

Einsatz von Ersatzbaustoffen in Kunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktionen für Urbane Grüne Infrastruktur

Ersatzbaustoffe können aus bodenmechanischer Sicht nicht nur Primärmaterialien in Ingenieurbauwerken ersetzen, sondern stützen in Kombination mit Bodenmaterial eine Begrünung der Bauwerksoberfläche. Bei deren Einsatz in Kunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktionen zur Sicherung von Geländesprüngen lässt sich Urbane Grüne Infrastruktur gestalten. Diese ist geeignet, einen Beitrag zur Erhöhung des Grünflächenanteils und somit zur Hitzebufferung im Rahmen von Klimaanpassungsmaßnahmen im städtischen Raum zu leisten.

Petra Schneider, Sven Schwerdt, Dominik Mirschel, Max Wilke und Tobias Hildebrandt

Mineralische Abfälle und darunter insbesondere Bauabfälle und Bodenmaterialien sind nach Erreichung eines gewissen Urbanisierungsgrades der mengenmäßig größte Abfallstrom. Auf der EU-Ebene ist dieser Zustand bereits eingetreten, während sich auf globaler Ebene die Entwicklungsländer noch im Urbanisierungsprozess befinden und sich der große Stoffstrom der Bauabfälle und Bodenmaterialien dort zeitversetzt einstellen wird. Nichtsdestotrotz stellt dieser Stoffstrom sowohl eine globale Herausforderung, als auch ein signifikantes Ressourcenpotenzial zum Ersatz von mineralischen Primärrohstoffen dar. In Deutschland fällt der Stoffstrom unter die Klasse der Ersatzbaustoffe, also „anstelle von Primärrohstoffen verwendete Baustoffe aus industriellen Herstellungsprozessen oder aus Aufbereitungs-/Behandlungsanlagen (Abfälle, Produkte) wie z. B. Recyclingbaustoffe (Bauschutt), Bodenmaterial, Schlacken, Aschen, Gleisschotter“ [1]. Zur Schonung natürlicher Rohstoffressourcen wird angestrebt, bei Bauvorhaben in Zukunft

Ersatzbaustoffe bevorzugt einzusetzen. Einige der vorgenannten Abfälle stellen dabei in der Abfallbranche Problemstoffe dar und werden überwiegend nur für untergeordnete Aufgaben (Verfüllung) oder gar nicht in den Stoffkreislauf zurückgeführt. Die Nutzung eines Teils dieser Massen in Ingenieurbauwerken, Verkehrswegen oder anderen Bereichen des Bauwesens hat erhebliche Relevanz für die Schonung natürlicher Ressourcen durch Einsparung von Primärrohstoffen und kann damit auch die Umweltbilanz und die Recyclingquote erheblich verbessern.

Neben der Problematik der Reduzierung und Verknappung der Primärrohstoffe ist die Klimapolitik präsenter als je zuvor. Der Klimawandel führt zur Ausbildung von vermehrten Dürre- und Hitzeperioden. Somit bilden sich, vor allem im städtischen Bereich, Wärmeinseln. Definiert sind diese durch den Lufttemperaturunterschied zwischen der wärmeren Stadt und dem kühleren Umland. Diese Wärmeinseln erreichen ihr Maximum bei wolkenfreien und windschwachen Wetterbedingungen. Weitere Einflussfaktoren sind die Gebäudegeometrie, thermische Eigenschaften der Bausubstanzen, die Strahlungseigenschaften der Oberflächen und anthropogene Wärmefreisetzung [2]. Um das Risiko einer innerstädtischen Aufheizung zu reduzieren, eignet sich Urbane Grüne Infrastruktur (UGI). Grüne Infrastruktur ist ein strategisch geplantes Netzwerk natürlicher und naturnaher Flächen mit weiteren Umweltelementen, das so angelegt ist und bewirtschaftet wird, dass es ein breites Spektrum an Ökosystemdienstleistungen gewährleistet [3].

