

Ökobilanzielle Untersuchung von mineralischen Ersatzbaustoffen in Urbaner Grüner Infrastruktur

Elemente Grüner Infrastruktur sind ein effektives Werkzeug zur Steuerung des lokalen Klimas in urbanen Räumen. Gleichzeitig bieten mineralische Abfälle als größter Abfallstrom in Deutschland ein hohes Ressourcenpotential. Daher wird die Frage diskutiert, inwieweit die Substitution von Primärrohstoffen mit mineralischen Ersatzbaustoffen die Ökobilanz von Urbaner Grüner Infrastruktur beeinflusst.

Jonas Thiel

Weit über einem Drittel (38 %) der weltweiten CO₂-Emissionen lassen sich auf den Bau und die Nutzung von Gebäuden zurückführen [1]. Der Energie- und Ressourcenbedarf im konventionellen Bausektor haben somit einen großen Einfluss auf den Klimawandel. Umso mehr birgt die Erforschung von alternativen Rohstoffen aus mineralischen Abfällen Lösungsmöglichkeiten für ein nachhaltigeres Bauen. Gleichzeitig werden nationale und internationale Konzepte für „grüne“ urbane Räume erarbeitet, die neben Lebensraum für Tiere und Pflanzen auch weitere gesellschaftlich relevante Ökosystemleistungen bereitstellen. Die vielfältigen natürlichen und technischen Elemente dieser Grünen Infrastruktur haben besonders in Städten einen positiven Einfluss auf den Luft- sowie Wasserhaushalt und damit auch auf das Klima. Als Umweltelemente in Urbaner Grüner Infrastruktur können u. a. Hecken, Fischtrepfen oder Gründächer bezeichnet werden. Aber auch umfassende komplexe Ökosysteme, wie Auenwälder, Moore oder freifließende Flüsse, zählen dazu [2].

Die in Deutschland als Abfälle oder Nebenprodukte anfallenden mineralischen Stoffströme bieten im Hinblick auf die Massen ein hohes Potenzial zur Schonung von primären Ressourcen. Aufgrund des natürlichen Ursprungs weisen Mineralische Ersatzbaustoffe (MEB) ähnliche physikalische und geochemische Eigenschaften wie Primärrohstoffe auf. Weiterhin bietet die ortsnahe Anwendung von MEB die Möglichkeit, Transportwege zu reduzieren. Grundlegende

Ressourcen der Bauindustrie stammen vor allem aus Tagebauen. Die Primärquellen befinden sich in der Regel nicht in urbanen Gebieten, so dass teilweise weite Transportstrecken bis zum Einbauort zurückgelegt werden müssen. Demgegenüber fällt ein Großteil der potenziellen MEB als Abfälle oder Nebenprodukte in urbanisierten Räumen an. Außerdem kann mit der Substitution von Primärrohstoffen durch MEB Deponieraum eingespart werden [3].

Es erscheint somit nachvollziehbar, dass für die Errichtung von Bauwerken Urbaner Grüner Infrastruktur (UGI) auch umweltfreundlichere Baustoffe Verwendung finden sollten. In diesem Zusammenhang wurden die Substitutionsmöglichkeiten von Primärrohstoffen und MEB in UGI betrachtet und ökobilanziell untersucht. **Tabelle 1** zeigt die untersuchten konventionell verwendeten Primärrohstoffe sowie potenziell anwendbare MEB. Diese können in den UGI-Elementen Dachbegrünung, Grüngleise, Geokunststoffbewehrten Erdkörpern sowie begrünten Gabionen Anwendung finden (**Bild 1**).

Methodik

Als Ökobilanz wird die systematische Analyse und Bewertung der Umweltwirkungen von Produkten für deren gesamten Lebenszyklus (cradle-to-grave) bezeichnet. Mit dieser ganzheitlichen Betrachtung

/ Kompakt /

- Energie- und Ressourcenbedarf des konventionellen Bausektors haben einen großen Einfluss auf den Klimawandel.
- Der Einsatz von Mineralischen Ersatzbaustoffen in Urbaner Grüner Infrastruktur bietet sich als umweltfreundliche Alternative zur Verwendung von Primärrohstoffen an.
- Die Distanz zwischen Gewinnung und Einbau und damit die geographische Lage von Abfallentstehungs- und -aufbereitungsort beziehungsweise der Rohstoffquelle bei Primärrohstoffen ist ein bestimmender Einflussfaktor zur Einstufung der Umweltfreundlichkeit.

