

BBSR-
Online-Publikation
90/2024

Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen – ReBoK

von

Prof. Martin Thieme-Hack
Andre Floß



Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen – ReBoK

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.25

Projektlaufzeit: 02.2021 bis 01.2023

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Dr.-Ing. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
zb@bbr.bund.de

Autoren

Hochschule Osnabrück
Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur
Prof. Martin Thieme-Hack (Projektleitung)
m.thieme-hack@hs-osnabrueck.de

Andre Floß, M. Eng.
a.floss@hs-osnabrueck.de

Lektorat

Hochschule Osnabrück

Stand

März 2023

Gestaltung

Hochschule Osnabrück

Bildnachweis

Titelbild: Aufbereitungsanlage BMFO, Andre Floß
Alle weiteren Bilder sind Fotografien der Autoren. Bilder aus anderen Quellen sind in der Beschreibung entsprechend gekennzeichnet.

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Thieme-Hack Martin; Floß, Andre, 2024: Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen – ReBoK.
BBSR Online-Publikation 90/2024, Bonn.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Kurzfassung | 6 |
| Abstract | 7 |
| Einführung | 8 |
| Anlass | 8 |
| Methode und Zielsetzung | 9 |
| Abfallrechtliche Vorgaben beim Umgang mit Böden | 10 |
| Regelungen der Mantelverordnung | 11 |
| Ersatzbaustoffverordnung (EBV) | 12 |
| Anzeigepflichten und Ersatzbaustoffkataster | 15 |
| Neufassung BBodSchV | 16 |
| Änderungen der AVV und DepV | 17 |
| Umgang mit Kleinmengen | 17 |
| Herausforderungen der MantelV | 18 |
| Bestehende Herausforderungen (Ergebnisse aus der Befragung) | 19 |
| Potentiale | 20 |
| Anforderungen an die Wiederverwendung von Bodenaushub | 21 |
| Verfahrensvergleich zum Wiedereinbau | 21 |
| Unbehandelter Wiedereinbau – bodenähnliche Verwertung | 21 |
| Behandelter Wiedereinbau | 22 |
| Bodenstabilisierung mit Kalk | 22 |
| Trockenmechanischen Behandlung | 22 |
| Mikrobiologie | 22 |
| Bodenwäsche | 23 |
| Flüssigboden | 23 |
| Pilotprojekte ressourcenschonendes Bodenmanagement | 25 |
| Stammdaten Pilotprojekte | 25 |
| Kanal- und Tiefbau, Hausanschlüsse | 26 |
| Hochbau, Gewerbe und Wohngebäude | 26 |
| Gebietsausweisungen | 27 |
| Bewertungsindikatoren | 27 |
| Ergebnisse der Einsparungspotentiale | 29 |
| Deponieraum | 30 |
| Erderwärmungspotential | 31 |
| Baukosten | 31 |
| Ansätze des ressourcenschonenden Bodenmanagements | 33 |
| Möglichkeiten und Grenzen einer zentralen Bodenwiederaufbereitungsanlage | 34 |
| Möglichkeiten | 34 |
| Grenzen | 35 |
| Planungsschritte bei anfallendem Boden | 36 |
| Handlungsempfehlung urbanes Bodenmanagement | 38 |
| Hinweise für Genehmigungsbehörden | 41 |
| Gesamtdiskussion | 43 |

| | |
|--|-----------|
| Einordnung der Ergebnisse in den wissenschaftlichen Kontext | 43 |
| Handlungsempfehlungen einer bundesweiten Anwendung | 44 |
| (Bau)praktische Anschlussfähigkeit über den Abschlussbericht hinausgehender Output | 45 |
| Öffentlichkeit und Lehre | 46 |
| Angaben zu Veröffentlichungen | 46 |
| Einbindung in die Lehre | 47 |
| Fazit und Ausblick | 48 |
| Danksagung | 50 |
| Mitwirkende | 51 |
| Kurzbiographien | 52 |
| Literaturverzeichnis | 53 |
| Abbildungsverzeichnis | 55 |
| Tabellenverzeichnis | 56 |
| Anlagen | 57 |

Kurzfassung

Die Fraktion „Boden und Steine“ der mineralischen Bauabfälle stellt mit Abstand den größten Abfallstrom in Deutschland dar. Mit Hinblick auf stetig steigende Rohstoffverbräuche wie auch sinkender Deponiekapazitäten im Bausektor ist ein nachhaltiger Umgang mit Bodenaushub im Sinne der Kreislaufwirtschaft unumgänglich. Durch „intelligentes“ Bodenmanagement im urbanen Raum wird auf kleinen und mittleren Baustellen ein schonender Umgang mit der Ressource Boden vollzogen. Im Straßen- und Tiefbau sieht die gegenwärtige Ausschreibungspraxis weitestgehend die Entsorgung von Bodenaushub vor - im Stadtgebiet Osnabrück, welches hier als Beispiel für das gesamte Bundesgebiet dienen soll, wird dagegen begonnen, den Einsatz von aufbereitetem Bodenmaterial zur Substitution zu forcieren.

In dem Forschungsvorhaben werden ausgewählte Pilotprojekte im Stadtgebiet begleitet und schlüssige Handlungsempfehlungen zum nachhaltigen Umgang mit Boden entwickelt. Indem Bodenaushub wiederaufbereitet wird und einer Verfüllung eines technischen Bauwerks zugeführt wird, verbleibt das Material im Stoffkreislauf.

Zu Beginn wird sich mit der ab 01. August 2023 rechtsgültigen Mantelverordnung (MantelV) auseinandergesetzt. Die neuen rechtlichen Rahmenbedingungen schaffen eine Bundesvereinheitlichung der Gesetze, dennoch stehen die Akteure der Branche vor Herausforderungen bei der Umsetzung. Zusammenfassend werden die gegebenen Potentiale und noch zu bewältigen Herausforderungen in Experten-Interviews analysiert und aufgeführt.

Nach Nennung und Vorstellung der Pilotprojekte, sowie der durchgeführten Methode erfolgt eine Begleitung der Projekte mit anschließender Auswertung. Die resultierenden Ergebnisse weisen konkrete Einsparmöglichkeiten gegenüber einer konventionellen Entsorgung auf und übertreffen die zuvor definierten Ziele des Forschungsvorhabens. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Möglichkeiten einer Bodenwiederaufbereitung mittels einer zentralen Aufbereitungsanlage im urbanen Raum ökologische und ökonomische Vorteile mit sich bringen.

Aus der Synergie der neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen in Form der MantelV sowie der wissenschaftlichen Begleitung der Pilotprojekte aus der Praxis werden Handlungsempfehlungen zum Bodenmanagement wie auch ein Prozessdiagramm mit Entscheidungswegen herausgearbeitet. Für Fachplaner entsteht zudem ein Planungstool für einen Kostenvergleich von zentraler Bodenaufbereitung gegenüber einer konventionellen Entsorgung.

Diese Ausarbeitung soll den Leser*innen die Möglichkeiten zu einem ressourcenschonenden Umgang mit Aushubmaterial darbieten. Neben den neuen rechtlichen Rahmenbedingungen, werden sowohl Nutzungs- als auch Wiederaufbereitungs- und Verwendungsmöglichkeiten aufgezeigt. Dabei ist eine örtliche Spezifizierung wie auch Rücksprache mit Akteuren der Vollzugspraxis anzustreben. Dieses Projekt soll den Akteuren des Baugewerbes als Orientierung und Planungsinstrument dienen, sodass nachhaltiges Bauen mit einem gesicherten Umgang von mineralischen Ersatzbaustoffen gewährleistet werden kann.

Der hier gewählte Untersuchungsraum im Stadtgebiet Osnabrück kann dabei uneingeschränkt auf andere Bundesländer übertragen werden.

Abstract

The "soil and stones" fraction of mineral construction waste represents by far the largest waste stream in Germany. Against the background of steadily increasing raw material consumption and decreasing landfill capacities in the construction sector, sustainable handling of excavated soil in terms of the circular economy is essential. In the city of Osnabrück, a rethink is taking place in this regard. Through "intelligent" soil management in urban areas, a careful use of soil resources is taking place on small and medium-sized construction sites. In road construction and civil engineering, current tendering practice largely provides for the disposal of excavated soil - in the urban area of Osnabrück, the use of processed soil material is being pushed as a substitute.

The researchers accompany selected pilot projects in the urban area and develop conclusive recommendations for the sustainable use of soil. In this context, the material remains in a cycle in which it is recycled and returned to a backfill in a technical structure.

At the beginning, the project will deal with the new shell regulation, which will be legally valid as of August 01, 2023. The new legal framework creates a federal standardization of laws, yet industry players face implementation challenges. In summary, the existing opportunities and challenges still to be overcome are analyzed and listed in expert interviews.

After naming and presenting the pilot projects, as well as the implemented method, a monitoring of the projects with subsequent evaluation takes place. The resulting results show concrete savings opportunities compared to conventional disposal and exceed the previously defined goals of the research project. In summary, it can be stated that the possibilities of soil reprocessing by means of a central processing plant in urban areas bring ecological and economic advantages.

From the synergy of the new legal framework conditions in the form of the MantelV as well as the scientific monitoring of the pilot projects from practice, recommendations for action for soil management as well as a process diagram with decision paths are developed. In addition, a planning tool for comparing the costs of central soil treatment with those of conventional disposal will be developed for specialist planners. This paper is intended to serve as an orientation and planning tool for the players in the construction industry, so that sustainable construction can be ensured with a safe handling of mineral substitute building materials.