/ Kompakt /

- Ersatzbaustoffe sollten nicht nur bei untergeordneten Einsatzzwecken wie der Verfüllung von Restlöchern, sondern auch in hochwertigen Anwendungen eingesetzt werden.
- Die Eignung von Ersatzbaustoffen zur Errichtung von Kunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktionen als Füllmaterial und im Gemisch mit organischen Böden als Begrünungsmaterialien wurde bestätigt.
- Vorteilhaft ist das Wasserspeichervermögen porenhaltiger Ersatzbaustoffe für einen dauerhaften Begrünungserfolg.
- Diese Konstruktionen erlauben die Gestaltung Urbaner Grüner Infrastruktur und sind geeignet, den Grünflächenanteil im städtischen Raum zu erhöhen.

Forschungsansatz und Methodik

Im Projekt „Recycle – KBE“ wurde die Verwendbarkeit von Ersatzbaustoffen (Hochofenschlacke, Elektroofenschlacke, Gleisschotter, Betonrecycling, Porenbeton und Ziegelbruch) in ingenieurtechnischen Bauwerken untersucht.

Die Nutzung von Ersatzbaustoffen in Ingenieurbauwerken, Verkehrswegen oder anderen Bereichen des Bauwesens hat erhebliche

Relevanz für die Schonung natürlicher Ressourcen durch Einsparung von Primärrohstoffen und kann damit die Umweltbilanz der Baumaßnahmen verbessern. Daneben war es ein weiteres Ziel, die Begrünbarkeit von Ersatzbaustoffen zu untersuchen. Zum Erreichen dieser Ziele wurde eine begrünte Kunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktion (KBE-Konstruktion) errichtet, deren mineralische Bestandteile nahezu vollständig aus Ersatzbaustoffen bestand. Dabei wurden sowohl für die Füllböden als auch die Außenhaut Ersatzbaustoffe verwendet. Als begrünungsfähige Schichten an der Außenseite wurden Gemische aus Oberboden und verschiedenen Ersatzbaustoffen eingebaut (Bild 1).

Die Auswahl potentieller Materialien für die KBE-Konstruktion erfolgte im Hinblick auf die bodenmechanischen und chemischen Eigenschaften, die Beständigkeit, die erwarteten Eigenschaften im Verbund mit den Geokunststoffen in der KBE und dem Potential zur Rezyklierbarkeit. Als Füllböden wurden Betonrecycling, Hochofenschlacke, Elektroofenschlacke und Gleisschotter ausgewählt. Für das Begrünungssubstrat der Außenhaut wurden Ziegelbruch und Porenbeton als Hauptmaterial im Verhältnis 2 : 1 mit Oberboden vermischt. Als Saatgutmischung wurde ein handelsübliches Saatgut (Schattenrasen, Acker-Ringelblume, Vergissmeinnicht, Glockenblume) verwendet, das u. a. für Dachbegrünungen geeignet ist.

Die bodenmechanischen Untersuchungen umfassten neben den Standardversuchen, wie Bestimmung von Korngrößenverteilung, Proctordichte und Dichte auch Untersuchungen zur Bestimmung des Scher- und Herausziehverhaltens der Ersatzbaustoffe selber sowie in Verbindung mit dem Geokunststoff in der KBE-Konstruktion. Ferner wurden Untersuchungen zur Einbaubeschädigung der Geogitter innerhalb der Ersatzbaustoffe durchgeführt. Außerdem erfolgten



Bild 1: Im Projekt Recycle-KBE eingesetzte Füllmaterialien, von links nach rechts: Betonrecycling, Hochofenschlacke, Elektroofenschlacke, und Gleisschotter

Untersuchungen zur Bestimmung der nutzbaren Feld- und Luftkapazität. Die chemischen Untersuchungen umfassten zunächst Untersuchungen an den eingesetzten Ersatzbaustoffen. Zusätzlich wurde über die gesamte Standzeit der KBE-Konstruktion das Sickerwasser gesammelt und fortlaufend auf chemische Inhaltsstoffe untersucht. Die untersuchten Materialparameter orientierten sich dabei an der LAGA M 20 [4].

