wasserspeichervermögen ermöglicht [4].

/ Kompakt /

- Der stetige Zubau an Gründächern unterstreicht die Bedeutung, Gründachsubstrate künftig ressourcen- und umweltschonender zu gestalten.
- Mineralische Ersatzbaustoffe zeigen ökobilanziell geringere Umweltwirkungen gegenüber Primärrohstoffen und sind daher als ressourcenschonend zu bewerten.
- Materialwahl, Herstellungsprozess und Logistik sind integrativ zu betrachten und entscheidend für ökologische Vorteilhaftigkeit.

Alternative Materialien wie Recycling-Baustoffe oder industrielle Nebenprodukte wie Schlacken bieten das Potenzial, Primärrohstoffe für urbane grüne Infrastruktur zu schonen und Stoffkreisläufe im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zu schließen. Ihr Einsatz in Gründachsubstraten kann somit einen wichtigen Beitrag zur Ressourceneffizienz leisten und die Umweltwirkungen von Bau- und Begrünungsmaßnahmen insgesamt reduzieren. Substrate aus Ziegelbruch finden in der Praxis des Gründachbaues seit vielen Jahren Anwendung [5], wobei das Material oft aber nicht aus Abbruchmaterialien gewonnen wird. Laut dem aktuellen BuGG-Marktbericht [6] gibt es in Deutschland derzeit einen Bestand von mindestens 170 bis 200 Mio. m² Gründachflächen, wobei Extensiv-, Intensiv- und Tiefgaragenbegrünungen berücksichtigt sind; zugleich sind zwischen 2020 und 2024 jährlich zwischen 7,8 und 10,2 Mio. m² neue Dachbegrünungsflächen hinzugekommen. Bei einer angenommenen mittleren Substratschicht von 10 cm entspricht dieser jährliche Zubau bereits einem zusätzlichen Bedarf von rund 800.000 – 1.000.000 m³ Neusubstrat pro Jahr, was die Relevanz unterstreicht, Gründachsubstrate künftig ressourcen- und umweltschonender zu gestalten.

Gleichzeitig sind mit der Verwendung von MEB spezifische Herausforderungen verbunden. Neben technischen Anforderungen, beispielsweise hinsichtlich Tragfähigkeit, Wasserspeichervermögen und Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen, rücken insbesondere mögliche Umweltwirkungen in den Fokus. Dazu zählen potenzielle Stoffausträge, Auswirkungen auf Boden- und Wasserqualität sowie Fragen der Langzeitstabilität und Schadstoffmobilität. Obwohl mineralische Recycling- und Nebenprodukte für Gründachsubstrate bereits vielfach hinsichtlich ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften sowie teilweise auch hinsichtlich potenzieller Stoffausträge untersucht wurden [7], [8], besteht weiterhin Forschungsbedarf an integrierten Bewertungsansätzen, die die Ökobilanzierung mit Auslaugungs-, Vegetations-, Wasserhaushalts- und Langzeit-Felduntersuchungen verbinden, um sowohl die ökologischen Vorteile als auch die funktionale Eignung solcher Substratmischungen unter realen Anwendungsbedingungen belastbar zu bewerten.

Ökobilanzen zu Gründächern als Gesamtkonstrukt wurden bereits häufiger erstellt. Dabei weist unter anderem ein aktuelles

Tabelle 1: Details der Substratmischungen als Basis für die Ökobilanzierung

Lysimeter-Nr.	Substrat-komponenten	Ab-kürzung	Transportwege (geschätzt)	Schüttdichte in kg/L	Volumen-verhältnis der MEB	Volumen in L (für 100 L Substratgemisch)	Masse in kg (für ein 100 L Substratgemisch)
L1	Blähton gespalten						36
	Organisches Material						24
L2	Referenzsubstrat ges.	Ref	Nationaler Anbieter (ca. 650 km)	0,60		100	60
	Porenbeton	PB	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,53	3	56,5	29,9
	Kesselsand	KS	Nationaler Anbieter (ca. 150 km)	0,82	1	18,5	15,2
L3	Grünschnittkompost	K	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,41		25,0	10,3
	Porenbeton	PB	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,53	1	37,3	19,8
	Ziegelbruch	ZB	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	1,38	1	37,3	51,4
	Grünschnittkompost	K	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,41		12,7	5,2
	Pyrolysematerial	PM	Regionaler Anbieter (ca. 30 km)	0,56		12,7	7,1
L4	Porenbeton	PM	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,53	1	37,6	19,9
	Ziegelbruch	ZB	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	1,38	1	37,6	51,9
	Grünschnittkompost	K	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,41		24,8	10,2
L5	Porenbeton	PB	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,53	1	25,0	13,3
	Leichtbeton	LB	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,87	1	25,0	21,8
	Kalksandstein	KSS	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	1,12	1	25,0	28,0
	Grünschnittkompost	K	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,41		25,0	10,3
L6	Porenbeton	PB	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,53	9	67,4	35,7
	LiDonitschlacke	LD	Nationaler Anbieter (ca. 415 km)	1,81	1	7,4	13,3
	Grünschnittkompost	K	Lokaler Anbieter (ca. 30 km)	0,41		25,3	10,4

