

Eignung und ökologisches Potenzial von Ersatzbaustoffen in Dachbegrünungen

Die Einrichtung Urbaner Grüner Infrastruktur ist in Zeiten des Klimawandels ein Gebot der Notwendigkeit, die mit der Wiederverwendung von mineralischen Abfällen, insbesondere Bauabfälle und Bodenmaterialien, zusammengebracht werden sollten. Dieser Stoffstrom stellt sowohl eine globale Herausforderung als auch ein signifikantes Ressourcenpotenzial zum Ersatz von mineralischen Primärrohstoffen dar. Der Vorteil begrünter Konstruktionen aus Ersatzbaustoffen besteht somit nicht nur in den positiven Ökosystemleistungen der begrünten Flächen und den Kapazitäten zur Klimaanpassung, sondern auch in der Schließung von Stoffkreisläufen.

Petra Schneider, Paul Stachowiak, Alexander Marx, Gina Wilhelm, Tino Faulk, Jonas Kannengießer und Sven Schwerdt

Die Wiederverwendung von Materialien sowie die Begrünung von Städten sind zwei große aktuelle Themen. Im Projekt „Ersatzbaustoffe in bautechnischen Biotopnetzelementen der Urbanen Grünen Infrastruktur: Machbarkeit, Ökobilanzierung und Ökosystemleistungen (Recycle-BIONET)“ wird untersucht, inwiefern sich diese verbinden lassen. Mineralische Abfälle, insbesondere Bauabfälle und Bodenmaterialien, sind nach Erreichung eines entsprechenden Urbanisierungsgrades der mengenmäßig größte Abfallstrom. Dieser Stoffstrom stellt sowohl eine globale Herausforderung als auch ein signifikantes Ressourcenpotenzial zum Ersatz von mineralischen Primärrohstoffen dar. Der Vorteil begrünter Konstruktionen aus Ersatzbaustoffen besteht somit nicht nur in den positiven Ökosystemleistungen der begrünten Flächen und den Kapazitäten zur Klimaanpassung, sondern auch in der Schließung von Stoffkreisläufen. Je nach Anwendungsgebiet werden unterschiedliche Anforderungen an die Materialien gestellt, wodurch sich ein breites Anwendungsprofil ergibt und sich unterschiedliche mineralische Ersatzbaustoffe (MEB) potenziell für eine Anwendung in Grüner Infrastruktur (GI) eignen könnten. Als GI wird gemäß der Definition der Europäischen Kommission ein strategisch geplantes Netzwerk aus natürlichen und naturnahen Flächen mit weiteren Umweltelementen bezeichnet, welches Ökosystemleistungen bereitstellt und zum Schutz der biologischen Vielfalt beiträgt. Ein beson-

derer GI-Vorteil ist Multifunktionalität und somit die Stärkung der städtischen Resilienz.

Allein in Deutschland fallen jährlich mehr als 220 Mio. t mineralische Abfälle an [1]. Die Hälfte davon besteht aus Bodenaushub, Baggergut und Gleisschotter. Aber es stammen auch 91 Mio. t aus dem Bausektor mit Abfällen wie Bauschutt, Straßenaufbruch, Gips und Baustellenabfällen sowie Mauersteinen oder Ziegelmischungen [1]. Zahlreiche Studien haben bereits nachgewiesen, dass MEB Primärmaterialien ersetzen können. Wenn die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden, kann dies auch ohne langfristige Folgen für Mensch und Umwelt geschehen. In Deutschland liefert seit 2023 unter dem Dach der „Mantelverordnung für Ersatzbaustoffe und Bodenschutz“ die Ersatzbaustoffverordnung (EBV) die rechtlichen Grundlagen dafür [2], [3].