Der Großversuch erfolgte auf dem Gelände der Hochschule Magdeburg-Stendal. Zur Korrelation mit den Witterungsbedingungen konnte auf die Messwerte der hochschuleigenen Wetterstation zurückgegriffen werden. Die KBE-Konstruktion bestand aus vier

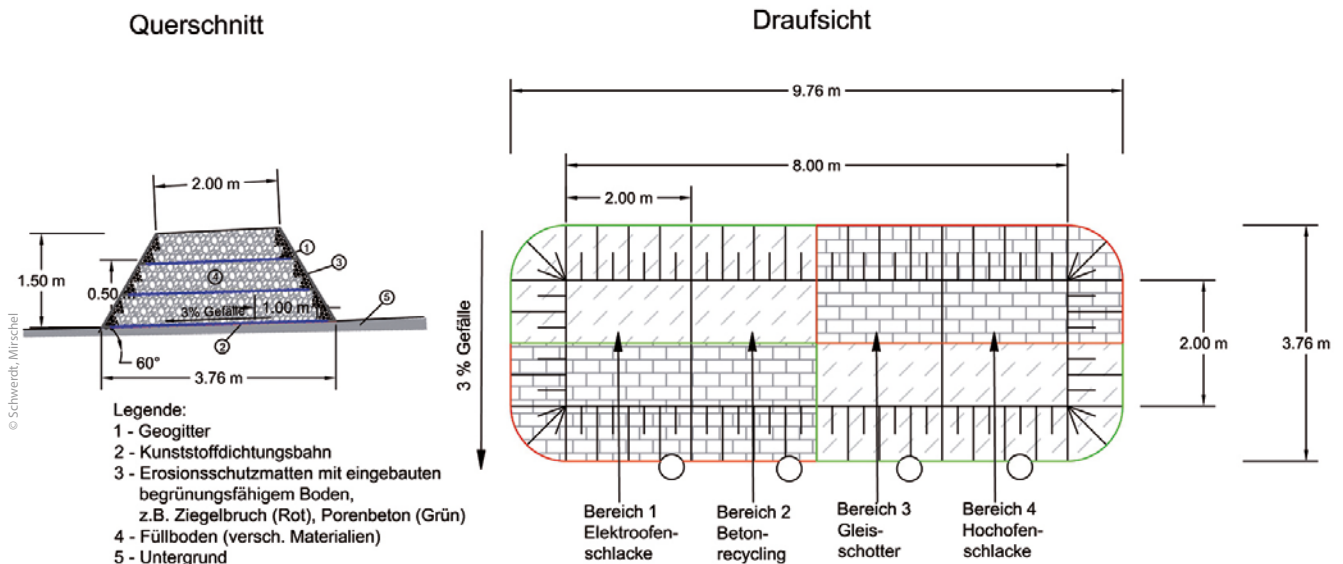


Bild 2: Draufsicht und Querschnitt der KBE-Konstruktion



© Schmelder

Bild 3: Links: Ansicht der Aufstandsfläche vor Beginn der Verlegearbeiten der KBE-Konstruktion; Rechts: Nordwestansicht der begrünten Konstruktion im Oktober 2020

Bereichen, in denen jeweils verschiedene Ersatzbaustoffe als Füllboden verwendet wurden (**Bild 1**). An der Basis wurde jeweils eine Kunststoffdichtungsbahn verlegt. Diese erhielt ein Gefälle von 3 % zur nördlich gelegenen Frontseite. Das durch die Konstruktion sickende Wasser wird dort gesammelt und in Sickerwassersammelbehälter geleitet (**Bild 2** und **Bild 3**).

Seit der Errichtung der KBE-Konstruktion wird die Sickerwassermenge für jeden Abschnitt separat in Schächten erfasst und der Bewuchs dokumentiert. Das Sickerwasser wird regelmäßig chemisch untersucht und die Vegetationsentwicklung kartiert.