Quelle: Petra Schneider et al.

Review darauf hin, dass der Einsatz von Nebenprodukten sowie rezyklierter und lokaler Materialien in Gründächern die Umweltwirkungen deutlich verbessern kann [9]. Chenani et al. zeigten in ihrer Ökobilanzierungsstudie, dass die Wasserretentions-, Drainage- und Substratschicht die umweltrelevantesten Komponenten enthalten [10]. Konkret wurden Gründachsubstrate bislang jedoch nur punktuell hinsichtlich ihrer Ökobilanz verglichen: Tams et al. stellten beispielsweise ein Gründachsystem mit konventionellem Substrat aus Blähton, Bims und Kompost einem alternativen System mit Substrat aus recycelten Ziegeln und Kompost gegenüber und zeigten für das Ziegelsubstrat eine Reduktion des Treibhauspotenzials um 50 % [11].

Ziel dieses Beitrags ist es, anhand der Ökobilanzierung relevante Umweltwirkungen verschiedener Gründachsubstrate mit MEB zu diskutieren und Kriterien für ihren nachhaltigen Einsatz abzuleiten, um eine fundierte Grundlage für Planung und Praxis zu schaffen.

Methodische Vorgehensweise

Die Ökobilanz (auch Lebenszyklusanalyse, Life Cycle Assessment) ist ein geeignetes Instrument, um die potenziellen Umweltauswirkungen von Gründächern während ihres gesamten Lebenszyklus zu untersuchen. Die Ermittlung erfolgt gemäß den Anforderungen in DIN 14040/14044. Eine Ökobilanz wird in vier Phasen durchgeführt: (1) Ziel- und Umfangsdefinition: Randbedingungen, funktionelle Einheit und Einschränkungen; (2) Sachbilanzanalyse: Datenerhebung aller Prozess-, Stoff- und Energieströme, also Inputs und Outputs; (3) Wirkungsabschätzung: Bedeutung der Auswirkungen

und Zusammenhang mit den Kategorien der Umweltauswirkungen, und (4) Auswertung: Ergebnisse und Empfehlungen für Entscheidungsträger.

Zur Bewertung der Umweltauswirkungen können verschiedene Methoden und Datenbanken verwendet werden, die normalerweise in Computerprogrammen verfügbar sind, um die Entwicklung einer Ökobilanz zu erleichtern. Hierfür wurden die Wirkungsindikatoren automatisiert mit Hilfe von SimaPro 9.2.0.2 und der Datenbank ecoinvent 3.6 ermittelt. Als Berechnungsgrundlage diente das Charakterisierungsmodell ILCD 2011 Midpoint+, das für den europäischen Kontext entwickelt wurde. Für die Ergebnisdarstellung wurde in SimaPro das Normalisierungs- und Gewichtungssset „EC-JRC Global, equal weighting“ verwendet. Die in der Sachbilanz dargestellten Energie- und Stoffströme werden dabei den entsprechenden Wirkungskategorien zugeordnet (Klassifizierung). Im Schritt der Charakterisierung werden die den Wirkungskategorien zugeordneten Stoff- und Energieströme mithilfe spezifischer Charakterisierungsfaktoren in die jeweilige Referenzeinheit der Wirkungskategorie überführt. Anschließend werden die Ergebnisse normalisiert und gewichtet, sodass sie als vergleichbare Punktwerte dargestellt und zu einem Gesamtergebnis in der Einheit Millipoints (mPt) aggregiert werden können.