Tabelle 1: Überblick über der betrachteten MEB

Mineralische Ersatzbaustoffe

Eisenhüttenschlacken

Hochofenstüchschlacke (HOS)

Hüttensand (HS)

Elektroofenschlacke (EOS)

LD-Schlacke (LDS)

Betonrecycling (BR)

Porenbetonbruch (PB)

Ziegelbruch (ZB)

Hausmüllverbrennungssasche (HMVA)

Schaumglasschotter (SGS)

Quelle: Jonas Thiel

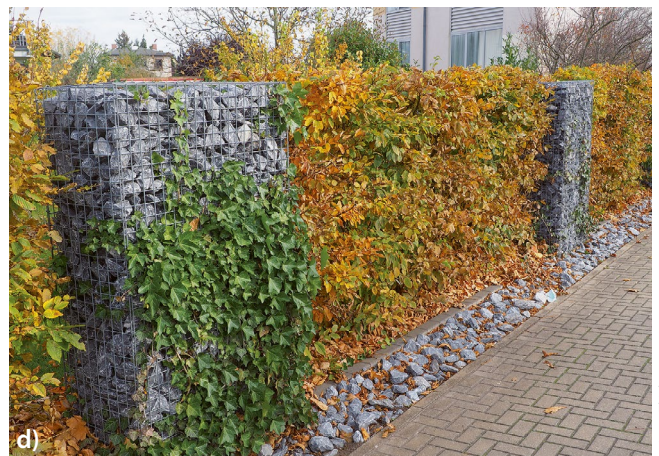


Bild 1: Elemente Urbaner Grüner Infrastruktur a) Dachbegrünung, b) Grüngleise, c) Geokunststoffbewehrter Erdkörper, d) begrünte Gabionen

können alle vom Produkt ausgehenden direkten und indirekten Umweltauswirkungen dargestellt werden. Das Verfahren wird nach DIN EN ISO 14040/14044 in vier Phasen unterteilt [4], [5]:

1. Phase: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Phase: Sachbilanz
3. Phase: Wirkungsabschätzung
4. Phase: Auswertung und Interpretation

Für die Durchführung der Ökobilanzierungen wurde die Software SimaPro von PRé Sustainability verwendet. Die Sachbilanzdaten basieren zum einen auf recherchierten Primärdaten von Recycling-Unternehmen sowie auf Informationen aus wissenschaftlichen Studien. Weiterhin wurden Produktions- und Förderungsprozesse aus der Datenbank ecoinvent v3.6 entnommen.

1. Phase: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

Ziel der Ökobilanzierung

Ziel der ökobilanziellen Betrachtung war die vergleichende Untersuchung der Umweltauswirkungen von Primärrohstoffen und MEB in UGI-Elementen. Dabei wurde auf Grundlage der bestehenden Rechtsnormen und der technischen Machbarkeit untersucht,

welche Materialien in Dachbegrünung, Grüngleisen, Kunststoffbewehrten Erdkörpern oder begrünten Gabionen Anwendung finden können. Die Einsatzmöglichkeiten von MEB in UGI-Elementen wurden bisher nur vereinzelt erforscht. Demzufolge lagen wenig aussagekräftige Daten für die tatsächliche Eignung der hier untersuchten Stoffe vor. Bei unzureichender Datengrundlage sollten deswegen begründete Annahmen getroffen werden.

Festlegung der funktionellen Einheit

Für die ökobilanzielle Betrachtung wurde die gleiche Masse an Primärrohstoffen äquivalent durch dieselbe Menge MEB substituiert. Als funktionelle Einheit wurde in diesem Zusammenhang eine Tonne festgelegt. Als Referenz dient dabei immer der entsprechend untersuchte MEB.

Festlegung der Systemgrenze

Für die Erstellung der Systemgrenze wurde festgelegt, an welchen Stellen der Wertschöpfungskette die Bilanzierung der Primärrohstoffe beziehungsweise MEB beginnen und enden soll (**Bild 2**). Die Bilanzierung der Primärrohstoffe beginnt mit der Förderung aus Primärquellen, zum Beispiel Tagebauen. Um einheitliche bauphysikalische Eigenschaften zu gewährleisten, müssen diese Materialien durch Aufbereitungsprozesse zu Baustoffen homogenisiert