Einführung

Anlass

Deutschland befindet sich in einer notwendigen Transformation zu einer ressourcenschonenden und auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Kreislaufwirtschaft. Dadurch hat das Thema Ressourceneffizienz in den letzten Jahren einen deutlich höheren Stellenwert erhalten. Der globale Ressourcenverbrauch ist in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen und die klassischen, bisher genutzten Rohstoffe werden zunehmend knapp. Die Ursache hierfür liegt u.a. am hohen Bedarf an Baustoffen in der Bauwirtschaft.

Bundesweit beträgt die jährliche Nachfrage an Gesteinskörnungen im Bausektor ungefähr 590 Mio. t. 2018 entfielen davon allein 485 Mio. t auf die Gewinnung von natürlichen Rohstoffen wie Kiese, Sande und Natursteine (vgl. MIRO 2021). Die Ansatzpunkte für eine Minderung des Rohstoffbedarfs im Baubereich sind zahlreich und vielfältig. Hierbei soll die Beseitigung der Abfälle auf das notwendige Maß beschränkt werden und umweltgerecht erfolgen. Nur so können natürliche Rohstoffe eingespart werden. Die beiden wichtigsten Verwertungswege für mineralische Bau- und Abbruchabfälle sind Recycling, also die Aufbereitung und der anschließende Einbau in ein technisches Bauwerk, sowie die stoffliche Verwertung im Sinne der Verfüllung von Steinbrüchen, Kiesgruben, Tagebauen o. ä.. Mineralische Abfälle stellen mit 218 Mio. t den größten Abfallstrom in Deutschland dar, wovon wiederum die Fraktion Boden und Steine mit 60 % den größten Anteil dieser Abfälle aufweisen (vgl. BBSE 2021).

Obwohl rund 85 % der mineralischen Bauabfälle nach Angaben des Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (BBSE) verwertet werden, verbleiben lediglich 13,3 Mio. t (10,2 %) als Baustoffe im Stoffkreislauf. Die übrigen 90 % von den 85 % werden für die Verfüllung genutzt, was auch als Verwertung gelten darf. Hochbelastete Stoffe werden zudem in Deponien entsorgt. Die Recyclingquote ist damit in Deutschland gering. Ein großer Anteil der Abfallfraktion Boden und Steine wird bei Hochbau-, Straßen- und Tiefbaumaßnahmen, z. B. bei Sanierungsarbeiten für den Leitungsbau, generiert. Sowohl gering- als auch unbelasteter Boden wird häufig der Beseitigung zugeführt, was dem tatsächlichen Rohstoffwert des Materials nicht gerecht wird. Ein Grund hierfür liegt darin, dass eine temporäre Zwischenlagerung des Bodenmaterials auf der Baustelle aufgrund der begrenzten räumlichen Kapazitäten im Straßen- und Tiefbau häufig nicht möglich ist. Die Zwischenlagerung auf dem eigenen Betriebsgelände kommt aus genehmigungsrechtlichen Gründen für die Unternehmen nicht in Frage.

Sobald anfallender Bodenaushub die Baustelle verlässt, ist er gemäß dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) als Abfall zu bewerten und unterliegt dem Abfallrecht. Durch die Verflechtung mit dem Abfallrecht werden Prozesse im Umgang mit Boden auf kleinen und mittleren Baustellen sehr komplex, weswegen sich viele Auftraggeber zu einer Entsorgung des Bodenmaterials und gegen eine Wiederverwendung entscheiden. Daher sieht die Ausschreibungspraxis oftmals eine Entsorgung des Materials und den Einsatz von Primärbaustoffen vor. Eine anzustrebende hochwertige Verwertung in technischen Bauwerken unterbleibt regelmäßig.

Konträr zum Ansatz des nachhaltigen Bauens wird dadurch der Ressourcenabbau beschleunigt und der Energieverbrauch erhöht. Gleiches gilt für die daraus resultierenden Transportaufwendungen, die zusätzliche Kraftstoffverbräuche und CO₂-Emissionen durch Transporte zur Folge haben.

Mit Einführung der Mantelverordnung (MantelV, ab 1. August 2023 in Kraft) soll diesem Sachverhalt entgegengewirkt werden. Den Kern der Mantelverordnung bildet die Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung und die Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. In diesem Zusammenhang werden auch die Deponierverordnung und die Gewerbeabfallverordnung geändert. Ziel der Mantelverordnung ist die Schaffung von bundeseinheitlichen sowie rechtsverbindlichen Anforderungen an den Schutz von Boden und Grundwasser unter Berücksichtigung aktueller wissenschaftlicher Standards. Mit der Ersatzbaustoffverordnung werden erstmalig bundeseinheitliche und rechtverbindliche Anforderungen an die Herstellung und den Einbau mineralischer Ersatzbaustoffe festgelegt. Bislang war die Herstellung und der

Einbau auf gesetzlicher Ebene nur in allgemeiner Form geregelt und wurde lediglich durch veraltete Regelungen oder Erlässe der Länder konkretisiert. Mittels der Vereinheitlichung soll eine Kreislaufwirtschaft gefördert und die Akzeptanz für die Verwendung von Ersatzbaustoffen verbessert werden.

Methode und Zielsetzung

Grundsätzlich ist es sinnvoll, anfallenden Bodenaushub aufzubereiten, wiedereinzubauen und im Stoffkreislauf zu halten. Ziel des Forschungsvorhabens ist der Aufbau eines intelligenten Verfahrens zur Wiederverwendung von Bodenmaterialien bei urbanen Kleinbaustellen. Mittels standardisierter Prozesse mit sicherer Zuordnung der Wiederverwendung von Böden am Einbauort, soll ein regelkonformes System für den Straßen- und Tiefbau und weiteren Baumaßnahmen geschaffen werden. Durch Aufbereitung praxisbezogener Pilotprojekte werden Handlungsempfehlungen für die Wiederverwendung von Bodenmaterial genannt. Hierfür ist vorgesehen, die Bauprozesse in Bezug auf das anfallende Bodenmaterial durch Beobachtungen zu analysieren, insbesondere die Prüfvorgänge, Dokumentationen und Entscheidungsprozesse, und im Rahmen eines iterativen Prozesses zu optimieren. Dieses Verfahren soll bundesweit übertragbar sein und leistet einen Beitrag zur Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bereich der Bauwirtschaft. Hierbei stehen neben der Ressourcenschonung auch die Verringerung und Nichtbeanspruchung von Deponieraum im Fokus.

Nach Analyse und Aufarbeitung der rechtlichen Vorhaben, mit speziellem Augenmerk auf die ab August 2023 geltende Mantelverordnung, liegt der Fokus des Forschungsvorhabens auf den aus der Praxis stammenden Pilotprojekten. Diese werden mit den beiden Kooperationspartnern Clausing GmbH und Dieckmann Bauen + Umwelt GmbH Co. KG, beide ansässig in Osnabrück, vollzogen. Für das Bodenmanagement sind zwei Wege für die Erhaltung im Stoffkreislauf maßgebend. Zum einen die direkte Wiederverwendung von Bodenmaterial, welches ohne Behandlung zum Wiedereinbau geeignet und verwendet werden kann. Zum anderen Bodenmaterial, welches aufgrund seiner Belastungen nur durch Aufbereitungsprozesse zum Wiedereinbau verwendbar gemacht werden kann.

Übergeordnetes Ziel des Forschungsvorhabens ist es, durch Optimierung der Stoffströme den Bauprozess zu funktionalisieren, damit bei kleinen Maßnahmen im urbanen Raum die Wiederverwendung technisch als auch rechtlich gesichert durchgeführt werden kann. Hierfür wird ein Prozess für einen sicheren Umgang mit anfallendem Aushubmaterial projektiert, bei dem die Herausforderungen und Grenzen eines Wiederverwertungssystems für Bodenmaterial mitbetrachtet werden.

Abfallrechtliche Vorgaben beim Umgang mit Böden

Der Umgang mit anstehendem Boden ist durch die Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) geregelt. Sobald Boden im Rahmen von Baumaßnahmen gelöst und transportiert wird, ist er gemäß dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) als Abfall zu bewerten. Als Abfall werden in § 3 Abs. 1 KrWG „alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“ definiert. In Bezug auf Bodenaushub im Straßen- und Tiefbau tritt die Abfalleigenschaft über den Entledigungswillen oder die Pflicht ein.

Eine Entledigungspflicht besteht für Stoffe oder Gegenstände, die aufgrund ihres „[...]“ Zustandes geeignet sind, gegenwärtig oder künftig das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere der Umwelt, zu gefährden [...]“ (§ 3 Abs. 4 KrWG). Handelt es sich also um belasteten Bodenaushub mit Schadstoffpotenzial ist eine Abfalldeklaration erforderlich.

Fällt bei Maßnahmen des Straßen- und Tiefbaus Abfall in Form von Bodenaushub an, stellt sich die Frage nach der abfallrechtlichen Verantwortlichkeit. Diese liegt gleichermaßen beim Abfallerzeuger und -besitzer. In der Praxis fällt meistens dem Bauherrn als Auftraggeber die Rolle des Abfallerzeugers zu. Im Falle des Entledigungswillens und des Abtransportes geht der Bodenaushub in den Besitz des Auftragnehmers über.

Sowohl der Auftraggeber als auch der Auftragnehmer sind somit von einer abfallrechtlichen Verantwortlichkeit betroffen. Die Abfallerzeuger und -besitzer haften für die Entsorgung von Bodenaushub solange, bis diese endgültig und ordnungsgemäß abgeschlossen ist. Dies gilt auch, wenn ein Dritter (z. B. Zwischenlager zur Aufbereitung) zur Entsorgung des Materials beauftragt wurde (vgl. § 22 KrWG). Die dem Bodenaushub anhaftende Abfalleigenschaft ist jedoch nicht zwingend als endgültig anzusehen. Die Kreislaufwirtschaft zielt vielmehr auf eine ressourcenschonende Rückführung in den Wirtschaftskreislauf und der damit verbundenen Entlassung aus dem Abfallregime; § 5 KrWG regelt Voraussetzungen zum Ende der Abfalleigenschaft. Demnach muss das Bodenmaterial ein Verwertungsverfahren durchlaufen und entsprechende Bedingungen erfüllen, welche neben einer Zweckbestimmung die technischen geltenden Anforderungen erfüllt und keinerlei schädliche Auswirkungen für Mensch oder Umwelt verursacht (vgl. § 5 Abs. 1 KrWG).