Folgende Wirkungskategorien wurden berücksichtigt: Klimaänderung, Ressourcenverbrauch, Wasserverbrauch, stratosphärischer Ozonabbau, photochemische Oxidantienbildung, Feinstaubbildung, Versauerung, Eutrophierung, Humantoxizität und Ökotoxizität. Die Angabe in mPt dient somit dazu, verschiedene Umweltwirkungen – z. B. Klimawandel, Eutrophierung und Toxizitätswirkungen – in einer einzigen Kennzahl darzustellen.

Datengrundlage und Szenarien

Die Ökobilanzierung erfolgte für die MEB-Mischungen, welche als Gründachsubstrat in einem Langzeitversuch auf dem Dach der Mensa der Hochschule Magdeburg-Stendal im Projekt Recycle-BIONET errichtet wurden [12] und seit 2023 untersucht werden. Für die Umsetzung der Reallabore und die Auswahl der Substratmischungen wurden vorab Materialtests im bodenmechanischen Labor der Hochschule Magdeburg-Stendal durchgeführt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden Langzeitversuche mit folgenden Substraten (MEB-Mischungen) in sechs Lysimetern durchgeführt:

- Lysimeter 1: Referenz Extensivsubstrat aus Blähton (Referenzsubstrat),
- Lysimeter 2: Kesselsand (KS), Porenbeton (PB) (Verhältnis 1:3) + 25 % Kompost (PB KS),
- Lysimeter 3: Ziegelbruch (ZB), Porenbeton (PB) (Verhältnis: 1:1) + 12,5 % Kompost + 12,5 % Pyrolysematerial (PM) (Pflanzkohle aus Klärschlamm) (ZB PB PM),
- Lysimeter 4: Ziegelbruch (ZB), Porenbeton (PB) (Verhältnis: 1:1) + 25 % Kompost (ZB PB),
- Lysimeter 5: Porenbeton (PB), Leichtbeton (LB), Kalksandstein (KSS) (Verhältnis: 1:1:1) + 25 % Kompost (PB LB KSS),
- Lysimeter 6: LiDonit LD-Schlacke (LD), Porenbeton (PB) (Verhältnis: 1:9) + 25 % Kompost (LD PB).

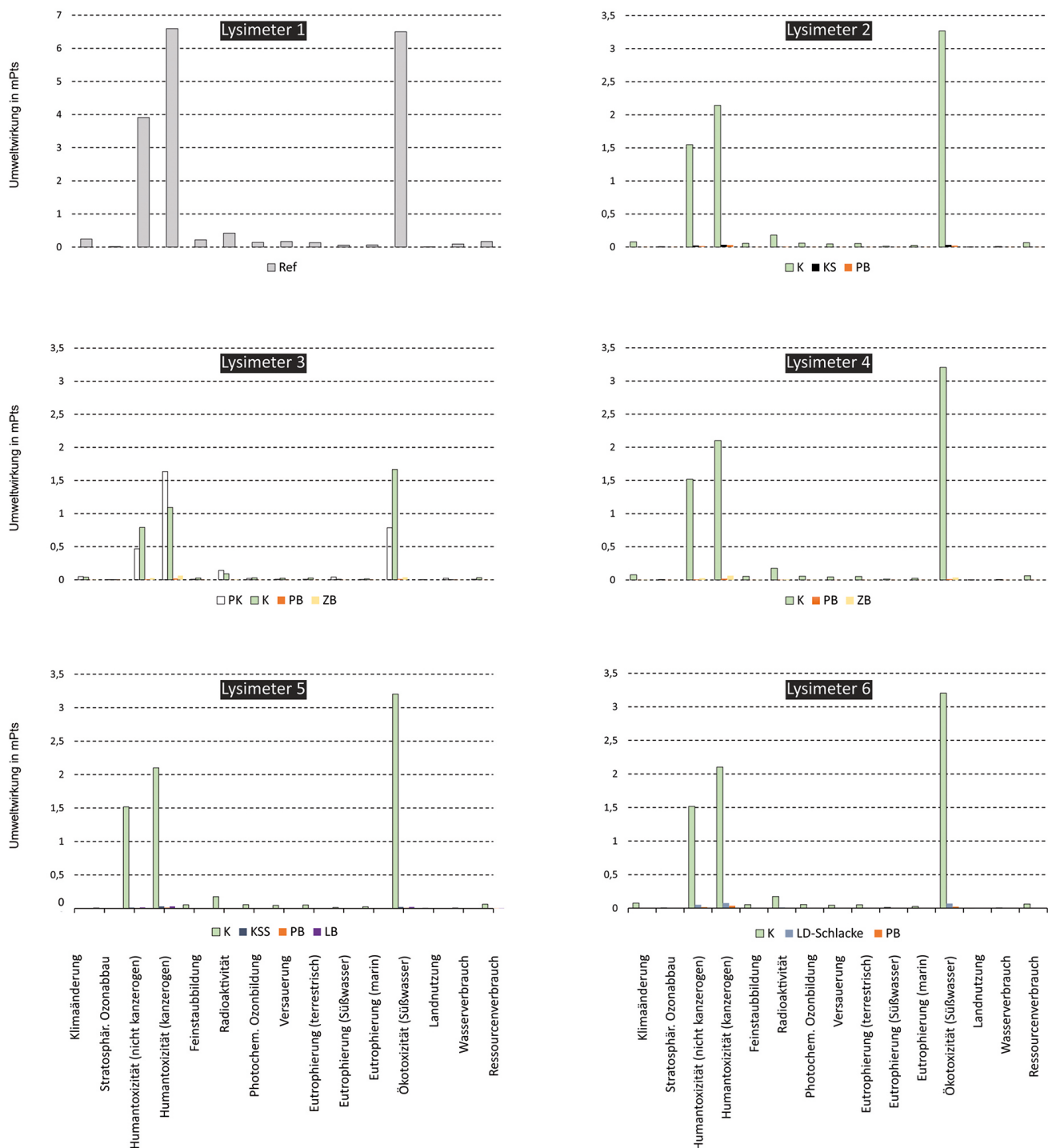
Die Details der Substratmischungen sind **Tabelle 1** zu entnehmen.