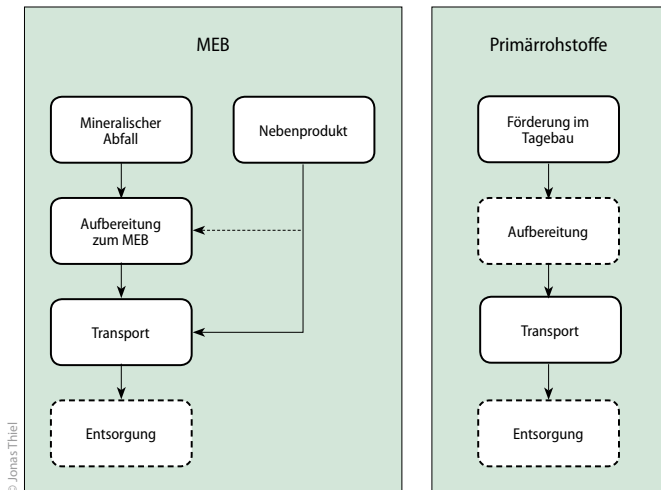


Bild 2: Untersuchungsrahmen für die ökobilanzielle Betrachtung

werden. In ecoinvent v3.6 und anderen Datenbanken, wie zum Beispiel Ökobaudat vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, sind teilweise keine Prozesse für die Aufbereitung der Primärrohstoffe zu geeigneten Bauprodukten für UGI-Elemente hinterlegt. Trotz umfangreicher Literaturrecherche und zahlreichen Anfragen bei relevanten Unternehmen, war die finale Datenlage unzureichend. Soweit keine Daten in ecoinvent v3.6 vorhanden waren, wurde aus diesem Grund der Aufbereitungsschritt vom Rohstoff zum Baustoff nicht betrachtet.

Die Quelle der MEB bilden mineralische Abfälle. Somit wurde angenommen, dass die ökobilanzielle Betrachtung mit dem Zeitpunkt beginnt, an dem gemäß § 3 Abs. 1 KrWG die Definition des Abfallbegriffs zutrifft. Demnach sind Abfälle Stoffe, deren sich ihr Besitzer oder Erzeuger entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Die Abfalleigenschaft endet, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

1. Durchlaufen eines Verwertungsverfahrens,
2. Verwendung für bestimmte Zwecke,
3. Marktangebot oder Nachfrage,
4. Erfüllung bestimmter technischer und rechtlicher Anforderungen sowie
5. Unschädlichkeit der Verwendung [6].

Mit der Aufbereitung der mineralischen Abfälle wird durch den Eintrag von Energie eine Homogenisierung in Form von Fremdstoffentfernung, Zerkleinerung und Klassierung erreicht. Mit diesen Schritten unterliegen die Stoffe nicht mehr dem Abfallbegriff und werden zu vermarktungsfähigen Baustoffen, die unter Einhaltung der rechtlichen Gegebenheiten in UGI-Elementen verwertet werden dürfen. Eine Ausnahme bilden Eisenhüttenschlacken, die nach § 4 Abs. 1 KrWG als Nebenprodukte bezeichnet werden und damit nicht dem Abfallbegriff unterliegen. Folglich können Eisenhüttenschlacken unter Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben ohne Aufbereitung als MEB verwendet werden.

Mit dem Abbruch eines Bauwerks nach dessen Nutzungsphase unterliegen die anfallenden mineralischen Abfälle wieder dem KrWG und müssen gesetzeskonform verwertet oder beseitigt werden. Die beschriebenen Abläufe basieren auf dem cradle-to-grave-Prinzip und umfassen somit den gesamten Lebenszyklus

vom Ursprung über die Nutzungsphase bis zur Entsorgung beziehungsweise Verwertung des Produkts. Die Lebenszeit und fachgerechte Entsorgung der verwendeten MEB und Primärrohstoffe wurde an dieser Stelle als gleich angenommen. Damit war für die Ökobilanzierung ausschließlich die Phase der Gewinnung der Rohstoffe beziehungsweise der Anfall als Abfall bis zum Einbau in das UGI-Element ausschlaggebend. Das Ende der Wertschöpfungskette stellt den Abschluss der Systemgrenze dar. In dieser Untersuchung wurde angenommen, dass das Abbruchmaterial nach der Nutzungsphase der UGI-Elemente deponiert wird.

Wirkungskategorien

Die Substitution von Primärrohstoffen mit MEB bewirkt potenziell Veränderungen der Umweltauswirkungen für die Errichtung von UGI-Elementen. Diese Effekte werden in Wirkungskategorien dargestellt und in der Wirkungsabschätzung ausgewertet. Die in der Sachbilanz dargestellten Energie- und Stoffströme wurden dabei den entsprechenden Wirkungskategorien zugeordnet (Klassifizierung). Mit der Charakterisierung dieser Werte wurden die unterschiedlichen Einheiten zu einem numerischen Indikatorwert zusammengefasst. Dazu dienen individuell festgelegte, spezifische Charakterisierungsfaktoren, die eine Umrechnung der für die Kategorie relevanten Stoff- und Energieströme zu einer Referenzeinheit bewirken [7].