Folgende abfallrechtliche Regelungen sind für den Umgang mit anfallendem Bodenaushub von Bedeutung.

- Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)
- Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV)
- Deponieverordnung (DepV)
- Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)
- Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG
- LAGA M 20 – Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Mitteilung 20
- TR Boden – Länderarbeitsgemeinschaft Technische Regeln Boden
- LAGA Probenahme 98 (LAGA PN 98)
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Landschaftsbauarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2018, ZTV La-StB

Hinzukommend eine Vielzahl an länderspezifischen Erlassen, Leitfäden und Merkblättern, welche jedoch keine bundeseinheitliche Rahmenbedingungen schaffen.

Regelungen der Mantelverordnung

Die Mantelverordnung (MantelV, ab 1. August 2023 in Kraft) soll bundeseinheitliche Regelungen für die Entsorgungspraxis schaffen. Alle länderspezifischen Erlässe wie auch Leitfäden der einzelnen Bundesländer werden aufgehoben (vgl. Tabelle 1).

Einzelfallprüfungen seitens Behörden sollen durch die Umsetzung der MantelV verringert werden. Für die Unternehmen bedeutet dies jedoch „eine umfassende Prüfung ihrer Praxisabläufe bei der Entsorgung mineralischer Bruchabfälle“ (Weiß 2021). Die Mantelverordnung besteht aus mehreren Teilen; mit der Einführung wird es folgende neue und überarbeitete Regelwerke geben:

- Einführung der Ersatzbaustoffverordnung (EBV) – Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Buwerke
- Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)
- Änderung der Deponieverordnung (DepV)
- Änderung der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)

Wesentliches Ziel der MantelV ist eine bestmögliche Verwertung von mineralischen Abfällen im Sinne des § 6 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) zu gewährleisten, sowie die Anforderungen an eine nachhaltige Sicherung und Wiederherstellung der Bodenfunktion im Sinne des § 1 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) an den gegenwärtigen Stand des Wissens anzupassen (vgl. Bundesregierung 2021a). Den Anwendern soll durch bundeseinheitliche und verbindliche Anforderungen an den Boden- und Grundwasserschutz eine Rechtsicherheit gegeben werden, welche zudem eine Verwaltungsvereinfachung darstellen. Dabei sollen möglichst hohe Recyclingquoten mittels Wiederaufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen erzielt werden. Tabelle 1 verschafft eine Übersicht, welche Verordnungen gemäß MantelV für eine Verwertung von Bodenmaterial anzuwenden sind.

Tabelle 1 – Verwertung von Bodenmaterial

| Verwertung von Bodenmaterial | Verwertung von Bodenmaterial | | | |
|---------------------------------|---|--|---|----------------------------------|
| | Verfüllung, Landschaftsbau | | technische Bauwerke | auf Deponien |
| | unter / außerhalb durchwurzelbarer Bodenschicht | auf / in durchwurzelbarer Bodenschicht | | |
| Status quo bis 31.7.2023 | LAGA M 20 TR Boden länderspezifische Erlässe | Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV | LAGA M 20 länderspezifische Erlässe | Deponie- verordnung (DepV) |
| MantelIV ab 1. August 2023 | bundeseinheitliche Regelungen der MantelIV | | | |
| | Neufassung BBodSchV § 6, 8 | Neufassung BBodSchV § 6, 7 | Ersatzbaustoff- verordnung (EBV) § 14 - 18 | Änderung DepV |

Quelle: eigene Darstellung

Die Bundesregierung überprüft den Vollzug der neuen Regelungen bis zum 1. August 2025 und „setzt Folgerungen gegebenenfalls durch Anpassungen der Verordnung um“ (Bundesregierung 2021). Demnach können sich die Unternehmen ab Mitte 2025 auf einen sicheren wie auch validierten Umgang mit Boden und Kleinmengen einstellen. Für die Verfüllung von Abgrabungen, welche bis zum 16.07.2021 zugelassenen wurden, gilt zudem eine erweiterte Übergangsfrist bis zum 01.08.2031.

Ersatzbaustoffverordnung (EBV)

Die EBV regelt in Artikel 1 der MantelIV die Herstellung von mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB) und die maßgeblichen Einbauweisen in technische Bauwerke. Als MEB gelten Stoffe, die „als Abfall oder [...] Nebenprodukt[e]“ in Aufbereitungsanlagen herstellt werden, bei Baumaßnahmen als Bau- und Abbruchabfälle anfallen, sowie „unmittelbar oder nach Aufbereitung für den Einbau in technische Bauwerke

geeignet [...]“ (§ 2 EBV) sind. Dazu zählen Recyclingbaustoffe, Bodenmaterial, Schlacken, Aschen und Gleisschotter. Die Vorschriften der EBV gelten nicht für Primärrohstoffe wie Steine, Kiese, Sande; das Aufbringen auf oder in einer durchwurzelbaren Bodenschicht - auch dann nicht, wenn die durchwurzelbare Bodenschicht im Zusammenhang mit der Errichtung eines technischen Bauwerkes steht; sowie unter- oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht, ausgenommen in technischen Bauwerken (vgl. Zorn 2022).

Weiter normiert die EBV die Untersuchung und Klassifizierung von nicht aufbereitetem Bodenmaterial. Dabei soll Material, welches „in ein technisches Bauwerk eingebaut werden soll, unverzüglich nach dem Aushub“ (§ 14 Abs. 1 EBV) untersucht und gemäß Anlage 1 Tabelle 3 klassifiziert werden. Die Probenahme erfolgt nach Vorgaben der LAGA PN 98 und setzt eine entsprechende Sachkunde des Fachpersonals voraus (vgl. § 8 Abs. 1 EBV). Die Klassifizierung des Bodenmaterials erfolgt dabei in die neuen Kategorien

BM 0, BM 0*, BM F0*, BM F1, BM F2 und BM F3.

Diese hängen von den Anteilen der Schadstoffe ab und können der EBV entnommen werden. Allgemein wird beim Wiedereinbau des Materials zwischen dem Einbringen in technische Bauwerke und der Verwertung gemäß § 6 bis § 8 BBodSchV unterschieden.

Für den Einbau in ein technisches Bauwerk gilt, dass das Material anhand der Ergebnisse der in-situ-Untersuchung wieder eingebaut werden darf, wenn sich die Bodenbeschaffenheit nicht durch die zwischenzeitliche Lagerung oder Nutzung verändert hat; für die Probenahme in-situ gilt § 4 BBodSchV (vgl. § 14 EBV). Handelt es sich dagegen um eine Bodenverwertung gemäß BBodSchV kann unter bestimmten Voraussetzungen von einer analytischen Untersuchung abgesehen werden.

Grundsätzlich dürfen mineralische Ersatzbaustoffe oder Gemische nur in technische Bauwerke eingebaut werden, „wenn nachteilige Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit und schädliche Bodenveränderungen [...] nicht zu besorgen sind“ (§ 19 EBV). Für den Einbau sind die in Anlage 2 EBV auf 49 Seiten aufgeführten Einbautabellen zu beachten, welche die „Einsatzmöglichkeiten von mineralischen Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken“ regeln. Für 27 verschiedene MEB gibt es jeweils 17 Einbauweisen, ausgenommen Ziegelmaterial (ZM), also insgesamt 443 prüfbare Einsatzmöglichkeiten für technische Bauwerke.

Außerdem werden die Vorgaben hinsichtlich der Wasserschutzbereiche, den Grundwasserdeckschichten wie auch des erforderlichen Sicherheitsabstands zum höchst gemessenen Grundwasserstand berücksichtigt (vgl. Stracke 2022). Die Zulässigkeit eines Baustoffes in der jeweiligen Einbauweise wird mit „plus“ gekennzeichnet; die Unzulässigkeit entsprechend mit „minus“ (s. Tabelle 2). Die entsprechend Anlage 1 EBV vorgegebenen Materialwerte müssen für den Wiedereinbau eingehalten werden (vgl. § 19 EBV).

Tabelle 2 – Einbautabelle BM-F1 gemäß EBV

| Bodenmaterial der Klasse F1 (BM-F1), Baggergut der Klasse F1 (BG-F1) | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------|---------------------------|---|
| Einbauweise | | Eigenschaft der Grundwasserdeckschicht | | | | | | | | |
| | | außerhalb von Wasserschutzbereichen | | | innerhalb von Wasserschutzbereichen | | | | | |
| | | un- günstig | günstig | | günstig | | | | | |
| | | | Sand | Lehm, Schluff, Ton | WSG III A | | WSG III B | | Wasser- vorranggebiete | |
| | | | | | HSG III | | HSG IV | | | |
| | | | Sand | Lehm, Schluff, Ton | Sand | Lehm, Schluff, Ton | Sand | Lehm, Schluff, Ton | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | | 6 | | | |
| 1 | Decke bitumen- oder hydraulisch gebunden, Tragschicht bitumengebunden | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 2 | Unterbau unter Fundament- oder Bodenplatten, Bodenverfestigung unter gebundener Deckschicht | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 3 | Tragschicht mit hydraulischen Bindemitteln unter gebundener Deckschicht | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 4 | Verfüllung von Baugruben und Leitungsgräben unter gebundener Deckschicht | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

Quelle: Tabelle 6 EBV, verkürzt

Tabelle 3 gibt eine Übersicht zum Einbau von MEB in Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebieten. Hierbei gilt: In Zone I ist der Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke unzulässig; in Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebieten der Zonen II darf nur Bodenmaterial sowie Gemische der Klasse 0 – BM-0 in technische Bauwerke eingebaut werden (vgl. § 19 (6) EBV). Einbauweisen, die nicht in Anlage 2 EBV aufgeführt sind, können auf Antrag bei der zuständigen Behörde im Einzelfall zugelassen werden, sofern diese keine nachteiligen Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit und schädliche Bodenveränderungen mit sich bringen. Eine solche Einzelfallentscheidung kann auch für die Verwertung von Stoffen in technischen Bauwerken, welche nicht in der EBV geregelt sind, erfolgen (vgl. § 21 EBV).