Prinzipiell wird bei Dachbegrünung zwischen extensiver und intensiver Ausführung unterschieden. Der Begriff Extensivbegrünung beschreibt Dachflächen-Bepflanzungen, die durch geringen Aufwand hergestellt und unterhalten werden können. Diese Form ist durch eine geringe Substratmächtigkeit von 5 bis 20 cm charakterisiert und die entsprechenden Pflanzenarten sind hinsichtlich der Nährstoff- und Wasserversorgung anspruchslos. Aufgrund der damit einhergehenden Vegetationsschicht von 60 kg/m² – 250 kg/m² eignet sich Extensivbegrünung besonders für Dächer mit geringer Traglast [4]. Intensiv bewirtschaftete Gründächer umfassen größere Bäume und Sträucher, die mit Kleingehölzen und Stauden unterpflanzt werden. Die Substratdecke kann bis zu 200 cm mächtig sein. Für diese Form ist eine dauerhafte Pflege wie Bewässerung, Düngung, Schnittmaßnahmen und Wildkrautbekämpfung notwendig. Voraussetzung für eine intensive Dachbewirtschaftung ist somit eine ausreichende Belastbarkeit des Daches, da aufgrund der oft schweren Vegetationsschicht hohe Traglasten von bis zu 3.000 kg/m² erzeugt werden [5]. Ein Beispiel hierfür ist das Hundertwasserhaus in Magdeburg. Hinzu kommt, dass mit dem Wachstum von Hecken und Bäumen die Traglast über die Jahre sukzessive zunimmt. Das Vorhaben Recycle-BIONET fokussiert auf Extensivbegrünung, da dies bei den vergleichsweise geringen mittleren Jahresniederschlägen in Sachsen-Anhalt die Dachbegrünungsform ist, deren Implementierung langfristig am wahrscheinlichsten realisierbar ist.

/ Kompakt /

- Die Umsetzung von Dachbegrünungsanwendungen auf kommunaler Ebene bietet enorme Potenziale im Bereich Klimaschutz, Klimaanpassung und Ressourceneffizienz, wenn die entsprechende Menge an Rohstoffen zur Verfügung steht.
- Dies macht die Nutzung von Ersatzbaustoffen umso dringlicher.
- Untersuchte Ersatzbaustoffmischungen zeigen bisher eine grundsätzliche Eignung als Dachgrünsubstrate und teilweise günstigere Eigenschaften als das Referenzsubstrat aus Primärrohstoffen.

Begrünte Dächer können je nach Schichtaufbau große Anteile des Regenwassers zurückhalten als auch speichern und bilden daher Retentionselemente im Rahmen des Schwammstadtansatzes. Das gespeicherte Regenwasser sorgt bei Verdunstung für eine Abkühlung der Lufttemperatur um 1 °C bis 3 °C und kann so dem Wärmeinseleffekt in Städten entgegenwirken. Der Kühlungseffekt wird dabei durch die Vegetation gewährleistet, wobei diese nicht nur zur CO₂-Bindung, sondern auch zur CO₂-Reduktion beiträgt.

Im Klima- und Energiekonzept Sachsen-Anhalt (KEK) werden Maßnahmen zur Energieeinsparung in verschiedenen Handlungsfeldern dargestellt. Das Projekt Recycle-BIONET hat insbesondere einen Bezug zu den Handlungsfeldern D2.1 des KEK: Steigerung der Material- und Ressourceneffizienz sowie Kreislaufwirtschaft und B 1.1 des KEK: Klimaschutz und Energieeffizienz in der Siedlungswirtschaft. Es ist ingenieurökologisch ganzheitlich angelegt und zielt darauf ab, geschlossene Stoffkreisläufe in ökologischen Systemen zu entwickeln und zu etablieren. Die Ingenieurökologie beschäftigt sich dabei als Synthese von Ökologie und Ingenieurwesen mit dem nachhaltigen Gestalten und Betreiben stark menschlich beeinflusster Ökosysteme und nutzt hierfür naturbasierte Methoden [6]. Mitsch & Jorgensen (2003) [7] fassten fünf Grundkonzepte zusammen, die die Ingenieurökologie von anderen Ansätzen unterscheiden, um Probleme zum Wohl von Gesellschaft und Natur anzugehen:

- Ingenieurökologie basiert auf der Selbstgestaltungsfähigkeit von Ökosystemen;
- sie kann der Feldtest (oder Härtetest) ökologischer Theorien sein;
- sie stützt sich auf Systemische Ansätze;
- sie schont nicht erneuerbare Energiequellen und
- sie unterstützt den Ökosystem- und biologischen Schutz.