Die Bestimmung der Wirkungsindikatoren erfolgte automatisiert durch SimaPro. Als Berechnungsgrundlage dient dabei das Charakterisierungsmodell ILCD 2011 Midpoint+, das insbesondere für den europäischen Raum angewendet wird. Diese Methode umfasst unter anderem die in **Tabelle 2** dargestellten Kategorien, die für diese ökobilanzielle Betrachtung ausgewertet wurden.

2. Phase Ergebnisse: Sachbilanz

Für die Erstellung der Sachbilanz wurde ermittelt, welche MEB Anwendung in den jeweiligen UGI-Elementen finden können. Diese

Tabelle 2: Wirkungskategorien für die ökobilanzielle Betrachtung

Wirkungskategorie	Referenzeinheit
Klimaänderung	kg CO ₂ Äq.
Ressourcenverbrauch	kg Sb Äq.
Wasserverbrauch	m ³ Wasser Äq.
Stratosphärischer Ozonabbau	kg CFC-11 Äq.
Photochemische Oxidantienbildung	kg NMVOC Äq.
Feinstaubbildung	kg PM _{2,5} Äq.
Versauerung	mol H ⁺ Äq.
Eutrophierung (Süßwasser)	kg P Äq.
Eutrophierung (marin)	kg N Äq.
Eutrophierung (terrestrisch)	mol N Äq.
Humantoxizität (kanzerogen)	CTU _h
Humantoxizität (nicht-kanzerogen)	CTU _h
Ökotoxizität (Süßwasser)	CTU _e

Quelle: Jonas Thiel

Tabelle 3: Übersicht der zu bilanzierenden Primärrohstoffe und MEB in den UGI-Elementen

UGI-Element	Primärrohstoff	MEB
Dachbegrünung Vegetationstragschicht	Dachsubstrat (Lava-Bims-Gemisch)	Ziegelbruch Porenbetonbruch Betonrecycling Hausmüllverbrennungsgasche
Drainageschicht	Blähton	Ziegelbruch Schaumglasschotter Porenbetonbruch Hochofenstückschlacke Elektroofenschlacke LD-Schlacke
KBE	Kies Sand	Hochofenstückschlacke Elektroofenschlacke LD-Schlacke Betonrecycling
Grüngleise	Schotterrasensubstrat (Basaltlava-Bims-Gemisch)	Hausmüllverbrennungsgasche Hochofenstückschlacke Elektroofenschlacke LD-Schlacke Betonrecycling
begrünte Gabionen	Sandstein Kalkstein Lava Basalt Marmor	Betonrecycling Hochofenstückschlacke Elektroofenschlacke LD-Schlacke

Quelle: Jonas Thiel

Evaluierung erfolgte auf Basis des festgelegten Untersuchungsrahmens sowie der physikalischen Eigenschaften der MEB und Primärrohstoffe. Dafür wurden bei fehlender Datengrundlage begründete Annahmen getroffen. **Tabelle 3** zeigt die Substitutionsmöglichkeiten der konventionell verwendeten Baustoffe mit den betrachteten MEB.

Im Zuge der Sachbilanz wurde eine Recherche von ökobilanziell relevanten Daten für die LCA-Analysen der MEB und Primärrohstoffe vorgenommen. Für alle mineralischen Abfälle und Nebenprodukte konnten entsprechende Prozessdaten erhoben werden. Für die Abbruchabfälle wurde in Bezug auf die Rohdichte eine Abstufung des Stromverbrauchs durchgeführt. Weiterhin erfolgte auf Basis der bekannten Betriebsdaten von verschiedenen Anlagen für die Aufbereitung von Hausmüllverbrennungsgasche eine Abschätzung des Energieaufwands für die Klassierung von Eisenhüttenschlacken. Für die Förderung von Kalkstein, Basalt, Kiesschotter, Sand, Blähton sowie Bims konnten Informationen aus der Datenbank ecoinvent v3.6 verwendet werden. Auf der Grundlage des Gewinnungsprozesses für Kalkstein wurden mit Hilfe von spezifischen Daten auch Abbauszenarien für Sandstein und Marmor modelliert. Für Lava und Basaltlava lagen keine entsprechenden Daten vor. Anhand von Umrechnungsfaktoren, basierend auf Dichteunterschieden, konnte für diese Rohstoffe eine numerische Annäherung durchgeführt werden. Die Grundlage dafür bildeten die bekannten Angaben zu Förderprozessen von Bims und Basalt. Weiterhin wurden die Transportstrecken anhand bekannter Standorte von Förder- und Aufbereitungsunternehmen sowie mit begründeten Annahmen für die Primärrohstoffe und MEB festgelegt.