Die Einbauweisen werden zudem in außerhalb und innerhalb des Wasserschutzbereiches unterschieden. Innerhalb der Wasserschutzbereiche wird der Einbau auf günstige Eigenschaften der Grundwasserdeckschichten (Sand oder Lehm/Schluff/Ton, grundwasserfreie Sickerstrecke > 1m, zzgl. eines Sicherheitsabstand von 0,5 m) beschränkt. Außerhalb von Wasserschutzbereichen wird unterschieden in „ungünstig“, „günstig – Sand“ und „günstig – Lehm/Schluff/Ton“.

Die grundwasserfreie Sickerstrecke ist hierbei definiert als Abstand zwischen Unterkante Einbauhöhe des mineralischen Ersatzbaustoffs und dem höchsten zu erwartenden oder aus den Messdaten stammende Grundwasserstand (vgl. Stracke 2022). Eine Beurteilung der Grundwasserdeckschichten erfolgt durch einen Sachkundigen auf Grundlage bodenkundlicher Ansprachen von Bodenproben oder Baugrunduntersuchungen gemäß bodenmechanischen oder bodenkundlichen Normen.

Tabelle 3 – Einbau von MEB in Wasserschutz- (WSG) und Heilquellenschutzgebieten (HSG) nach EBV

| Einbau von MEB in Wasserschutz- (WSG) und Heilquellenschutzgebieten (HSG) | | |
|---|--|--|
| WSG III A/B HSG III/IV | WSG II HSG II | WSG I HSG I |
| Einbau gemäß Einbautabellen EBV Anlage 2 | nur BM und Gemische der Klasse 0 zulässig | Einbau von MEB unzulässig |
| Grundwasserdeckschicht (GWD) am Einbauort | | |
| günstige GWD > 1,5 m | | ungünstige GWD ≤ 1,5 m |
| Einbau gemäß Spalte 2 - 5 der jeweiligen Einbautabelle EBV Anlage 2 Bestimmung der Bodenart in GWD notwendig (Sand oder Lehm/Schluff/Ton) | | Einbau gemäß Spalte 1 der jeweiligen Einbautabelle EBV Anlage 2 nur außerhalb von Wasserschutzbereichen zulässig |

Quelle: Werte und Angaben aus EBV

Anzeigepflichten und Ersatzbaustoffkataster

Eine wesentliche Neuerung hinsichtlich der Anzeige- und Dokumentationspflicht ist der Wegfall der wasserrechtlichen Erlaubnis für den Einbau von MEB, sofern die Einbauanforderungen gemäß Tabelle 2 eingehalten werden.

Einzelfallentscheidungen ermöglichen es, abweichende Einbauweisen sowie den Einbau nicht geregelter MEB genehmigen zu lassen, was auch den Einbau von MEB in Gebieten mit geogenen Belastungen betrifft. Bei der Verwendung mineralischer Ersatzbaustoffe sind folgende Punkte zu berücksichtigen und den Behörden zu melden:

- Bei einer Einbaumenge von mehr als 250 m³ von Baggergut und Bodenmaterial der Klasse 3 – BG-F3 und BM-F3, Recyclingbaustoffen der Klasse 3 - RC-3, sowie alle in § 20 aufgeführten Schlacken, Aschen und Restsande muss eine Voranzeige vier Wochen im Voraus bei der zuständigen Behörde erfolgen. Ein entsprechendes Muster-Datenblatt findet sich in Anlage 8 der EBV wieder.
- Sofern es einer Anzeigepflicht bedarf, hat „der Verwender innerhalb von zwei Wochen nach Abschluss der Baumaßnahme [...] die tatsächlich eingebauten Mengen und Materialklassen der verwendeten mineralischen Ersatzbaustoffe“ (§ 22 (4) EBV) der zuständigen Behörde zu übermitteln.
- Die Dokumentation der Vor- und der Abschlussanzeige ist vom Verwender unterschrieben an den Bauherrn bzw. Grundstückseigentümer zu übergeben. Nach Nutzungsende des technischen Bauwerks hat der Verwender dies der Behörde binnen eines Jahres zu melden, auch wenn die EBV am Einbauort verbleiben (vgl. (§ 22 (6) EBV).
- Grundstückseigentümer müssen im Falle von Rückbau anzeigepflichtiger Baustoffe dies der Behörde mitteilen; die anzeigepflichtigen MEB müssen dabei am Einbauort verbleiben.

Die Verwendung anzeigepflichtiger mineralischer Ersatzbaustoffe wird künftig in einem Kataster von der zuständigen Behörde dokumentiert. In das Kataster sind die Dokumente der übermittelten Vor- und der Abschlussanzeige von Einbaumaßnahmen aufgeführt. Bis die Möglichkeit eines elektronischen Katasters besteht, sind die Behörden dazu verpflichtet, die angezeigten Verwendungen mineralischer Ersatzbaustoffe aufzubewahren (vgl. § 27 Abs. 4 EBV). Hierbei werden die neu geschaffenen bürokratischen Hürden, auf Grund der aufwendigen Anzeige und Dokumentationspflicht, eine Wiederverwendung nicht vereinfachen (vgl. Susset 2021).

Neufassung BBodSchV

Die novellierte Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) ist an den aktuellen Stand der Wissenschaft und die gewonnenen Erkenntnisse des Vollzugs angepasst worden.

Mit der Harmonisierung der Materialwerte aus der EBV soll für aufbereitetes Bodenmaterial eine Rechtssicherheit „vom Anfall über die Untersuchung bis hin zum Einbau bzw. zur Verfüllung etabliert werden“ (Weiß 2021). Durch die Regulierungen bezüglich des Auf- oder Einbringens von Materialien unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht wird das Vorsorgeprinzip des Bodenschutzes in den Vordergrund gestellt. Nachstehend werden die inhaltlichen Neuerungen der Paragraphen 6 bis 8 BBodSchV zum Ein- oder Aufbringen von Materialien dargestellt (vgl. Fetzer 2022):

- Art- oder Einbringung von Materialien mit einem Volumen von mehr als 500 m³ muss „der zuständigen Behörde mindestens zwei Wochen vor Beginn der Maßnahme, unter Angabe der Lage, der Art und Menge sowie des Zwecks angezeigt werden“ (§ 6 Abs. 8 BBodSchV).
- Eine schädliche Bodenveränderung ist nicht zu erwarten, wenn „Bodenmaterial [...] im räumlichen Umfeld des Herkunftsortes unter vergleichbaren Verhältnissen sowie geologischen und hydrogeologischen Bedingungen umgelagert wird“ (§ 6 Abs. 3 BBodSchV). Auch dann nicht, falls es sich um Bodenmaterial mit erhöhtem Schadstoffgehalt handelt. Jedoch darf die Bodenfunktionen wie auch stoffliche Situation nicht nachteilig beeinträchtigt werden (vgl. § 6 Abs. 4 BBodSchV).
- Ein Verzicht auf analytische Untersuchung ist möglich, wenn die Vorerkundung keine Anhaltspunkte auf eine Überschreitung der Versorgungswerte BM-0 ergeben, die auszuhebende Menge kleiner als 500 m³ ist oder das Material am Herkunftsort oder innerhalb eines Gebietes umgelagert werden kann (vgl. § 6 Abs. 6 BBodSchV). Dabei darf jedoch keine schädliche Bodenveränderung entstehen.
- Materialien, dessen Werte die Vorgaben nach § 8 Abs. 2 BBodSchV (Anl. 1 Tab. 1+2, ggf. Tab. 4) erfüllen oder es sich um BM0* gemäß EBV handelt (max. 10 Vol.-% Fremdbestandteile), sind für die Verfüllung von Abgrabungen zugelassen. Nichtsdestotrotz muss eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung nachgewiesen werden.
- § 8 Abs. 4 BBodSchV führt auf, dass im Falle von Einhaltung der Anforderungen an § 8 Absatz 2 oder 3 BBodSchV das Auf- oder Einbringen unterhalb oder außerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht keiner Erlaubnis nach § 8 Abs. 1 WHG bedarf. Der Verzicht einer wasserrechtlichen Erlaubnis, sofern ein ordnungsgemäßer Einbau erfolgt, stellt eine wesentliche Entlastung für die Unternehmen dar (vgl. Remex 2022).
- Eine Ausnahme der bundeseinheitlichen Regelungen sieht § 8 Abs. 8 BBodSchV durch die Länderöffnungsklausel für die Verfüllung vor. Darin können die Länder Regelungen treffen, wonach Materialien für die Verwertung zulässig sind, deren Werte die Vorgaben nach Anlage 1 überschreiten. Der Grundsatz einer schadlosen Verwertung bleibt bestehen. Zudem wird die Verordnung um Aspekte des physikalischen Bodenschutzes, die bodenkundliche Baubegleitung sowie die Gefahrenabwehr bei Bodenerosion erweitert. Bei Baumaßnahmen kommt es zwangsläufig zu mechanischen Beanspruchungen der Böden. Um Schäden zu minimieren und ihre langfristige Leistungsfähigkeit zu schützen, ist ein Bodenschutzkonzept und eine bodenkundliche Baubegleitung als sinnvoll zu betrachten. Bei Maßnahmen

größer als 3.000 m² sieht § 4 Abs. 5 BBodSchV ohnehin eine bodenkundliche Baubegleitung zusammen mit der zuständigen Bodenschutzbehörde vor (vgl. BMUV 2022).