Das Projekt Recycle-BIONET trägt diesem Anspruch Rechnung. Das Projekt lief von 2022 – 2023 an der Hochschule Magdeburg-Stendal und wurde vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie in Sachsen-Anhalt finanziert. Kooperationspartner ist das Stadtplanungsamt Magdeburg. Im vorliegenden Beitrag werden Zwischenergebnisse präsentiert.

Untersuchungsmethodik

Die methodische Vorgehensweise im Projekt Recycle-BIONET lässt sich übersichtsmäßig wie folgt zusammenfassen:

Themenschwerpunkt Machbarkeit und Eignungsuntersuchung

1. Literaturrecherche zum Stand von Wissenschaft und Technik von Dachbegrünungen
2. Detailrecherche zu vorausgewählten Materialarten
3. Laborversuche zur Übersichtsprüfung der Eignung der Materialien
4. Bodenmechanische, bodenphysikalische und bodenchemische Untersuchung der Materialien
5. Kleinskalige Feldversuche zur Eignung der Materialkombinationen unter Realbedingungen (Reallabor)

Themenschwerpunkt Ökobilanzierung

6. Detailrecherche zum Stand von MEB-Ökobilanzdaten zu vorausgewählten Materialarten

7. Ökobilanzierung mit dem Modell SimaPro und der Datenbank Ecoinvent
8. Ableitung von Schlussfolgerungen zur Ökobilanz, insbesondere im Vergleich zu Primärmaterialien

Themenschwerpunkt Ökosystemleistungen

9. Bestandsaufnahme der Dachsituation in Magdeburg unter Nutzung von Luftbilddaten
10. Skalierung in die Fläche: Erstellung eines Potenzialkatasters für Dachbegrünungen in Magdeburg unter Nutzung der Daten der Bestandsaufnahme
11. Berechnung des Wasserhaushaltes der geeigneten Materialkombinationen und Übertragung der Ergebnisse in die Fläche auf der Basis der bodenphysikalischen Daten
12. Untersuchung der Biotopvernetzungspotenziale für Dachbegrünungen in Magdeburg unter Nutzung des Potenzialkatasters, basierend auf dem Strahlursprung-Trittsstein-Konzept des Deutschen Rates für Landespflege
13. Ableitung von Schlussfolgerungen zu Ökosystemleistungspotenzialen.

Im Folgenden werden Zwischenergebnisse vorgestellt.

Zwischenergebnisse

Machbarkeit und Eignung der Materialien

Eine umfassende Literaturrecherche zum Stand von Wissenschaft und Technik von Dachbegrünungen wurde durchgeführt, sowohl national als auch international. Dabei zeigte sich, dass es auch auf der internationalen Ebene Bestrebungen gibt, Ersatzbaustoffe in Dachbegrünungen einzusetzen, die Anzahl der durchgeführten Projekte aber bis jetzt überschaubar ist. Im Rahmen der Recherche wurden 15 Materialarten als Ersatzbaustoffe identifiziert, die prinzipiell in alternativen Substraten für Dachbegrünungen oder erdgebundenen Installationen der Urbanen Grünen Infrastruktur Anwendung finden könnten. Diese Materialien lassen sich in die Unterkategorien Bau(rest)stoffe, industrielle Nebenprodukte und Biomasserückstände einteilen, d. h. der größte Teil dieser Materialien sind anorganische mineralische Ersatzbaustoffe, ein geringer Teil sind organische Reststoffe. Beide Materialausgangsarten werden für die Einrichtung von Gründächer benötigt. Die Datensammlung zu vorausgewählten Materialarten erfolgte durch Literatur- und Internetrecherche, aber auch durch Kontakte mit Branchenverbänden, Recyclingfirmen, Ingenieurbüros etc.