3. Phase Ergebnisse: Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung erfolgte vergleichend in Bezug auf die zu substituierenden Primärrohstoffe und den MEB in den jeweiligen UGI-Elementen. Die Ergebnisse in den Diagrammen wurden prozentual abstufend anhand des höchsten Wertes dargestellt. Der größte Wert wird somit als 100 % angegeben. Die Wirkungsabschätzung wird nachfolgend am Beispiel der Ergebnisse für die Vegetationstragschicht eines Gründachs dargestellt (**Bild 3**).

Bei der Betrachtung der Ergebnisse fallen deutliche Unterschiede beim Vergleich des Dachbegrünungssubstrats mit den ausgewählten MEB auf. In allen Wirkungskategorien übertrifft das Primärrohstoffgemisch den Ziegelbruch, den Porenbetonbruch, das Betonrecycling und die Hausmüllverbrennungsgasche um ein Vielfaches. Weiterhin ist eine Abstufung der Werte beim Vergleich der aufbereiteten Abbruchabfälle ersichtlich. Dies ist mit der numerischen Lösung zur Bestimmung des Energieaufwands für die Aufbereitung der MEB zu erklären. Betonrecycling zeigt somit in allen Wirkungskategorien höhere Werte als Ziegelbruch und Porenbetonbruch. Auch wird deutlich, dass Hausmüllverbrennungsgasche trotz des höheren Stromverbrauchs ähnliche oder sogar geringere Werte als die weiteren MEB aufweist.

Nur in den Kategorien Humantoxizität (kanzerogen), Süßwassereutrophierung, Süßwassertoxizität und Wasserverbrauch erscheinen die Schadpotenziale höher. Besonders auffällig ist dabei die Höhe des Eutrophierungspotenzials für Süßwasser in Relation zu den anderen MEB. Ein Zusammenhang kann nur zum Aufbereitungsprozess und dem verhältnismäßig hohen Energieaufwand (4,7 kWh/t) hergestellt werden, da der Transportaufwand für Hausmüllverbrennungsgasche unter allen betrachteten Materialien am geringsten ist. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch für die ökobilanziellen Betrachtungen der weiteren UGI-Elemente erzielt.

4. Phase Ergebnisse: Auswertung und Interpretation

Die Auswertung umfasst neben den verschiedenen Prüfungen nach DIN EN ISO 14040/14044 auch die Diskussion der Ergebnisse. Dabei wurden zum einen die Einsatzmöglichkeiten der MEB in UGI-Elementen und die daraus resultierenden Annahmen untersucht. Weiterhin wurden die Grenzen der ökobilanziellen Betrachtung dargestellt.

Die Betrachtung der Ergebnisse zeigte, dass der Transportprozess einen großen Einfluss auf die Ökobilanzen der betrachteten Primärrohstoffe und MEB hat. Im Untersuchungsrahmen wurde beispielhaft Magdeburg als Einbauort der Baustoffe festgelegt. Dadurch traten teilweise hohe Transportstrecken auf, die möglicherweise die Ergebnisse der Ökobilanzen der betrachteten Stoffe verzerren. Aus dem Bericht „Verkehr in Zahlen 2020/2021“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur geht hervor, dass Steine und Erden innerhalb Deutschlands durch-