Änderungen der AVV und DepV

Die in Artikel 3 aufgeführten Änderungen der DepV betreffen in erster Linie „Betreiber von Deponien sowie Entsorger von Böden“ (Remex 2020) und dienen einer Harmonisierung an die EBV. Als Abfall anfallende Ersatzbaustoff oder nicht aufbereitete Bodenmaterialien, die bereits nach EBV Abschnitt 3 untersucht und klassifiziert sind, müssen nicht erneut beprobt werden und können als nicht gefährliche Abfälle eingestuft werden (vgl. § 6 DepV). Nach § 7 der Deponieverordnung (DepV) ist es ab 01. Januar 2024 nicht mehr möglich, Abfälle, die einer Verwertung zugeführt werden können, zu beseitigen. Eine Ausnahme besteht, wenn Wiederverwendung oder Verwertung wirtschaftlich nicht zumutbar sind.

Die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) ergänzt in § 8 die Getrenntsammlung mineralischer Ersatzbaustoffe beim Rückbau aus technischen Bauwerken. Die anfallenden Abfälle sind hinsichtlich der Getrenntsammlung und der Vorbereitung zur Wiederverwendung nach § 24 EBV zu behandeln.

Umgang mit Kleinmengen

Bei Landschaftsbauarbeiten wie auch bei Kanal- und Leitungsbaumaßnahmen entsteht ein hohes Aufkommen von Kleinmengen der Fraktion Boden und Steine. Dieses, oftmals un- oder gering belastete Bodenmaterial, wird häufig der Beseitigung zugeführt, was dem tatsächlichen Rohstoffwert des Materials nicht gerecht wird. Ein Grund hierfür ist die fehlende Möglichkeit einer temporären Zwischenlagerung des Bodenmaterials auf der Baustelle durch begrenzte räumliche Kapazität. Hinzu kommt, dass eine Beprobung und die damit verbundenen Untersuchungskosten unverhältnismäßig sind. Dies gilt insbesondere für den Tiefbau (z. B. Herstellung von Hausanschlüssen), wo - im Gegensatz zu größeren Baumaßnahmen - keine Untersuchungen vor Ort stattfinden.

Unter Beachtung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes besteht für Kleinmengen die Möglichkeit der Zwischenlagerung auf einer Zentralstelle. Kleinmengen definiert z. B. der Niedersächsische Kleinmengenerlass als solche, die ein Volumen von 15 m³ nicht übersteigen. Diese dürfen ohne vorherige Analytik in Haufwerken bis zu 200 m³ gesammelt und gemäß LAGA PN 98 beprobt werden (vgl. NMU 2018). Die anderen Bundesländer haben ähnliche Regelungen. Hierbei muss es sich um Abfälle derselben Abfallart handeln, welche als nicht gefährliche Abfälle eingestuft sind. Der Aushub kann zudem aus unterschiedlichen Baumaßnahmen stammen. Nach dem Ergebnis der Analytik muss das Material der Haufwerke innerhalb von vier Wochen verwertet oder beseitigt werden. Die Verwertung darf ausschließlich in technischen Bauwerken erfolgen. Handelt es sich um vermeintlich belastete Abfälle, so besteht das Erfordernis einer technisch abgesicherten Fläche, welche einen Eintrag in Boden und Grundwasser verhindert (vgl. NMU 2018).

Ein Kleinmengenerlass in Verbindung mit einer genehmigten Anlage zur Zwischenlagerung und anschließender Wiederverwertung stellt einen Lösungsansatz für den Umgang mit Kleinmengen dar. Problematisch sind die aktuell relevanten Mengenschwellen zur Zwischenlagerung. Gemäß Bayerischem Landesamt für Umwelt (LfU) kann „die Zusammenführung von Kleinmengen und einzelnen Chargen im Hinblick auf eine gemeinsame Beprobung“ (LfU 2022, S.32) für Bodenaushub in Haufwerken bis zu 500 m³ erfolgen. In Niedersachsen sind hierfür lediglich 200 m³ (vgl. NMU 2018) zulässig. Demzufolge haben niedersächsische Unternehmen einen höheren Beprobungsaufwand und in der Folge höhere Kosten zu tragen.

Bundeseinheitliche Regelungen, wie es die Mantelverordnung vorsieht, werden in Bezug auf Umgang mit Kleinregelungen nicht klar definiert. Nach EBV besteht weiterhin die Notwendigkeit einer BImSchG-Genehmigung für die Zwischenlagerung von Aushubmaterialien. Bodenmaterial, welches wieder in Verkehr gebracht werden soll, muss von einer Untersuchungsstelle gemäß den § 8 und 9 EBV untersucht sowie nach § 14 – 17 EBV klassifiziert und dokumentiert werden. Hinsichtlich einer Mengenfestsetzung für unbeprobte

Haufwerke, gibt die MantelV nichts vor. Lediglich die Menge, die auf Grundlage einer Untersuchung in Verkehr gebracht wird, darf 3.000 Kubikmeter nicht überschreiten (vgl. § 18 (3) EBV).

Abbildung 1 - Lagerbox für unbeprobtes Bodenmaterial



Foto: Andre Floß, Hochschule Osnabrück

Herausforderungen der MantelV

Im Rahmen dieses Projekts wurde eine kleine, nicht repräsentative Umfrage zum Thema Mantelverordnung durchgeführt. Hierbei wurden 20 Interviews mit Personen aus Behörden, Ingenieurbüros und Bodenwiederaufbereitungsanlagen geführt. Bei der Auswahl von Interviewpartnern wurde versucht, alle bekannten Betreiber von Bodenwiederaufbereitungsanlagen im Bundesgebiet anzusprechen. Die Ingenieurbüros sind auf Empfehlungen der Betreiber von Bodenwiederaufbereitungsanlagen oder aus dem Projektbeirat benannt worden. Die Auswahl erfolgte nicht repräsentativ. Ziel dieser Befragung war eine Einschätzung der Potentiale und noch bestehenden Herausforderungen der neuen Gesetzgebung ab August 2023. Der Fragebogen befindet sich im Anhang. Nachstehend werden genannte Potentiale und noch zu bewältigende Herausforderungen der MantelV zusammenfassend dargestellt. Die Befragung wurde im Zeitraum Oktober bis Dezember 2021 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren die Inhalte der MantelV einschließlich EBV zwar schon veröffentlicht, aber bei den Befragten noch nicht verinnerlicht.

Bestehende Herausforderungen (Ergebnisse aus der Befragung)

Potentiale**Einführung
MantelV**

- bundeseinheitliche Gesetzgebung, Wegfall der Ländererlässe
- Hoffnung auf reduzierten "Bodentourismus"
- Nutzung von weiterentwickelten wissenschaftlichen Standards
- Akzeptanzsteigerung von mineralischen Ersatzbaustoffen

Bauleistungen

- sichere Verwendung von MEB fördert Absatzmarkt, wodurch die Wiederverwendungsquote steigt
- Qualitätssicherung und Steigerung von MEB
- Einsparung Deponieraum und Primärressourcen

Anforderungen an die Wiederverwendung von Bodenaushub

Die Rückgewinnung der in Abfällen enthaltenen Sekundärrohstoffe und ihre erneute Verwendung im Wirtschaftskreislauf sind wichtige Bausteine nachhaltiger Ressourcenwirtschaft. Entsprechende Planungskonzepte wie auch ein intelligentes Bodenmanagement können dazu beitragen, dass insgesamt weniger Bodenmaterial anfällt oder dieses vor Ort wiederverwendet und wiedereingebaut wird. Somit entsteht kein Abfall im Sinne des KrWG und es können Abfallmengen sowie Entsorgungskosten verringert werden (vgl. DIN 19731).

Eine Verwertung von Bodenmaterial hat ordnungsgemäß und schadlos zu erfolgen. Als schadlos gelten Verwertungen, welche beim Auf- oder Einbringen des Bodenmaterials keine schädlichen Bodenveränderungen nach §3 BBodSchV mit sich bringen. Hierbei sind neben den Regelungen zum Bodenschutz insbesondere Vorschriften des Natur- und Gewässerschutzes zu beachten.

Die Verwertung von Bodenmaterial oder Baggergut im Bereich der durchwurzelbaren Bodenschicht unterliegt den Anforderungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes.

Durch eine Baugrunderkundung sowie geotechnische Voruntersuchung kann eine prinzipielle Eignung des Aushubmaterials eingeschätzt werden. Es wird zwischen direkten Aufschlüssen (Schürfgarbe, Bohrung, Bohrsondierung) und indirekten Aufschlüssen (Ramm- und Drucksondierung) unterschieden. Zu einer Baugrunderkundung gehören weiterhin Recherchen hinsichtlich der Grundwasserstände und der zu erwartenden Schwankungen des Grundwasserstands. Des Weiteren werden im Rahmen der Baugrunduntersuchung bodenmechanische Laborversuche zur Klassifizierung des Baugrundes, zur Bestimmung des Verformungsverhaltens und der Festigkeit ausgeführt (vgl. VBI 2014).