Der erste Schritt für das Screening der Materialpalette hinsichtlich einer vegetationstechnischen Eignung wurde mit Hilfe von Laborversuchen durchgeführt (Kressetest). Neun mineralische und fünf organische Materialien wurden in diese Untersuchung einbezogen und die vegetationstechnische Eignung bewertet. Sieben der Materialien wurden für die Erstellung von Versuchsfeldern (Lysimetern) ausgewählt und mit einer Referenzfläche (kommerziell verfügbares Substrat) als Reallabor auf dem Dach der Mensa der Hochschule Magdeburg-Stendal installiert (**Bild 1**). Parallel wurden umfassende bodenmechanische, bodenphysikalische und chemische Analysen der Materialien sowie eine vegetationskundliche Begleitung durchgeführt. Es wurden insgesamt sechs Versuchsfelder mit je 2 x 2 vegetationskundlich vergleichbaren Flächen (vier



Bild 1: Lysimeter-Versuchsfläche auf dem Dach der Hochschule Magdeburg-Stendal

Quadranten) eingerichtet. Die vier Quadranten pro Versuchsfeld wurden abwechselnd mit Sedum-Pflanzmatten und Sedumsprossen begrünt und danach der vegetationskundlichen Beobachtung unterzogen. Die Pflanzmatten setzen sich laut Herstellerangaben aus neun Arten mit sechs Variationen und Sorten zusammen. In Variationen und Sorten liegen die Arten *Sedum album*, *S. reflexum* und *S. spurium* vor. Die Sedumsprossen bestehen aus Diasporenmaterial von etwa sechs Arten. Die Langzeitversuche wurden mit folgenden Substraten (Mischungen von Ersatzbaustoffen) durchgeführt:

- Referenz Extensivsubstrat (Ref),
- Kesselsand, Porenbeton (Verhältnis 1:3) + 25 % Kompost (PB KS),
- Ziegelbruch, Porenbeton (Verhältnis: 1:1) + 12,5 % Kompost + 12,5 % Pyrolysematerial (Pflanzenkohle aus Klärschlamm) (ZB PB PM),
- Ziegelbruch, Porenbeton (Verhältnis: 1:1) + 25 % Kompost (ZB PB K),
- Porenbeton, Leichtbeton, Kalksandstein (Verhältnis: 1:1:1) + 25 % Kompost (PB LB KSS),
- LiDonit LD-Schlacke, Porenbeton (Verhältnis: 1:9) + 25 % Kompost (PB LD).

Die chemische Charakterisierung der Materialien ergab, dass alle Ersatzbaustoff-Substrate sowie das Referenzmaterial unterhalb der EBV formulierten Grenzwerte lagen. Naturgemäß lagen bei Substraten mit Baurestmassen erhöhte Werte für die Parameter Sulfat und spezifische elektrische Leitfähigkeit vor, allerdings fielen diese beim Referenzmaterial mit am höchsten aus. Einige Materialien zeigten leicht erhöhte Metalloidkonzentrationen, die sich aber nur im Feststoff und nicht im Eluat oder Sickerwasser wiederfinden. Die Beobachtung der Summenparameter im Sickerwasser zeigte generell einen fallenden Trend. Die spezifische elektrische Leitfähigkeit