Ergebnisse

Die wichtigsten bodenmechanischen Kenndaten sind in **Tabelle 1** und **Tabelle 2** zusammengestellt. Weitere Untersuchungsergebnisse sind in [5] und [6] enthalten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die bodenmechanischen Parameter der getesteten Ersatzbaustoffe ausnahmslos im Bereich eines ver-

gleichbaren Kieles liegen. Unterschiede sind nur bei einigen Proctordichten oder Korndichten erkennbar.

Hinsichtlich der chemischen Untersuchungen ist festzuhalten, dass die Sulfatgehalte in allen Materialien (mit Ausnahme von Gleisschotter und EOS) hoch waren und meist zu einer Einstufung in die Verwertungsklasse Z2 nach LAGA M20 führten. Dies führte auch zu vergleichsweise hohen elektrischen Leitfähigkeiten im Eluat. Da Sulfatgehalte in der Regel unkritisch sind, erfolgte die nachfolgende Auswertung unter Vernachlässigung der Sulfatwerte. Das Betonrecycling-Material hat eine Zuordnungsklasse von Z1.2 nach LAGA M 20. Die Werte für Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), elektrische Leitfähigkeit und Sulfat verursachten die Z1.2-Klassifizierung. Ziegelbruch unterlag der Zuordnungsklasse Z1.2 aufgrund der entsprechend erhöhten Konzentrationen an PAK, elektrischer Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat. Hochofenschlacke unterlag der Zuordnungsklasse Z0 (unter Vernachlässigung des Sulfatwertes, bei Berücksichtigung von Sulfat Z2). Elektroofenschlacke hatte die Zuordnungsklasse Z0. Auch Gleisschotter war der Zuordnungsklasse Z0 zuzuordnen. Porenbe-

Tabelle 1: Ergebnisse der bodenmechanischen und chemischen Untersuchungen an den Füllmaterialien ([5], [6])

Materialart Füllkörper	Hochofenschlacke	Elektroofenschlacke	Betonrecycling	Gleisschotter
Bodenart (DIN EN ISO 14688-1)	mgrCGr	cgrMGr	Gr	mgrCGr
Bodenklassifikation (DIN EN ISO 14688-2)	gleichmäßig abgestufter Kies	gleichmäßig abgestufter Kies	mittel bis gut abgestufter Kies	gleichmäßig abgestufter Kies
Bodengruppe (DIN 18196)	GE	GE	GW	GE
Korndichte [g/cm ³]	2,41 – 2,83	3,84 – 3,96	2,55 – 2,57	2,66
Glühverlust [%]	0	0	0	0
Wassergehalt [%]	24,5	25,8	n.b.	n.b.
Proctordichte [g/cm ³]	1,51 – 1,58	2,10 – 2,16	1,96	1,61
pH-Wert	10,2	10,7	9,3	9,3
Feldkapazität [%]	2,29	1,81	9,97	n.b.
Luftkapazität [%]	7,90	6,20	9,53	n.b.
LAGA M20 Klassifikation	Z 2 (Sulfat)	Z 0	Z 1.2 (Sulfat)	Z 0

Quelle: Schwerdt und Hildebrandt et al.



Bild 4: Ansichten der KBE-Wand: links 3 Monate nach Installation im Mai 2020, rechts: Detailansicht

ton war der Zuordnungsklasse Z2 zuzuordnen. Hier wurden die Einstufungswerte für Blei und Sulfat überschritten. Aus bodenmechanischer Sicht wurde der Nachweis erbracht, dass die Ersatzbaustoffe in KBE-Konstruktionen verwendet werden können. Die bodenmechanischen Parameter Proctordichte, Kornverteilung, Korndichte und Scherfestigkeit (Reibungswinkel) entsprechen denen von Primärbaustoffen.