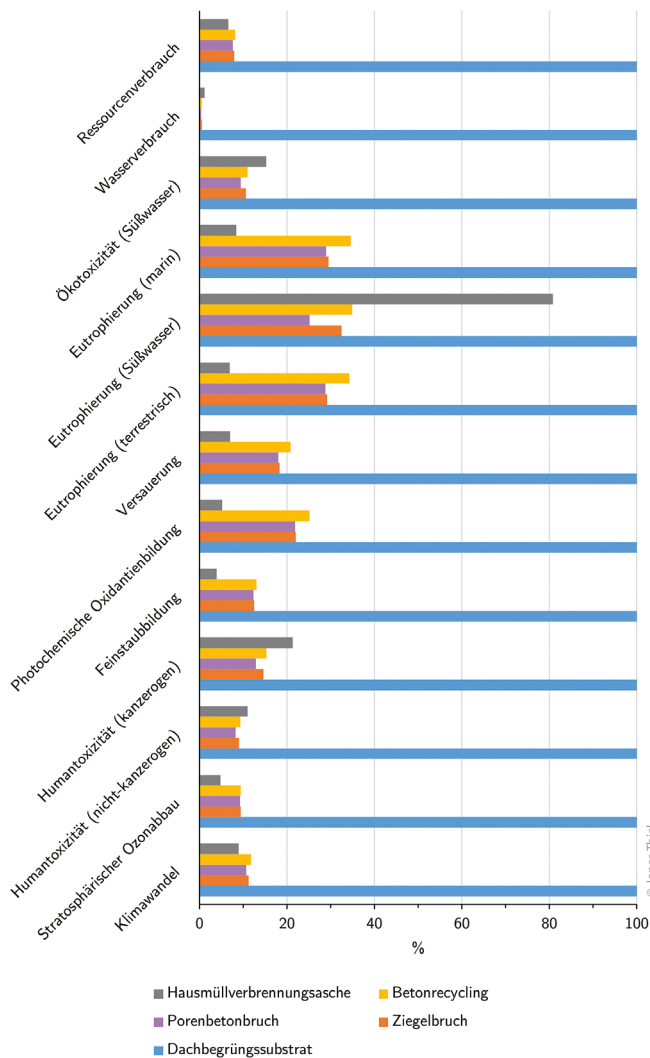


Bild 3: Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchung für die Vegetationstragschicht

schnittlich 42 km transportiert werden [8]. Diese Strecke wurde in dieser Prüfung für den Transport der Primärrohstoffe und MEB angenommen. Zusätzlich wurde davon ausgegangen, dass der Transport ausschließlich per LKW erfolgt.

Die Sensitivitätsprüfung erfolgt wieder beispielhaft anhand der Ergebnisse der Vegetationsschicht eines Gründachs. Mit der Anpassung wird die Transportstrecke des Dachbegrünungssubstrats deutlich kürzer, die betrachteten MEB müssen demgegenüber etwas weiter transportiert werden. Dies zeigt sich auch in den Ergebnissen der ökobilanziellen Untersuchung (**Bild 4**). Für die MEB steigen in allen Kategorien die Werte an. Weiterhin ist zu beobachten, dass das Dachbegrünungssubstrat ein deutlich geringeres Umweltschadenpotenzial aufweist als in der Betrachtung der Wirkungsabschätzung. In einigen Wirkungskategorien, wie dem Klimawandel, dem Ozonabbau oder der Eutrophierung, schneidet der Baustoff sogar besser ab als die MEB. Zum einen bestätigt dies die These des hohen Einflusses des Transportprozesses. Zum anderen können die Rohstoffe für das technische Substrat, Lava und Bims, mit verhältnismäßig geringem Aufwand gewonnen werden. Demgegenüber weist die Aufbereitung von MEB ein teilweise höheres Umweltpotenzial auf.

Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der Resultate wurde festgestellt, dass sowohl Dachbegrünungssubstrat und Blähton als auch Schotterrasensubstrat in Grünleisen im Vergleich zu den betrachteten MEB in allen Wirkungskategorien die höchsten Umwelteffekte aufweisen. Die Betrachtung der Ergebnisse der Eisenhüttenschlacken bewies den bedeutenden Einfluss des Transportprozesses für diese ökobilanzielle Untersuchung. Zwischen LD-Schlacke, Hochofenstüchschlacke und Elektroofenschlacke war eine Abstufung der Werte zu beobachten. Dies konnte auf die unterschiedlich weiten Beförderungsstrecken zurückgeführt werden. Mit dieser Erkenntnis konnten auch Rückschlüsse auf die vergleichsweise negativen Ökobilanzen der untersuchten Primärrohstoffe gezogen werden. Für diese wurden ähnlich weite Transportwege wie bei LD-Schlacke angenommen. Demgegenüber erwiesen sich die regional aufbereiteten MEB Betonrecycling, Ziegelbruch, Porenbetonbruch, Schaumglasschotter und Hausmüllverbrennungsasche als deutlich umweltfreundlicher in den betrachteten Wirkungskategorien.

Mit der Betrachtung der Ergebnisse für die KBE wurde festgestellt, dass die LD-Schlacke gegenüber den in näherer Umgebung von Magdeburg gewonnen Kiesschotter und Sand teilweise höhere Werte in den Wirkungskategorien verfügt. Dies bestätigte die These des hohen Einflusses von Transportprozessen auf die Ökobilanzen der Mineralstoffe.