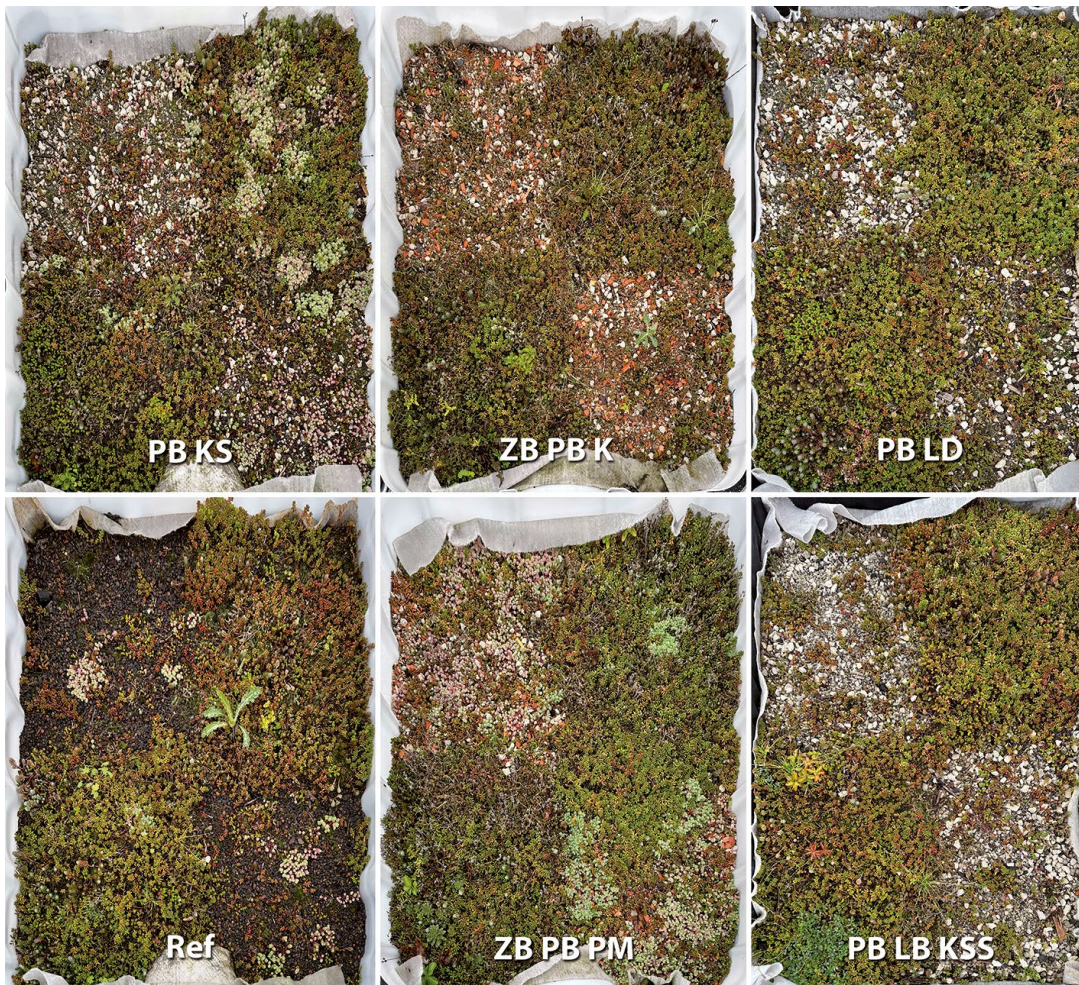
als Indikator für die Sulfatkonzentrationen zeigte ebenfalls einen fallenden Trend im Sickerwasser, wie es für Versuchsflächen, die sukzessive durch Niederschlag ausgewaschen werden, typisch ist. Ob Elemente, die aus den Ersatzbaustoffen ausgewaschen werden, in Pflanzen aufgenommen werden können, kann momentan noch nicht beurteilt werden, da eine Entnahme des Pflanzenmaterials die vegetationskundlichen Untersuchungen beeinträchtigt hätte. Dies wird Gegenstand späterer Untersuchungen sein.

Bild 2 zeigt beispielhaft den Stand der Vegetationsentwicklung der Testfelder im Oktober 2023 (Betriebszeit der Lysimeter ca. 1 Jahr). Detailimpressionen der Vegetationsentwicklung der Lysimeter sind **Bild 3** zu entnehmen.

Die Bewertung der Vegetationsentwicklung wurde anhand der Deckung im Spätfrühling und Herbst durchgeführt. Hier zeigte sich eine teils bessere Vegetationsentwicklung auf den Ersatzbaustoff-Substraten im Vergleich zum Referenzmaterial, wobei der zusätzliche Nährstoffgehalt auf der Fläche mit Pflanzenkohle vegetationsbegünstigend wirkte. Es wurde festgestellt, dass sich durch Sedum-Pflanzmatten eine sehr gute Vegetationsdecke auf allen Substraten ausbilden lässt. Die Vegetationsentwicklung wurde zunächst für jedes Versuchsfeld und jeweilige Quadranten ermittelt, anschließend wurden die Versuchsfelder verglichen. Der ersichtliche Rohbodenanteil für die Quadranten mit Pflanzmatten betrug bei allen Versuchsfeldern nach einem Jahr Betrieb nahezu 0 %, d. h. eine Verwendung von Pflanzmatten ist für die Begrünung von Ersatzbaustoffen zielführend. Eine zukünftige Zunahme des Deckungsgrades für die Quadranten mit Sprossensaat wird erwartet.

Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung von Ersatzbaustoffen in Dachbegrünungen ist ein Themenfeld, dem sich bisher sowohl national als auch inter-



© Paul Stachowiak

Bild 2: Vegetation der Lysimeter im Oktober 2023

national nur zwei wissenschaftliche Studien gewidmet haben. Dies hat wahrscheinlich mit der Komplexität der Problemstellung und der Schwierigkeit bei der Datenbeschaffung zu tun. Durch eine enge Kooperation mit Recyclingfirmen in Magdeburg (insbesondere Storck) sowie eine Detailrecherche zum Stand von MEB-Ökobilanzdaten zu den vorausgewählten Materialarten konnten diese

Datenlücken geschlossen werden. Mit diesen Erkenntnissen und auf Grundlage der DIN EN ISO 14040/14044 wurden der Untersuchungsrahmen und die funktionelle Einheit festgelegt und mit dem Modell SimaPro und der Datenbank Ecoinvent die Ökobilanzierung erstellt. Bei der Betrachtung der MEB wurden die Aufbereitungs- und Transportprozesse analysiert. Neben dem Transport



© Petra Schneider

Bild 3: Detailimpressionen der Vegetationsentwicklung der Lysimeter im Juli 2023

wurde bei den Primärrohstoffen insbesondere der Gewinnungsprozess untersucht. Die betrachteten Materialien umfassten Sekundärbaustoffe (Betonrecycling, Ziegelbruch, Porenbetonbruch, Schaumglasschotter, Gleisschotter, Schlacken und Aschen aus der thermischen Abfallbehandlung wie auch Schlacken aus der Eisen- und Stahlerzeugung) sowie zum Vergleich Primärbaustoffe (Sandstein, Marmor, Bims, Lava, Basalt und Basaltlava). Die im Rahmen der Ökobilanzierung betrachteten Umweltwirkungen umfassen die üblichen Kategorien, d. h. Klimaänderung (Treibhausgaseffekt), abiotischer Ressourcenverbrauch, stratosphärischer Ozonabbau, photochemische Oxidantienbildung, Feinstaubbildung, Versauerung, Eutrophierung und Toxizität (Humantoxizität und Ökotoxizität). Die wichtigste Erkenntnis ist, dass der Einsatz von Primärrohstoffen und MEB eng mit der Verfügbarkeit und geografischen Lage des Einbauortes verknüpft ist. Daher sollte die Verfügbarkeit von potenziell verwendbaren MEB vor einer überregionalen Beschaffung von Primärrohstoffen überprüft werden.

Zur Ermittlung der Umweltauswirkungen der Dachgrünsubstrate wurden die im vorhergehenden Schritt ermittelten Ökobilanzen für reine Materialien genutzt und Daten für fehlende Materialien wie Pyrolysekohle, Grünschnittkompost und Kalksandstein ergänzt. Als funktionelle Einheit wurde 0,1 m³ Lysimeterfläche für die ökobilanzielle Untersuchung genutzt. Es wurde festgestellt, dass die Umweltauswirkungen bei der Produktion von Kompost gegenüber den MEB erheblich höher sind. Bei der Gegenüberstellung der Lysimetermaterialien mit einheitlichem Transportweg wurde auch hier festgestellt, dass der Transportweg einen erheblichen Einfluss auf die Ökobilanz hat. Allerdings haben die verwendeten Energiemengen, die für die Herstellung von Blähton und Pyrolysekohle benötigt werden, eine noch größere Auswirkung auf die Umwelt. Da für die MEB nur geringe Energiemengen und kurze Lieferwege aufgebracht werden müssen, schneiden diese im vorliegenden Vergleich am besten ab. Prinzipiell kann festgestellt werden, dass der Einsatz von MEB als Substitutionsmaterial für Primärrohstoffe keine erheblichen Umweltauswirkungen mit sich bringt und teilweise sogar ökobilanzielle Vorteile im Vergleich zu Primärrohstoffen zeigt. Letztlich hängt die jeweilige Ökobilanz aber von der jeweiligen Substratmischung und der Herkunft deren Bestandteile ab. Insbesondere die Transportdistanzen spielen hier eine Rolle.