Die Kartierung der Vegetationsuntersuchung zeigt, dass die Art der verschiedenen Ersatzbaustoffe und die Ausrichtung der KBE bzgl. der Sonneneinstrahlung für den Begrünungserfolg ausschlaggebend sind. Je nach Sonneneinstrahlungsdauer war die Vegetation unterschiedlich gut ausgebildet. Wie in den zuvor durchgeführten Vorversuchen [5], [6] zeigte sich auch im Großversuch, dass der Ziegelbruch für einen schnellen Erfolg geeignet ist, während der Porenbeton eine langanhaltende wasserspeichernde Wirkung zeigt (**Bild 4**). Die Pflanzen, die auf der KBE gewachsen sind, waren alle Pionierpflanzen (Erstbesiedler) oder Ruderalpflanzen. Diese Gattungen haben keine großen Anforderungen an den jeweiligen Boden und können eigentlich überall wachsen. Es wird erwartet,

dass in den kommenden Vegetationsperioden ein dichter, gleichmäßiger Bewuchs auftritt und insbesondere die Wasserspeicherefähigkeit der Ersatzbaustoffe dann zu einer andauernden Begrünung der Konstruktion führt.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass Ersatzbaustoffe geeignet sind, Primärmaterialien in Ingenieurbauwerken zu ersetzen. Die bodenmechanischen Eigenschaften waren vergleichbar. Die chemischen Eigenschaften machen bei einigen Materialien zusätzliche Maßnahmen nötig, die aber ebenfalls bereits Stand der Technik sind (MTSE) [7].

In Bezug auf die chemischen Eigenschaften ist eine Differenzierung sowie eine Anpassung an die konkreten Gegebenheiten erforderlich. Die untersuchten Materialien sind allesamt für die Verwertung geeignet, wobei sich die Verwertungsklassen der Materialien unterscheiden. Insbesondere der hohe Sulfatgehalt ist bei einigen

Tabelle 2: Ergebnisse der bodenmechanischen und chemischen Untersuchungen an den Außenhautmaterialien ([5], [6])

Materialart Außenhaut	Mischung Porenbeton/ Oberboden	Mischung Ziegelbruch/Oberboden
Bodenart (DIN EN ISO 14688-1)	grcsiSa	csisaGr
Bodenklassifikation (DIN EN ISO 14688-2)	gut abgestufter Sand	gut abgestufter Kies
Bodengruppe (DIN 18196)	SU	GU
Korndichte [g/cm ³]	1,89	2,47 – 2,64
Glühverlust [%]	7,04	2,5
Proctordichte [g/cm ³]	1,24	1,96
pH-Wert	8,8	8,0
Feldkapazität [%]	14,96	13,96
Luftkapazität [%]	2,13	5,55
LAGA M20 Klassifikation	Z 2 (Sulfat)	Z 1.2 (Sulfat)

Quelle: Schwerdt und Hildebrandt et al.

Materialien zu betrachten. Die Sulfatgehalte bewirkten eine Einstufung zahlreicher Materialien in die Verwertungsklasse Z 2 nach LAGA M 20. Unter Vernachlässigung des Sulfatanteils waren die verwendeten Materialien überwiegend den Verwertungsklassen Z0 oder Z1.1 zuzuordnen. Die laufenden chemischen Wasseranalysen bestätigten im Wesentlichen die Ergebnisse. Auch aus den chemischen Analysen lässt sich ableiten, dass die Ersatzbaustoffe in begrünten Ingenieurbauwerken verwendet werden können. Gegebenenfalls müssen Zusatzmaßnahmen vorgesehen werden, um eine Elution schädlicher Inhaltsstoffe zu verhindern.

Im Hinblick auf die allgemeine Verwendbarkeit folgt daraus, dass die Materialien mit dem Klassifizierungswert Z2 nur mit einer wasserundurchlässigen Schicht oder mit zusätzlichen technischen Sicherungsmaßnahmen verbaut werden können. In einem solchen Fall ist das Merkblatt M TS E [7] maßgebend. Wird Sulfat als nicht kritisch angesehen, sind alle Stoffe den Zuordnungsklassen Z 0 bzw. Z 1.1 zuzuordnen. Damit ist der Einbau an folgenden Stellen möglich [4]:

- Straßen, Wege, Verkehrsflächen (Ober- und Unterbau),
- Industrie-, Gewerbe- und Lagerflächen (Ober- und Unterbau),
- Unterkonstruktion von Gebäuden,
- Unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht von Erdarbeiten (Lärm- und Schutzwände),
- Unterbau von Sportanlagen.