Ziel der ökobilanziellen Betrachtung war die vergleichende Untersuchung der Umweltauswirkungen von Primärrohstoffen und MEB in grüner Infrastruktur. Für die Ökobilanz der sechs Lysimeter auf dem Gelände der Hochschule Magdeburg-Stendal wurde als funktionelle Einheit ein Substratvolumen von 100 L gewählt. Dies entsprach der Größenordnung der Lysimeterversuche im Projekt Recycle-BIONET [12]. Impressionen der Versuchsflächen und der Substratmischungen vermittelt **Bild 1**.

Für die MEB und Kompost wurden nur Aufbereitung und Transport berücksichtigt, für das kommerzielle Referenzsubstrat dessen Herstellung und anfallende Transportwege. Spezifische Daten zum Energieverbrauch bei der Aufbereitung von MEB konnten von einem Anbieter bei den Prozessberechnungen berücksichtigt werden. Ebenso wurde auf Voruntersuchungen der Hochschule Magdeburg-Stendal zur ökobilanziellen Betrachtung von Ersatzbaustoffen in urbane grüne Infrastruktur zurückgegriffen [13]. Da die Materialien für die Lysimeter im Jahr 2022 beschafft wurden, wurde der für diesen Zeitraum aktuelle Energiemix für die Ökobilanzierung herangezogen. Zudem wurde der Einfluss der Gewinnung und Aufbereitung, sowie des Transportweges von Kesselsand, LD-Schlacke und des Referenzsubstrats untersucht, in dem pauschal für alle MEB der Transportweg wie für lokal besorgte Materialien auf 30 km gesetzt wurde. Für diesen Vergleich diente eine Tonne MEB bzw. Referenzsubstrat als funktionelle Einheit.



Bild 1: Impressionen der Langzeitversuchsflächen (a) und ausgewählter MEB-Substratmischungen: (b) PB KS, (c) ZB PB PM und (d) ZB PB



© Petra Schneider et al.

Bild 2: Grafische Übersicht der kumulierten Umweltauswirkungen (ein Jahr) der sechs im Langzeitversuch untersuchten Gründachsubstrat-Varianten

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Auswertung der Umweltauswirkungen sind für die sechs Lysimeter in **Bild 2** dargestellt.