Ökosystemleistungen

Einen Schwerpunkt im Projekt bildete die qualitative und quantitative Ermittlung der Ökosystemleistungen (ÖSL), die mittels Dachbegrünungen in Magdeburg erreicht werden können. Von Seiten der Stadt besteht der Wunsch, Dachbegrünungen als verpflichtend in der städtischen Satzung festzuschreiben, um das Potenzial für ÖSL auch mit kleinen, aber zahlreichen Maßnahmen zu verbessern. ÖSL beziehen sich auf direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum Wohlergehen des Menschen, d. h. auf Dienstleistungen und Waren, die dem Menschen einen direkten oder indirekten wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychologischen Nutzen bringen [8]. Demnach ist die biologische Vielfalt die Voraussetzung für eine gesunde und natürliche Entwicklung aller Lebewesen und Ökosysteme und schafft viele ökosystemare Leistungen, die täglich in Anspruch genommen werden. Daneben

spielen weitere ÖSL eine substanzielle Rolle, wie beispielsweise die Pufferkapazität und die Schaffung von Retentionsräumen für Starkregen als Klimaanpassungsmaßnahmen.

Nach Bestandsaufnahme der Dachsituation in Magdeburg unter Nutzung von Luftbilddaten wurde erstmals ein Potenzialkataster für Dachbegrünungen in Magdeburg erstellt. Begleitend wurden verschiedene wasserhaushaltliche Untersuchungen durchgeführt, so die Wasserhaushaltsbilanzierung der eingebauten Substrate sowie die Übertragung der Ergebnisse in die Fläche. Unter Nutzung des Potenzialkatasters wurde das Wasserretentionsvermögen auf Stadtebene ermittelt sowie beispielhaft das Kühlspotenzial. Demnach kann die innerstädtische Temperatur in einigen Stadtquartieren um bis zu 1,8 °C in der Nacht und bis zu 2,1 °C am Tag gesenkt werden, wenn das Potenzial zur Begrünung von Flachdächern voll genutzt werden würde. Außerdem stünden bei Nutzung der Gründachpotenziale ca. 40 Mio. l Wasserrückhaltungspotenzial zur Verfügung, d. h. dieses Niederschlagswasser könnte vorübergehend gespeichert bzw. verzögert abgegeben werden. Das langfristige Wasserspeicherungspotenzial wurde mit 4,3 Mio. l berechnet. Allerdings handelt es sich hierbei um einen theoretischen Wert, da die Retentionseigenschaften auch stark von Trockenphasen beeinflusst werden können. Außerdem wurde das Potenzial für die Stadt berechnet, d. h., dass erhebliche lokale Unterschiede bestehen können. Des Weiteren besteht ein theoretisches CO₂-Bindungspotenzial von etwa 20,1 Mio. kg. Da es sich hierbei aber nahezu ausschließlich um extensive Begrünung handelt, ist nahezu keine langfristige CO₂-Speicherung gegeben (ausgenommen das Hundertwasserhaus mit einer intensiven Dachbegrünung).