Verfahrensvergleich zum Wiedereinbau

Grundsätzlich kann die Verwertung von Bodenaushub oftmals ohne vorherige Aufbereitung erfolgen. Hierbei handelt es sich um nichtkontaminiertes Material, welches auf Grund sicherer Zuordnung und bodenphysikalischen Eigenschaften in seinem natürlichen Zustand an dem Ort, an dem es ausgehoben wurden, für Bauzwecke verwendet werden (vgl. § 2 KRWG). So konkretisiert zum Beispiel das Niedersächsische Umweltministerium für die Verfüllung von Leitungsgräben, dass ein Wiedereinbau von Boden vor Ort zulässig ist, wenn dessen Belastung der örtlichen Belastung entspricht (vgl. NMU 2019). In den anderen Bundesländern sind ähnliche Regelungen zu finden. Der Einsatz von unbehandeltem Bodenmaterial ist im Rahmen einer bautechnischen Verwendung im Straßen- und Tiefbau somit möglich, ohne dass das Abfallrecht berührt wird.

Neben den zu erfüllenden Kriterien muss ausreichend Platz auf der Baustelle vorzufinden sein, dass der Bodenaushub seitlich gelagert werden kann.

Unbehandelter Wiedereinbau – bodenähnliche Verwertung

Die Vorgaben der DIN 19731 (Anforderungen an den Ausbau, Zwischenlagerung) und der DIN 18915 (Umgang mit Oberboden) stellen für den schadlosen Bodenaushub eine Arbeitshilfe dar. Es gilt das Schutzgut Boden bei allen Baumaßnahmen so schonend wie möglich zu behandeln. Gemäß § 1 BBodSchV soll die Bodenfunktion nachhaltig gesichert oder wiederhergestellt werden. Bei Bodenabtragung als auch Lagerung von Boden sind entsprechende Bodenschutzaspekte zu berücksichtigen. Damit der Bodenaushub bestmöglich für eine Wiederverwendung geeignet ist, gilt es beim vorhergehenden Bodenabtrag stets eine saubere Trennung von Ober- und Unterboden durch horizontngerechtes Abtragen vorzunehmen (vgl. DIN 18915). Gleiches gilt für Bodenschichten unterschiedlicher Eignungsgruppen (vgl. DIN 19731). Der Aushub des Bodens sollte vorzugsweise in trockenen Perioden erfolgen. Nach nassen Witterungsperioden ist eine ausreichende Abtrocknungszeit vorzusehen. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass es beim Ausbau nicht zu vermeidbaren Verdichtungs Vorgängen kommt, der Einsatz bodenschonender Maschinen kann entsprechend gegenwirken (vgl. DIN 18915). Eine fachgerechte Zwischenlagerung ist unumgänglich, sofern das Bodenmaterial wiederverwendet wird. Hierdurch kann ein Erhalt der Bodenfunktionen auch nach dem

Wiedereinbau des Bodenmaterials sichergestellt werden. Der getrennt ausgehobene Ober- und Unterboden ist ebenfalls auf separaten Haufwerken zu lagern. Der Untergrund darf hierbei keine Staunässesymptome aufweisen. Im Falle von länger andauernder Zwischenlagerung (> 2 Monate) ist eine Zwischenbegrünung des Haufwerks vorzunehmen. Dies reduziert die Anfälligkeit des Bodenmaterials gegenüber Vernässung, Erosion und Verunkrautung (vgl. DIN 18915; DIN 19731).

Behandelter Wiedereinbau

In bestimmten Arbeitsfeldern des Straßen- und Tiefbaus ist eine Behandlung des Aushubs erforderlich, um diesen weiterverwenden zu können. Neben umweltrechtlichen Aspekten muss der Bodenaushub bautechnische Anforderungen erfüllen. So muss das Verfüllmaterial in der Regel einen Verdichtungsgrad von 97% D_{Pr} (Proctordichte) erreichen (vgl. FGSV 2017, S. 62).

Folgend werden verschiedene Aufbereitungsmethoden dargestellt, die für einen behandelten Wiedereinbau relevant sind:

Bodenstabilisierung mit Kalk

Für Bodenverfestigung und Bodenstabilisierung sind hydraulische Bindemittel wie Feinkalk und Kalkhydrat geeignet. Durch deren Zugabe reduziert sich der Wassergehalt im Bodenmaterial und die Struktur wird grobkörniger. Dadurch kann der Boden verdichtet werden und die Tragfähigkeit kann erhöht werden. Für bindige Böden und stark bindige Mischböden eignet sich besonders Feinkalk. Dieser kann auch bei Material, dessen Wassergehalt über dem Optimum liegt, verwendet werden. Bei Kalkhydrat läuft die Reaktion deutlich langsamer ab, wodurch die erforderliche Kalkmenge steigt. Hier eignen sich Böden mit tonigen Anteilen. Durch den Einsatz von Kalk ist das Bodenmaterial Witterungseinflüssen weniger ausgesetzt. Speziell findet eine dauerhafte Reduzierung der Frostempfindlichkeit von Untergrund und Unterbau statt. Bei beiden Bindemitteln kommt es jedoch bei der Anwendung größerer Mengen zu einer starken Erhöhung des pH-Wertes (vgl. Hemker et al. 2013). Dies ist insbesondere bei vegetationstechnischen Maßnahmen ein Problem.

Trockenmechanischen Behandlung

Für die trockenmechanische Behandlung gibt es eine Vielzahl von Siebanlagen, Brechern, Fraktionierung und Aussortierungsmaschinen. Ziel ist die Separierung des Ausgangsmaterials, welches i.d.R. die Körnunggröße 0/32 aufweist, in die verschiedenen Kornfraktionen wie z. B. 0/2, 2/8, 8/16 und 16/32. Um eine möglichst hochwertige Behandlung der Aushubmaterialien vollziehen zu können, ist ein vorgeschalteter Windsichter sinnvoll. Das Aushubmaterial wird hier von leichten Fremdbestandteilen gesäubert. Dazu wird das Material in einen Schacht befördert, welcher mit Luft durchströmt wird. Die leichten Partikel und Fremdbestandteile (Holz, Plastik, Metall) werden vom Luftstrom erfasst und aussortiert. Die schweren Partikel (Bodenaushub) folgen der Schwerkraft nach unten und können weiterverarbeitet werden. Manche Windsichter haben eine Überkornsichtung, welche Materialien größer 32/45 mm in den Brecher führen (vgl. Intrega 2022). Es wird zwischen stationären und mobilen Anlagen unterschieden; mobile Anlagen eignen sich insbesondere für den direkten Einsatz am Standort der Baumaßnahme.

Nach vollzogener Separierung weist das Aushubmaterial weiterhin die zuvor ermittelte Klassifizierung nach EBV auf, und darf nur für die jeweils erlaubte Einbauklasse wieder in Verkehr gebracht werden. Die Schadstoffe verbleiben weiterhin im Bodenmaterial.

Mikrobiologie

Eine biologische Reinigung von Böden und mineralischen Abfälle kann z. B. mittels dynamischen Mietenverfahren erfolgen. Dabei erfolgt die Zersetzung der organischen Schadstoffe (Mineralölkohlenwasserstoffe, BTEX, PAK, Phenole) durch mikrobiellen Abbau der Schadstoffe. Hier werden dem Ausgangsmaterial Struktur- und Nährstoffe, Mikroorganismen und Wasser zugeführt. Im Anschluss wird

das zu reinigende Material in geschlossenen Hallen zu Mieten aufgesetzt. Durch regelmäßiges Wenden der Mieten mittels Radlader wird ein optimales Bodenklima erzeugt und der für den Abbauprozess benötigte Sauerstoff zugeführt. Am Ende des Prozesses haben sich die Schadstoffe zu Kohlendioxid und Wasser zersetzt (vgl. Umweltdienste Kedenburg 2021). Der Umfang und die Geschwindigkeit der biologischen Reinigung werden maßgeblich von den chemisch-physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Schadstoffe wie z. B. Wasserlöslichkeit und Molekülstruktur bestimmt.

Bodenwäsche

Eine Bodenwäsche zielt auf eine Reduzierung der organischen Belastung von Böden ab. Nach erfolgter Trennung des Fremdmaterials vom Ausgangsmaterial wird im zweiten Schritt der Bodenwäsche das zu behandelnde Material in einer Waschanlage mit Hilfe von Wasser und ggf. Waschzusätzen in sauberes und kontaminiertes Bodenmaterial separiert. Als Produkte der Bodenwäsche gehen gewaschene Produkte der Teilfraktionen steinig, sandig und lehmig und ein Schadstoffkonzentrat hervor. Durch die Bodenwäsche werden die Materialien von Schadstoffen wie Sulfat oder anderen Störstoffen getrennt. Die gewonnenen Kiessandfraktionen werden als Recyclingbaustoffe in den Kreislauf zurückgeführt während das Schadstoffkonzentrat ordnungsgemäß entsorgt wird.

Es wird zwischen zwei Formen von Schadstoffen unterschieden: Schadstoffe, die sich an den Oberflächen des Ausgangsmaterials anlagern und Schadstoffe, welche als Partikel oder an Partikel gebunden vorliegen.

Bei Materialien, bei denen sich die Schadstoffe an den Partikeloberflächen anlagern, werden die mit Schadstoffen angereicherten Feinpartikel vom Waschwasser getrennt und müssen als schadstoffbelastetes Konzentrat entsorgt werden. Die Schadstoffe reichern sich hierbei in der feinkörnigen Fraktion des Bodens sowie im Waschwasser an. Die Trennung der Kornfraktionen erfolgt hierbei durch Siebung und Sedimentation. Die grobkörnigen gereinigten Fraktionen werden einer Verwertung zugeführt (vgl. Eberhard Bau 2021).