Für das Referenzmaterial in Lysimeter 1 fallen die negativen Auswirkungen in den Wirkungskategorien Humantoxizität und Frischwassertoxizität auf. Dies ist mit der energieaufwändigen Her-

stellung von Blähton sowie den Emissionen, die bei der Kompostierung freigesetzt werden, zu begründen. Ebenfalls ist der Lieferweg im Vergleich zu den alternativen, lokal besorgten Substraten sehr hoch und beeinflusst die Ökobilanz negativ, wobei es sich ebenfalls um treibstoffintensive Prozesse handelt.

Die erhöhten Umweltauswirkungen von Substrat PB KS in Lysimeter 2 sind vor allem auf die Produktion des eingesetzten Kom-

Tabelle 2: Ökobilanzergebnisse für Aufbereitung/Herstellung und zwei Transportszenarien

Wirkungskategorie	LiDonit LD-Schlacke				Kesselsand				Referenzmaterial			
	reale Entfernung im Versuch ca. 415 km		30 km Transport- Szenario		reale Entfernung im Versuch ca. 150 km		30 km Transport- Szenario		reale Entfernung im Versuch ca. 650km		30 km Transport- Szenario	
	Wirkung in mPt		Wirkung in mPt		Wirkung in mPt		Wirkung in mPt		Wirkung in mPt		Wirkung in mPt	
Summe	17,5	prozen- tualer Anteil	1,6	prozen- tualer Anteil	6,7	prozen- tualer Anteil	2,7	prozen- tualer Anteil	206,3	prozen- tualer Anteil	186,8	prozen- tualer Anteil
Klimaänderung	0,35	2,0 %	0,03	1,8 %	0,13	0,1 %	0,05	0,0 %	2,84	1,4 %	2,44	1,3%
Stratosphärischer Ozonabbau	0,04	0,2 %	0,00	0,2 %	0,01	0,0 %	0,00	0,0 %	0,16	0,1 %	0,12	0,1%
Humantoxizität (nicht kanzerogen)	4,01	22,9 %	0,33	21,2 %	1,50	0,7 %	0,45	0,2 %	35,25	17,1 %	30,76	16,5%
Humantoxizität (kanzerogen)	5,93	33,8 %	0,57	36,6 %	2,28	1,1 %	1,11	0,6 %	95,42	46,3 %	88,88	47,6%
Feinstaubbildung	0,26	1,5 %	0,02	1,2%	0,09	0,0 %	0,05	0,0 %	3,63	1,8 %	3,34	1,8%
Radioaktivität	0,80	4,6 %	0,07	4,5 %	0,30	0,1 %	0,12	0,1 %	4,07	2,0 %	3,17	1,7%
Photochemische Ozonbildung	0,17	0,9 %	0,01	0,8 %	0,06	0,0 %	0,05	0,0 %	1,49	0,7 %	1,30	0,7%
Versauerung	0,15	0,8 %	0,01	0,7 %	0,05	0,0 %	0,03	0,0 %	2,71	1,3 %	2,55	1,4%
Eutrophierung (terrestrisch)	0,12	0,7 %	0,01	0,6 %	0,05	0,0 %	0,04	0,0 %	1,49	0,7 %	1,35	0,7%
Eutrophierung (Süßwasser)	0,04	0,2 %	0,01	0,4 %	0,02	0,0 %	0,01	0,0 %	1,18	0,6 %	1,15	0,6%
Eutrophierung (marin)	0,06	0,3 %	0,00	0,3 %	0,02	0,0 %	0,02	0,0 %	0,73	0,4 %	0,66	0,4%
Ökotoxizität (Süßwasser)	5,31	30,3 %	0,47	30,2%	2,02	1,0 %	0,72	0,4 %	53,21	25,8 %	47,30	25,3%
Landnutzung	0,00	0,0 %	0,00	0,0 %	0,00	0,0 %	0,00	0,0 %	0,01	0,0 %	0,01	0,0%
Wasserverbrauch	0,02	0,1 %	0,00	0,2 %	0,01	0,0 %	0,01	0,0 %	2,20	1,1 %	2,18	1,2%
Ressourcenverbrauch	0,26	1,5 %	0,02	1,3 %	0,10	0,0 %	0,03	0,0 %	1,92	0,9 %	1,62	0,9%

Quelle: Petra Schneider et al.

posts und die dabei entstehenden Emissionen zurückzuführen. Bei der Produktion von MEB hingegen werden deutlich weniger Emissionen freigesetzt, sodass auch nur geringe Umweltbelastungen entstehen. Dies kommt zum einen daher, da das Abrissmaterial im Wesentlichen mit nur wenigen mechanischen Prozessen aufbereitet wird. Andererseits ist die Art und Weise der Kompostierung für die damit verbundenen Umweltauswirkungen entscheidend. Bei der Kompostieranlage für dieses Projekt handelt es sich um eine offene Mietenkompostierung. Durch ein geschlossenes Verfahren mit anschließender Abluftaufbereitung könnten die Umweltauswirkungen gesenkt werden.