Die Untersuchung der Biotopvernetzungspotenziale für Dachbegrünungen in Magdeburg unter Nutzung des Potenzialkatasters, basierend auf dem Trittstein-Konzept, bildete ebenfalls einen Schwerpunkt in der Forschungsarbeit. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass theoretisch ein Drittel aller Dachflächen in Magdeburg als potenzielle Begrünungsflächen betrachtet werden kann, wobei dieser Wert als Schätzung des maximalen Potenzials angesehen wird und keine Eigentumsverhältnisse berücksichtigt. Demnach kann aus der potenziellen Fläche abgeleitet werden, dass die Fläche an Gründächern etwa um fast das 20-fache erhöht werden könnte. Hinsichtlich der Biotopvernetzungspotenziale weisen derzeitige Gründächer primär im Stadtzentrum, insbesondere beim Hundertwasserhaus und dem Allee-Center, eine Vernetzung auf. Bei Berücksichtigung der Dachposition ist anzunehmen, dass eine erhebliche Steigerung der Vernetzung erreicht werden könnte, wenn auf den Garagendächern Magdeburgs Begrünung umgesetzt würde.

Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Die untersuchten Ersatzbaustoffmischungen zeigen bisher eine grundsätzliche Eignung als Dachgrünsubstrate und teilweise günstigere Eigenschaften als das Referenzsubstrat aus Primärrohstoffen. Die Umsetzung von Dachbegrünungsanwendungen auf kommunaler Ebene, nicht nur in Magdeburg, bietet enorme Potenziale im Bereich Klimaschutz, Klimaanpassung und Ressourceneffizienz. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass diese Potenziale nur genutzt werden können, wenn die entsprechende Menge an Rohstoffen zur Verfügung steht. Dies macht die Nutzung von Ersatz-

baustoffen umso dringlicher, da im Fall der weiteren Nutzung von Primärrohstoffen neue Tagebaue aufgeföhren werden müssten, um die Rohstoffbedarfe zu bedienen.

Danksagung

Wir danken dem Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie Sachsen-Anhalt (jetzt Ministerium für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt) für die Förderung des Projektes Recycle-BIONET (Förderkennzeichen U02/2021).

Literatur

- [1] Umweltbundesamt. (2023). Bauabfälle. Verfügbar online: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#verwertung-von-bau-und-abbruchabfallen>. Abgerufen am 15. Dezember 2023.
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2022). Mantelverordnung. Verfügbar online: <https://www.bmuv.de/faqs/mantelverordnung>. Abgerufen am 15. Dezember 2023.
- [3] Ersatzbaustoffverordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 186) geändert worden ist.
- [4] Minke, G. (2016). Dächer Begrünen: Planung, Ausführung, Praxistipps (5. Auflage). Ökobuch Verlag. ISBN: 978-3-936896-89-3.
- [5] ZinCo International. Substrate und Systemerde für Dachbegrünungen. Verfügbar online: <https://www.zinco.de/substrate>. Abgerufen am 10. Dezember 2022.
- [6] Ingenieurökologische Vereinigung e.V. (2021). Unser Strategiepapier 2030. Abgerufen am 24. April 2022.
- [7] Mitsch, W.J., & Jørgensen, S.E. (2003). Ecological engineering: A field whose time has come. In: Ecological Engineering, 20(5), 363–377. doi:10.1016/j.ecoleng.2003.05.001.
- [8] Millennium Ecosystem Assessment MEA. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Autoren

Prof. Dr. Petra Schneider

M.Eng. Paul Stachowiak

B.Eng. Alexander Marx

B.Eng. Gina Wilhelm

M.Sc. Tino Faulk

B.Eng. Jonas Kannengießer

Prof. Dr. Sven Schwerdt

Hochschule Magdeburg-Stendal

Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit

Breitscheidstraße 2

39116 Magdeburg

petra.schneider@h2.de



Ersatzbaustoffe



Schneider, P.; Schwerdt, S. et al.: Einsatz von Ersatzbaustoffen in Kunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktionen für Urbane Grüne Infrastruktur. In: WASSER UND ABFALL, Ausgabe 6/2022. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. <https://sn.pub/5yOgtr>

Merschel, G.: Herstellung und Verwendung von mineralischen Ersatzbaustoffen nach Maßgabe der neuen Ersatzbaustoffverordnung. In: WASSER UND ABFALL, Ausgabe 12/2021. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2021. <https://sn.pub/4G5a0c>