Das gesamte Prozesswasser wird in nachgeschalteten Aufbereitungsanlagen gereinigt und dem Waschprozess zurückgeführt. Bei Bedarf können Teile des Wassers über Kies- und Aktivkohlefilter wiederaufbereitet werden, sodass sich die Qualität des Prozesswassers verbessert.

Flüssigboden

Ein derzeitiges Nischenprodukt stellt der Einsatz von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen (ZFSV) dar. Flüssigboden wird auf der Basis von aufbereitetem Erdaushub, geprüften Recyclingbaustoffen oder natürlichen bzw. aufbereiteten Sand-Kies-Gemischen unter Zugabe definierter Additive und Wasser hergestellt (vgl. Feeß 2020). Der Baustoff lässt eine vollständige Verfüllung ohne nachträgliche Verdichtung zu, ist pumpfähig wie auch selbstnivellierend. Eine hohlraumfreie und kraftschlüssige Verfüllung von Gräben, unterirdischen Bauwerken und sonstigen Hohlräumen im Erdreich kann somit gewährleistet werden.

In Bereichen des Kanal- und Leitungsbau eignet sich das Material besonders, wo herkömmliche Baustoffe sich nicht oder nur aufwändig verdichten lassen. Flüssigböden sind „spatenlösbar“, sodass die eingebetteten Leitungen jederzeit mit geringem mechanischem Aufwand erneut zugänglich sind. Aus diesem Grund stellt Flüssigboden häufig eine wirtschaftliche und sichere Alternative zur konventionellen Ver- oder Hinterfüllung von engen Gräben, kreuzenden Leitungssystemen oder Baugruben dar. Zudem kann der Einsatz von Flüssigböden Bauzeiten verkürzen und verursacht in innerstädtischen Bereichen geringeren Lärm. Als Ausgangsstoffe können in der Regel grob-, gemischt- und feinkörnige Böden nach DIN 18196 verwendet werden. Die Herstellung des Verfüllbaustoffs erfolgt in mobilen oder stationären Mischanlagen. Über seine bautechnischen Eigenschaften hinaus besitzt Flüssigboden die Fähigkeit, Schadstoffe zu immobilisieren. Bei der Immobilisierung von Schadstoffen werden mehrere chemische und physikalische Prozesse freigesetzt. Dies kann grundsätzlich über zwei Wegen erfolgen: Zum einen über die Einbindung ins Gefüge, wobei Bindemittel hinzugefügt werden und Schadstoffe im Ausgangsstoff verbleiben und zum anderen das Umwandeln der Schadstoffe in feste Strukturen, wobei zwei Stoffe eine Verbindung eingehen, welche nicht

mehr für die Umwelt schädlich sind (vgl. Scholz 2021). Dies würde die Möglichkeit eröffnen, Aushubmaterialien verwertungsfähig aufzubereiten, obwohl die Schadstoffkonzentrationen die Grenzwerte der entsprechenden Einbauklassen übersteigen. Zum aktuellen Zeitpunkt unterliegt dies jedoch der Einzelfallprüfung.

Pilotprojekte ressourcenschonendes Bodenmanagement

Stammdaten Pilotprojekte

Ein mögliches ökologisches und ökonomisches Verbesserungspotenzial mittels Aufbereitung und Wiederverwendung von Aushubmaterial wird anhand von wissenschaftlich begleiteten Pilotprojekten aus der Praxis beurteilt. Ausgewählte Aufbereitungsmethoden zur Wiederverwendung sind oben bereits dargestellt. Am Beispiel von Baustellen der Projektpartner sollen die Optimierungsmöglichkeiten aus kleinen und mittleren Baustellen aufgezeigt werden, welche repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet sein können. Eine Übertragung auf Grundlage der Mantelverordnung ist in allen Anwendungsfällen, mit erforderlichen Anpassungen in Bezug auf den Einzelfall möglich. Die Projekte stammen aus den folgenden Bereichen im urbanen Raum:



Kanal- und Tiefbau, Hausanschlüsse

- Bodenwiederaufbereitungsanlage
- Flüssigboden



Hochbau

- unbehandelter Wiedereinbau - Geländemodellierung, -auffüllung
- behandelter Wiedereinbau - Bodenstabilisierung



Gebietsausweisungen

- "Gleiches zu Gleichem" § 12 BBodSchV (2002)

Insgesamt wurden sechs Pilotprojekte begleitet. Die ausgewählten Projekte befanden sich, bedingt durch die Kooperationspartner, alle im Großraum Osnabrück. Tabelle 4 gibt eine Übersicht der Pilotprojekte mit Nennung der vollzogenen Bodenmaßnahme; eine detaillierte Auflistung findet sich im Anhang wieder.

Tabelle 4 - begleitete Pilotprojekte urbanes Bodenmanagement im Großraum Osnabrück

| Projekt | Maßnahme | Umsetzung |
|----------------|---|--|
| Pilotprojekt 1 | Hochbau – Wohngebäude | behandelter Wiedereinbau - Bodenstabilisierung |
| Pilotprojekt 2 | Hochbau – Gewerbe | Gebitesausweisung - „Gleiches zu Gleichem“ |
| Pilotprojekt 3 | Hochbau – Wohngebäude | Behandelter Wiedereinbau - Bodenstabilisierung, Bodenwiederaufbereitungsanlage |
| Pilotprojekt 4 | Kanal- und Tiefbau – Kanalanschluss | Kleinmengenaushub in unbeprobtes Zwischenlager, Bodenwiederaufbereitungsanlage |
| Pilotprojekt 5 | Kanal- und Tiefbau – Hausanschluss | Kleinmengenaushub in unbeprobtes Zwischenlager, Bodenwiederaufbereitungsanlage |
| Pilotprojekt 6 | Kanal- und Tiefbau – Versorgungsleitungen | Bodenwiederaufbereitungsanlage |

Quelle: eigene Darstellung

Kanal- und Tiefbau, Hausanschlüsse

Bei anfallendem Bodenaushub von Hausanschlüssen und Leitungsarbeiten im Stadtgebiet handelt es sich überwiegend um Kleinmengen (max. 15 m³ gemäß NMU 2018), welche bis zur Einführung der Mantelverordnung unter Berücksichtigung des Niedersächsischen Kleinmengenerlasses in ein unbeprobtes Zwischenlager transportiert werden. Dieser Bodenaushub wird auf einer zentralen Bodenwiederaufbereitungsanlage zwischengelagert, beprobt, aufbereitet und in den Kreislauf zurückgeführt. Im Stadtgebiet Osnabrück werden jährlich ungefähr 80 Haus- und Kanalanschlüsse ausgeführt (Stadtwerke 2022). Durch ein derartiges Verfahren kann künftig im Stadtgebiet ein umweltschonender und kosteneffizienter Umgang mit ausgehobenem Bodenmaterial sichergestellt werden.

Die Stadtwerke Osnabrück haben im Rahmen einer Kooperation einen Rahmenvertrag mit den Projektpartnern, den Firmen Clausing und Dieckmann geschlossen. Dabei wird anfallender Bodenaushub, welcher bei einer Baumaßnahme der Stadtwerke anfällt, unbeprobte zur Bodenwiederaufbereitungsanlage transportiert. Die Verfüllung des Bauwerks erfolgt mit aufbereitetem Bodenmaterial aus der Anlage. Dies beinhaltet auch die Verwendung von Flüssigboden, welcher insbesondere bei engen Arbeitsräumen mit vielen Leitungskreuzungen zum Einsatz kommt.

Hochbau, Gewerbe und Wohngebäude

Anfallender Bodenaushub soll im Regelfall auf der Baustelle, dem Grundstück, verbleiben und im Sinne der Abfallvermeidung des KrWG verwertet werden. Dies muss bereits in der Planung berücksichtigt werden. Oftmals besteht ein höheres Aushubvorkommen gegenüber dem Material, welches wiederverfüllt werden kann. Hier gilt es zu berücksichtigen, dass bereits bei der Projektplanung Platz für den Wiedereinbau, beispielsweise durch Geländemodellierung, oder -auffüllung vorzusehen ist. Eine entsprechende Planungshilfe zum Umgang mit anfallenden Bodenmaterial findet sich im Anhang.

Die Pilotprojekte aus dem Hochbau umfassen den Verbleib des Aushubs auf der Baustelle. Belastetes Material wird z. B. mittels Feinkalk stabilisiert und unter Auflagen der unteren Bodenschutzbehörde sowie unter Hinzuziehung von einem Bodengutachter verwertet. Dabei kann das Auffüllungsmaterial unterhalb von Fundamenten, Garagen und wasserundurchlässig befestigten Zufahrten wieder eingebaut werden. Im Bereich von Freiflächen bzw. Gartenflächen ist eine schadstofffreie Bodenschicht in einer Mächtigkeit von 0,35 m unter Geländeoberkante aufzubringen bzw. nachzuweisen. Die Schadstoffgehalte in dieser Bodenschicht müssen die entsprechenden Prüfwerte der BBodSchV deutlich unterschreiten (vgl. Stadt Osnabrück 2021).

Gebietsausweisungen

Gebietsausweisungen sehen vor, dass geogene oder anthropogen belastete Böden in andere bereits belastete Gebiete umgelagert werden können; ohne eine weitere Beeinträchtigung der Flächen sowie vorhandenen Schadstoffsituation; hier gilt das Einhalten des Verschlechterungsverbots. Der Gesamtschadstoffgehalt darf hierbei nicht erhöht und keine Mobilisierung vorhandener Schadstoffe in Gang gesetzt werden; die zuständigen Behörden können Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten ausweisen (vgl. HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 2021).