Für die Lysimeter 3, 4 und 5 zeigen sich erhöhte Umweltbelastungen, die vor allem auf die Herstellung der organischen Zuschlagstoffe zurückzuführen sind. Die stärkere Frischwassertoxizität ist dabei in beiden Fällen insbesondere mit den prozessbedingten Emissionen der Kompostproduktion verbunden. Zusätzlich weist das Substrat PB KS in Lysimeter 3 aufgrund des enthaltenen Pyrolysematerials eine stärkere Zunahme der kanzerogenen Humantoxizität auf, was sowohl auf den hohen Energiebedarf als auch auf prozessbedingte Emissionen während der Pyrolyse zurückzuführen sein kann. Die nicht kanzerogene Humantoxizität wird hingegen vor allem durch die Kompostproduktion beeinflusst und ist daher bei allen drei Lysimetern relevant, fallen beim Substrat ZB PB K in Lysimeter 4 und Substrat PB LB KSS in Lysimeter 5 auf-

grund des höheren Kompostanteils jedoch stärker ins Gewicht. Da sich die Aufbereitungsmethoden und die benötigten Energiemengen der eingesetzten MEB ähneln, sind die dadurch verursachten Umweltbelastungen in vergleichbarer Größenordnung.

In Lysimeter 6 ist wie beim Kompost in den Wirkungskategorien zur Toxizität eine leicht erhöhte Umweltauswirkung der LD-Schlacke erkennbar. Da für ihre Produktion die gleichen Energiemengen wie für Kesselsand angenommen wurden, ist diese Erhöhung vor allem auf den längeren Transportweg zurückzuführen.

Die Ergebnisse der durchgeführten Ökobilanz zeigen, dass die untersuchten Gründachsubstrate ein differenziertes Umweltprofil aufweisen, das maßgeblich durch die eingesetzten organischen und mineralischen Komponenten bestimmt wird. Insgesamt wird deutlich, dass MEB im Vergleich zu Primärrohstoffen mit geringeren Umweltauswirkungen in der Herstellungsphase verbunden sind. Dies ist insbesondere auf den vergleichsweise niedrigen Energiebedarf bei der Aufbereitung von Recyclingmaterialien zurückzuführen.

Demgegenüber zeigen sich erhöhte Umweltwirkungen maßgeblich bei Substratkomponenten organischen Ursprungs. Die Kompostierung trägt in nahezu allen untersuchten Varianten maßgeblich zu den Wirkungskategorien Humantoxizität und Frischwassertoxizität bei. Dies ist vor allem durch Emissionen während des Kompostierungsprozesses bedingt, die bei offenen Verfahren wie der hier

betrachteten Mietenkompostierung verstärkt auftreten können. Die Ergebnisse verdeutlichen damit die hohe Relevanz der Prozessführung bei der Herstellung organischer Substratbestandteile.

Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor ist der Energiebedarf spezifischer Materialien. So führt die Herstellung von Pyrolysematerial (Pflanzenkohle) aufgrund des energieintensiven Prozesses zu deutlich erhöhten Umweltwirkungen, insbesondere in der Kategorie kanzerogene Humantoxizität. Gleichzeitig zeigt sich, dass unterschiedliche Emissionsprofile der Materialien zu einer Verschiebung der Belastungsschwerpunkte zwischen einzelnen Wirkungskategorien führen können.