Ersatzbaustoffe werden auch heute bereits in vielen Bereichen eingesetzt und verfügen über eine gute Recyclingquote. Allerdings beschränkt sich ihr Einsatz häufig auf untergeordnete Einsatzzwecke (downcycling), wie beispielsweise die Verfüllung von Restlöchern. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es hierfür keine Notwendigkeit gibt. Die getesteten Ersatzbaustoffe stehen beispielhaft für die zunehmend mögliche Verwendung dieser Materialien auch in hochwertigen Anwendungen (upcycling).

Die Begrünung der Außenhaut der KBE zeigt, dass Ersatzbaustoffe, im Gemisch mit organischen Böden, als Begrünungsmaterialien geeignet sind. Hier ist insbesondere das Wasserspeichervermögen der porenhaltigen Materialien Ziegelbruch und Porenbeton zu erwähnen, das in zunehmend trockeneren Klimaverhältnissen Vorteile für den dauerhaften Begrünungserfolg aufweist.

Die Konstruktion wird auch nach Ende des Projektes dauerhaft beobachtet. Dabei sollen Erkenntnisse zum langfristigen Begrünungsverhalten der Materialien gewonnen werden. Ferner werden die chemischen Untersuchungen am Sickerwasser fortgeführt. Weiterhin ist eine Ökobilanzierung und Wasserhaushaltsbilanzierung vorgesehen.

Literatur

- [1] Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung, V. v. 09.07.2021 BGBl. I S. 2598.
- [2] DWD. [Online] [Zitat vom: 16. 12. 2020.] https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimawirk/stadtpl/projekt_warmeinseln/projekt_warmeinseln_node.html.
- [3] Europäische Kommission (2013). Building a Green Infrastructure for Europe European Union: Brussels, Belgium, 2013; ISBN 978-92-79-33428-3, Abruf 20.05.2021

- [4] LAGA, Länderarbeitsgemeinschaft Abfall. Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft (LAGA) 20. Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln. 2003.
- [5] S. Schwerdt, P. Schneider und D. Mirschel, „Abschlussbericht Forschungsprojekt Verbesserung und Stärkung der urbanen grünen Infrastruktur durch Einsatz von Ersatzbaustoffen in Kunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktionen (Recycle-KBE),“ Magdeburg, 2020.
- [6] T. Hildebrandt und M. Wilke, Verwendbarkeit von Recyclingbaustoffen als Ersatz zu Primärbaustoffen in Kunststoff-Bewehrte-Erde-Konstruktionen, Magdeburg: Masterarbeit HS Magdeburg-Stendal, unveröffentlicht, 2020.
- [7] FGSV. M TS E 17. Merkblatt über Bauweisen für Technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau. Köln: FGSV-Verlag, 2017.

Autoren

Petra Schneider

Lehrgebiet Ingenieurökologie

Sven Schwerdt

Lehrgebiet Bodenmechanik und Grundbau
Hochschule Magdeburg-Stendal
Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit
Breitscheidstraße 2
39114 Magdeburg
petra.schneider@h2.de
sven.schwerdt@h2.de

Dominik Mirschel

dms14fh@hotmail.com

Max Wilke

wilke.max@freenet.de

Tobias Hildebrandt

Tobs10@gmx.de



Urbane Grüne Infrastruktur

- Breuste, J.: Stadtwildnis willkommen! Integration von Wildnis in urbane Nutzungsbezüge. In: Die wilde Stadt. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum, 2022. www.springerprofessional.de/link/20199000
- Breuste, J.: Wilde Natur in der Stadt. In: Die wilde Stadt. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum, 2022. www.springerprofessional.de/link/20198988