Die vergleichende Bilanzierung für begrünte Gabionen ergab, dass vereinzelt Primärrohstoffe (Sandstein, Kalkstein, Marmor), trotz aufwendigerer Gewinnungsverfahren, in einigen Wirkungskategorien besser abschnitten als Eisenhüttenschlacken. Eine Erklärung hierfür lag wieder in kürzeren beziehungsweise ähnlich langen Transportstrecken. Der Einfluss des Beförderungsprozesses zeigte sich auch in den Ergebnissen für Basalt und Lava. Im Vergleich zu den anderen Stoffen wiesen die Vulkanite in fast allen Kategorien die höchsten Werte auf. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die weit transportierte LD-Schlacke eine vergleichbare Ökobilanz wie Marmor, Kalkstein oder Sandstein besitzt. Im Gegensatz dazu ist das Umweltschadenpotenzial der Hochofenstüchschlacke, Elektroofenschlacke und besonders Betonrecycling als geringer einzuschätzen.

Im Hinblick auf die Auswertung wurden verschiedene Prüfungen zur Vollständigkeit, Sensitivität und Konsistenz durchgeführt. In Bezug auf den Untersuchungsrahmen wurden alle relevanten Informationen erhoben. Damit konnte von einer vollständigen Datenerhebung ausgegangen werden. Dennoch ist von Verfälschungen der Ergebnisse der MEB auszugehen, da im Gegensatz zur Verwertung der mineralischen Abbruchabfälle kein Kraftstoffverbrauch für die Aufbereitung von Hausmüllverbrennungsasche und Eisenhüttenschlacken ermittelt werden konnte. Auch die numerische Lösung für Lava und Basaltlava muss für weitere Betrachtungen kritisch mit realen Werten überprüft werden. Im Zuge der Sensitivitätsprüfung sollte der Einfluss des Transportprozesses auf die Ökobilanzen untersucht werden. Dabei wurde die Beförderungsstrecke für alle betrachteten Stoffe auf 42 km festgelegt. Die angepassten Berechnungen zeigten, dass Primärrohstoffe in einigen Wirkungskategorien ähnliche oder sogar bessere Werte aufwiesen als MEB. Das bestätigte die These zum hohen Einfluss des Transportprozesses aus der Wirkungsabschätzung. Mit der letzten

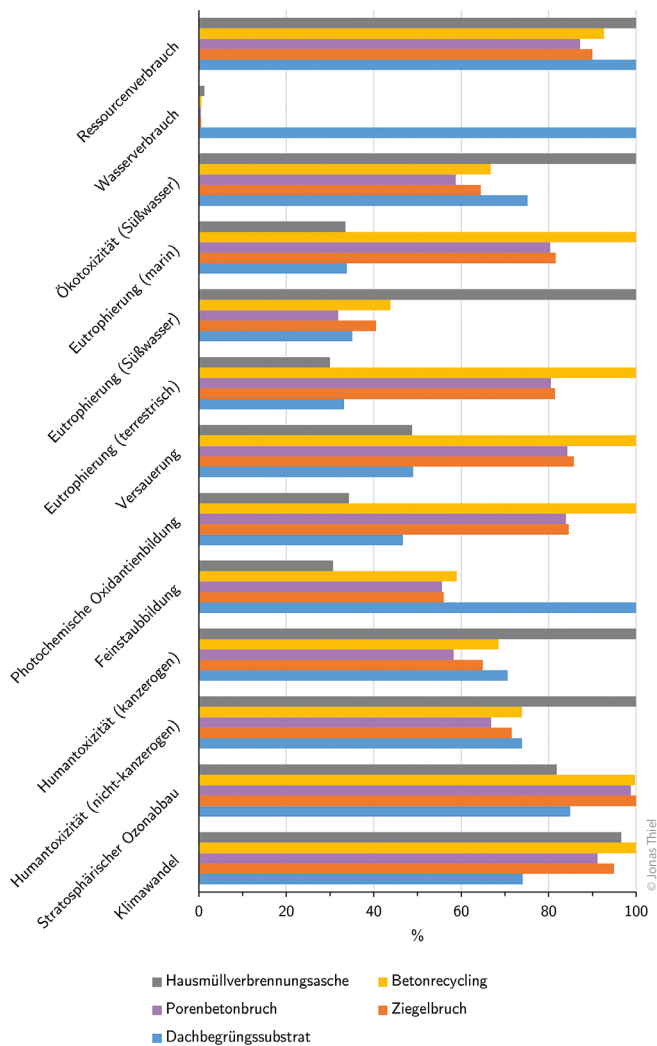


Bild 4: Ergebnisse der ökobilanziellen Untersuchung der Vegetationsschicht (Transport: 42 km)

Prüfung konnte festgestellt werden, dass bei der Betrachtung der Daten zur Gewinnung der Primärrohstoffe nur bedingt von Konsistenz ausgegangen werden kann. Einige Datensätze in ecoinvent v3.6 wurden mit externen Werten modifiziert oder mit numerischen Umrechnungsfaktoren angepasst. Da diese Veränderungen auf Basis von zuverlässigen Quellen von Baustoff-Recyclingbetrieben vorgenommen wurden, konnten die Einschränkungen der Konsistenz als gering bewertet werden.