Neben der Materialwahl spielt auch die Logistik eine Rolle. Beim Referenzsubstrat sowie bei der Verwendung von LD-Schlacke und Kesselsand, die von Anbietern anderer Bundesländer geliefert wurden, zeigt sich, dass größere Transportdistanzen die Umweltbilanz verschlechtern können, da in jedem Fall dadurch die Bilanz verschlechtert wird. Ein Vergleich von je einer Tonne Referenzmaterial, Kesselsand und LD-Schlacke zwischen ursprünglicher Entfernung und angenommener lokaler Produktion verdeutlicht diesen Zusammenhang (**Tabelle 2**). Dies unterstreicht die Bedeutung regionaler Stoffkreisläufe für die ökologische Vorteilhaftigkeit von Gründachsubstraten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Umweltwirkungen weniger durch die MEB selbst als vielmehr durch organische Zuschlagstoffe und transportbedingte Emissionen bestimmt

werden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von MEB ökologisch vorteilhaft sein kann, sofern die Gesamtsystembetrachtung, insbesondere hinsichtlich Kompostierung und Transport, berücksichtigt wird. MEB können die Umweltwirkungen in der Herstellungsphase deutlich reduzieren, während organische Bestandteile wie Kompost und Pyrolysekohle die toxikologischen Wirkungskategorien dominieren. Damit rücken insbesondere die Prozessführung, der Energieaufwand der Herstellung und die Transportwege in den Vordergrund. Insgesamt wird deutlich, dass eine ganzheitliche Betrachtung von Materialwahl, Herstellungsprozessen und Logistik entscheidend ist, um die ökologischen Vorteile von Gründachsubstraten zu maximieren.

Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich mehrere zentrale Schlussfolgerungen für die Entwicklung und Anwendung von Gründachsubstraten ableiten:

1. Prinzipiell bestätigt die Analyse, dass MEB grundsätzlich ein hohes Potenzial zur Reduktion von Umweltwirkungen in der Herstellungsphase besitzen. Sie stellen somit eine sinnvolle Alternative zu Primärrohstoffen dar und können einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten. Materialien wie Bauschutt sind erwartbar immer präsent, industrielle Neben-



Die digitale Unternehmenslizenz



NEU!
Direkt online
bestellen
und bis zu
60% Rabatt
sichern.



Fundierte Fachwissen für Ihr Team!

Wir beraten Sie gern:

Ramona Wendler

Tel. 0611 7878-126 | magazinlizenzen@springernature.com

WASSER ABFALL DZU

produkte wie Schlacke hängen allerdings von der Verfügbarkeit der Branchen ab.

2. Darüber hinaus wird deutlich, dass organische Substratbestandteile, insbesondere Kompost, einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtumweltbilanz haben. Die Art der Kompostierung ist dabei von zentraler Bedeutung. Technisch optimierte Verfahren, beispielsweise geschlossene Systeme mit Abluftbehandlung, können die Emissionen deutlich reduzieren und somit die Umweltperformance der Substrate verbessern. Das gilt sowohl für MEB als auch für kommerzielle Gründachsubstrate.
3. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass energieintensive Materialien wie Pyrolysematerial differenziert zu bewerten sind. Während sie potenziell auf Grund des höheren Nährstoffgehalts positive Eigenschaften für Recyclingsubstrate aufweisen, können ihre Herstellungsprozesse zu erhöhten Umweltwirkungen führen, die bei der Bewertung berücksichtigt werden müssen.
4. Erwartungsgemäß kommt der Transportlogistik eine zentrale Rolle zu. Kurze Transportwege und regionale Stoffkreisläufe sind entscheidend, um die ökologischen Vorteile von Ersatzbaustoffen vollständig auszuschöpfen. Dies sollte insbesondere bei der Planung und Ausschreibung von Gründachprojekten berücksichtigt werden.
5. Die Ökobilanz stellt ein geeignetes Instrument dar, um fundierte Entscheidungen zu treffen und Zielkonflikte transparent zu machen.

Für die Praxis bedeuten die Ergebnisse dieser Untersuchung, dass Substratauswahl, Prozessgestaltung und regionale Stoffkreisläufe integrativ betrachtet werden müssen. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten die Nutzungsphase von Gründachsubstraten stärker berücksichtigen, insbesondere im Hinblick auf Wasserrückhalt, Stoffausträge, langfristige Materialstabilität und Vegetationsentwicklung. Darüber hinaus ist eine Verknüpfung von Ökobilanzierung und Monitoringdaten aus Langzeitversuchen, wie dem vorliegenden Reallaboransatz, von großer Bedeutung, um die Prozessmechanismen unter anwendungsnahen Bedingungen besser zu verstehen und zu bewerten.

Literatur

- [1] Mihalakakou, G., Souliotis, M., Papadaki, M., Menounou, P., Dimopoulos, P., Kolokotsa, D., Paravantis, J. A., Tsangrassoulis, A., Panaras, G., Giannakopoulos, E., & Papaefthimiou, S. (2023). Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability: Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 180, 113306. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113306.
- [2] Ampim, P. A. Y., Sloan, J. J., Cabrera, R. I., Harp, D. A., & Jaber, F. H. (2010). Green Roof Growing Substrates: Types, Ingredients, Composition and Properties. *Journal of Environmental Horticulture*, 28(4), 244 – 252. DOI: 10.24266/0738-2898-28.4.244.
- [3] Carrillo, L., Jauch, M., & Meinken, E. (2012). Determination of substrate quality for extensive green roof according to FLL guideline. *Acta Horticulturae*, 938, 431 – 436. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.938.56.
- [4] Thuring, C. E., & Dunnett, N. (2014). Vegetation composition of old extensive green roofs (from 1980s Germany). *Ecological Processes*, 3(1), 4. DOI: 10.1186/2192-1709-3-4.
- [5] Roth-Kleyer, S. (2018, 3. März). Recyclingziegel für Vegetationssubstrate im GaLaBau. *Neue Landschaft*. <https://neuelandschaft.de/artikel/recyclingziegel-fuer-vegetationssubstrate-im-galabau-4881>.
- [6] Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG). (2025). BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2025: Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung Deutschland. BuGG.

- [7] Mickovski, S. B., Buss, K., McKenzie, B. M., & Sökmener, B. (2013). Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs. *Ecological Engineering*, 61(C), 706–714. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.02.015.
- [8] López-Uceda, A., Galvín, A. P., Ayuso, J., Jiménez, J. R., Vanwallegheem, T., & Peña, A. (2018). Risk assessment by percolation leaching tests of extensive green roofs with fine fraction of mixed recycled aggregates from construction and demolition waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 36024–36034. DOI: 10.1007/s11356-018-1703-1.
- [9] Scolaro, T. P., & Ghisi, E. (2022). Life cycle assessment of green roofs: A literature review of layers materials and purposes. *Science of the Total Environment*, 829, 154650. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154650.
- [10] Chenani, S. B., Lehvävirta, S., & Häkkinen, T. (2015). Life cycle assessment of layers of green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 90, 153–162. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.070.
- [11] Tams, L., Nehls, T., & Calheiros, C. S. C. (2022). Rethinking green roofs – natural and recycled materials improve their carbon footprint. *Building and Environment*, 219, 109122. DOI:10.1016/j.buildenv.2022.109122.
- [12] Schneider, P., Stachowiak, P., Marx, A., Wilhelm, G., Faulk, T., Kannengießer, J., Dorer, C., & Schwerdt, S. (2024). Eignung und ökologisches Potenzial von Ersatzbaustoffen in Dachbegrünungen. *Wasser und Abfall*, 26(1–2), 21–26. <https://www.springerprofessional.de/eignung-und-oekologisches-potenzial-von-ersatzbaustoffen-in-dach/26727774>.
- [13] Thiel, J. (2024). Ökobilanzielle Untersuchung von mineralischen Ersatzbaustoffen in Urbaner Grüner Infrastruktur. *Wasser und Abfall*, 26 (1 – 2), 27 – 32. <https://www.springerprofessional.de/oekobilanzielle-untersuchung-von-mineralischen-ersatzbaustoffen-/26727770>.

Autoren

Prof. Dr. Petra Schneider

Leiterin der Arbeitsgruppe Ingenieurökologie
Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit
Breitscheidstraße 2
39114 Magdeburg
petra.schneider@h2.de

Jonas Kannengießer

Conrad Dorer

Gina Wilhelm

Alexander Marx

Arbeitsgruppe Ingenieurökologie
Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit
Breitscheidstraße 2
39114 Magdeburg



Springer Professional

Ersatzbaustoffe



Schneider, P. et al.: Eignung und ökologisches Potenzial von Ersatzbaustoffen in Dachbegrünungen. In: *WASSER UND ABFALL*, Ausgabe 1-2/2024. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024. <https://sn.pub/h2svrz>

Thiel, J.: Ökobilanzielle Untersuchung von mineralischen Ersatzbaustoffen in Urbaner Grüner Infrastruktur. In: *WASSER UND ABFALL*, Ausgabe 1-2/2024. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024. <https://sn.pub/tyneo0>