Die wichtigste Erkenntnis dieser Untersuchungen war, dass der Einsatz von Primärrohstoffen und MEB eng mit der Verfügbarkeit und geographischen Lage des Einbauortes verknüpft ist. Es erscheint aus ökobilanzieller Sicht nicht förderlich, MEB über weite Strecken zu befördern, wenn in unmittelbarer Nähe ein gleichwertiger Baustoff aus einer Primärquelle gewonnen wird. Gleichzeitig sollte die Verfügbarkeit von potenziell verwendbaren MEB vor einer überregionalen Beschaffung von Primärrohstoffen überprüft werden. Die kritische Betrachtung des Untersuchungsrahmens zeigte, dass eine Verzerrung der Ergebnisse für Primärrohstoffe zu erwarten war. Es konnten keine Daten zur Aufbereitung der gewonnenen Rohstoffe zu den entsprechenden Produkten erhoben werden. Somit muss innerhalb der Wirkungskategorien von höheren Werten

ausgegangen werden. Eine Ausnahme bildet Blähton, dessen Ökobilanz aufgrund des energie- und ressourcenintensiven Herstellungsprozesses deutlich negativer als die der Primärrohstoffe und der MEB zu bewerten ist. Gleichzeitig zeigte dieses Beispiel, welchen Einfluss die Produktion der jeweiligen Produkte auf die Ökobilanz haben kann.

Weiterhin ist festzuhalten, dass eine endgültige Bewertung zur bautechnischen Eignung der MEB in UGI-Elementen nur bedingt abgegeben werden kann. Hierfür sind weitere praktische Versuche und Validierungen bzgl. der Annahmen für die Durchführung dieser ökobilanziellen Untersuchung nötig. Mit umfassenderen Erkenntnissen zum physikalischen und geochemischen Verhalten der mineralischen Abfälle können genauere Aussagen über die Eignung der MEB getroffen werden, möglicherweise auch über die Einsatzmöglichkeiten in UGI-Elementen hinaus.

Hinweis

Die vorliegende Arbeit wurde als Masterarbeit im Rahmen des Projektes „Ersatzbaustoffe in bautechnischen Biotopnetzelementen der Urbanen Grünen Infrastruktur: Machbarkeit, Ökobilanzierung und Ökosystemleistungen“ (Recycle-Bionet) an der Hochschule Magdeburg-Stendal durchgeführt, finanziert durch das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (MULE) Sachsen-Anhalt. Die Arbeit wurde mit dem Studienpreis 2022 der IHK Sachsen-Anhalt ausgezeichnet. Betreuerin war Frau Prof. Dr. Petra Schneider, Leiterin der Arbeitsgruppe Ingenieurökologie an der Hochschule Magdeburg-Stendal.

Literatur

- [1] United Nations Environment Programme, „Global Status Report for Buildings and Construction,“ Nairobi, 2020.
- [2] Europäische Kommission, „Eine Grüne Infrastruktur für Europa,“ Luxemburg, 2014.
- [3] Umweltbundesamt, „www.umweltbundesamt.de,“ 08. Juni 2021. [Online]. Available: www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/baubabfaelle#baustoffrecycling-wird-gefordert. [Zugriff am 18. November 2023].
- [4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020), Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2021.
- [5] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN ISO 14044:2006 + A1:2018 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2006.
- [6] Bundesministerium für Justiz, „www.gesetze-im-internet.de,“ 01. Juni 2021. [Online]. Available: www.gesetze-im-internet.de/krwg/. [Zugriff am 18. November 2023].
- [7] W. Klöpffer und B. Grahl, Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009.
- [8] Kraftfahrt-Bundesamt, Verkehr in Zahlen 2020/2021, Flensburg, 2021.

Autor

Jonas Thiel, M.Sc.
Mull und Partner Ingenieurgesellschaft mbH
Humboldtstraße 13
39112 Magdeburg
jonas.thiel@mup-group.com