Das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht wird in § 12 BBodSchV (Stand 2002) geregelt und beinhaltet die Verwertung von Bodenmaterial auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, bei Maßnahmen des Garten- und Landschaftsbaus, wie auch die Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht im Zusammenhang mit der Sanierung von schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten. Bodenmaterial, welches innerhalb eines Grundstückes verbleibt und am Herkunftsort wiederverwendet wird, unterliegt nicht den Bestimmungen des § 12 BBodSchV.

In dem begleiteten Projekt zur Gebietsausweisung erfolgt ein Niveauausgleich des gesamten Baufeldes zur bestehenden Stichstraße durch den Einbau von anthropogen veränderten Böden geplant. Nach Maßgabe der unteren Bodenschutzbehörde durften hierfür, vor Einführung der Mantelverordnung, schadstoffbelastete Böden genutzt werden, die den Zuordnungswert der Einbauklasse Z2 der LAGA einhalten (vgl. LAGA M 20). Vor der Anlieferung des einzubauenden Materials ist ein Nachweis zur Herkunft sowie ein analytischer Nachweis pro 500 t vorzulegen, welcher die Einhaltung des Zuordnungswertes bestätigt (vgl. Stadt Osnabrück 2020).

Bewertungsindikatoren

Um einen Vergleich einer Aufbereitung und Wiederverwendung von Aushubmaterial gegenüber einer konventionellen Beseitigung zu ermöglichen, müssen hierfür Bewertungsindikatoren bestimmt werden. Bei Betrachtung einer konventionellen Entsorgung des Aushubmaterials setzten sich die monetären Aufwendungen zusammen aus:

- Entsorgungskosten entsprechend der Bodenqualitäten gemäß LAGA M 20
- Transportaufwendungen nach Fahrzeugtyp und Auslastung
- Anschaffungskosten von Primär-/Füllbaustoffe

Demgegenüber setzen sich bei einer Bodenaufbereitung die anfallenden Kosten wie folgt zusammen:

- Transportaufwendungen nach Fahrzeugtyp und Auslastung
- mögliche Aufbereitungskosten (Maschinen/Personal/Bindemittel)
- Anschaffungskosten von aufbereitetem Bodenmaterial

Die Daten zur Erhebung der Bodenbewegungen entstammen den Lieferscheinen und Wiegekarten der Projektpartner, welche auch die Zuordnungswerte gemäß LAGA M 20 aufweisen, sowie den Bauplänen und Bauanträgen der Hochbaumaßnahmen. Zur Berechnung der Transportaufwendungen werden im Falle der

konventionellen Entsorgung die der Bodenklassifizierung entsprechende und nahegelegene Entsorgungsstelle/Deponie (Streckenermittlung via Google Maps) angenommen. Bei der Bodenaufbereitung ist die Annahmestelle zur Bodenwiederaufbereitungsanlage bzw. das unbeprobte Zwischenlager als Zielort definiert. Abbildung 2 zeigt einen beispielhaften Kosten- und Emissionsvergleich einer konventionellen Entsorgung gegenüber einer Aufbereitung und Wiederverwendung von Aushubmaterial. Gemäß der Zielvorgaben für dieses Projekt kann für 200 m³ Bodenaushub eine Kostenersparnis von 42 % und eine Reduzierung der CO₂ – Emission von 65 % erzielt werden. Es darf damit gerechnet werden, dass ähnliche Ergebnisse auch in anderen Region erzielt werden können. Abhängig von den Strecken zu den Annahmestellen ist jedes Bauvorhaben natürlich individuell zu betrachten und zu berechnen. An den grundsätzlichen positiven Effekten wird sich jedoch nichts ändern, weil die Kosten für die Entsorgung und deren Transport eingespart werden können.

Abbildung 2 -Beispielhafte Gegenüberstellung konventionelle Entsorgung und Wiedereinbau, hier für 200 m³ Bodenaushub; markierte Felder sind individuelle Parameter

| Projektname: Musterbeispiel | | | | | Variante 2 Bodenverwertung: Aufbereitungsanlage/ behandelter Wiedereinbau/ Gebietsausweisung etc. | | | | |
|--------------------------------------|---------------|--------------------|-------------------------|----------------------|---|-----------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| Variante 1 konventionelle Entsorgung | | | | | | | | | |
| 200 m ³ | Bodenaushub | | | | 200 m ³ | Bodenaushub | | | |
| 360 t | Faktor 1,8 | | | | 360 t | Faktor 1,8 | | | |
| 14 Fahrten | Sattel (26 t) | | | | 22 Fahrten | 4-Achser (17 t) | | | |
| 25 Fahrzeit (min) zur Deponie | | | | | 10 Fahrzeit (min) zur Aufbereitungsanlage | | | | |
| 15 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | | 4 Kilometer (einfach) zur Aufbereitungsanlage | | | | |
| Berechnung Transportkosten | | | | | Berechnung Transportkosten | | | | |
| 0,42 Fahrzeit (h) | | | | | 0,2 Fahrzeit (h) | | | | |
| 38,8 Verbrauch (l/100km) Volllast | Abladen | 309,75 € | | | 30,3 Verbrauch (l/100km) Volllast | Abladen | 415,25 € | | |
| 23 Verbrauch (l/100km) Leerfahrt | Voll | 516,25 € | | | 21,5 Verbrauch (l/100km) Leerfahrt | Voll | 276,83 € | | |
| 0,25 Kippzeit in h | Leer | 516,25 € | | | 0,25 Kippzeit in h | Leer | 276,83 € | | |
| Entsorgungskosten | | | | | Entsorgungs-/Aufbereitungskosten | | | | |
| Sattel/h | 88,50 € | 1.342,25 € | | | 4-Achser/h | 75,50 € | 968,92 € | | |
| Aushub/t | 18,00 € | 6.480,00 € | | | Aushub/t | 12,00 € | 4.320,00 € | | |
| Füllmaterial/t | 15,00 € | 3.000,00 € | | | Füllmaterial/ | 4,50 € | 900,00 € | | |
| Summe | | 10.822,25 € | | | Summe | | 6.188,92 € | | |
| CO ₂ - Bilanz | | | | | CO ₂ - Bilanz | | | | |
| LKW | Transp. (km) | ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | LKW | Transp. (km) | ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) |
| Sattel | 420,00 | 129,8 | 2,65 | 344 | 4-Achser | 176 | 45,6 | 2,65 | 121 |

Quelle: eigene Darstellung

In Abbildung 2 werden die Kosten sowie die CO₂-Bilanz bei konventionell Entsorgung sowie Wiedereinbau gegenübergestellt. Die farblich hinterlegten Felder sind individuelle Parameter, welche für das jeweilige Projekt und die Verwertungsmethode angepasst werden können. Dies betrifft den eingesetzten Fahrzeugtyp, die Entfernung zur Aufbereitungs- oder Entsorgungsstelle sowie die Kosten für Entsorgung, Aufbereitung wie auch Füllmaterialien. Die Excel-Datei zur Gegenüberstellung einer konventionellen Entsorgung und einer Wiederaufbereitung kann über die Projekthomepage bezogen werden. Der in der Kalkulation zugrunde gelegte Stundenaufwand für die Transportfahrten ergibt sich aus der Anzahl der Fahrten sowie der Fahrzeit zur Entsorgungsstelle. Die Preise für die Kosten von Primärbaustoffen und aufbereitetem Bodenmaterial sind Mittelpreise von Anlagenbetreibern des Projektbeirats und -partner (vgl. Lipke et al. 2021). Diese können von Region zu Region in Deutschland abweichend sein und sind nicht bindend.

Einen bedeutenden ökologischen Indikator stellt Dieselmotorkraftstoff und die damit verbundene CO₂-Emissionen dar. Hierbei wird im Rahmen des Forschungsprojekts die freigesetzte Emission durch Transportaufwendungen (Dieselverbrauch) des Bodenmaterials betrachtet. Die Herstellung und Transportaufwendungen für die sonst verwendeten Stoffe und Bauteile werden nicht berücksichtigt. Der Dieselverbrauch wird entsprechend der unterschiedlichen Fahrzeugtypen (Vierachser/Kippsattelzug) und Auslastung (Volllast/Leerfahrt) aufgeschlüsselt. Die Werte des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs der Transportfahrzeuge entstammen der Verbrauchstabelle des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA):

Tabelle 5 - Dieserverbrauch nach Fahrzeugtypen und Auslastung

| FAHRZEUGTYP | 0 % AUSLASTUNG (LEER) | 100 % AUSLASTUNG (VOLL) |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Vierachser (max. 17 t Nutzlast) | 21,5 l/100 km | 30,3 l/100 km |
| Sattelzug (max. 26 t Nutzlast) | 23,0 l/100 km | 38,8 l/100 km |

Quelle: eigene Darstellung nach HBEFA 2011, in Kranke et al. 2011

Grundlage für die Berechnung der CO₂-Emission bilden die ermittelten Transportaufwendungen nach Fahrzeugtyp und Auslastung. Die Berechnung der CO₂-Emissionen erfolgt anhand der Grundformel nach Kranke et al. 2011:

$$EMCO_2 = FCO_2 \times EV$$

EMCO₂ = Emission von Kohlendioxiden (CO₂) in kg

FCO₂ = CO₂-Umrechnungsfaktor in kg CO₂ je Liter Diesel

EV = Energieverbrauch in Liter Diesel

Der Umrechnungsfaktor bei Diesel beträgt 2,65 Kilogramm CO₂ pro Liter Diesel (2,65 kg/l) (Kranke et al. 2011, S. 61). Der Dieselmotorkraftstoffverbrauch je 100 km wird der Tabelle 5 entnommen.

Neben dem ökologischen Indikator Dieserverbrauch für Transportaufwendungen ist dieser gleichzeitig ein bedeutender ökonomischer Faktor. Dieser setzt sich aus den Fahrzeugkosten (Anschaffung und Unterhaltung) sowie Personalkosten zusammen. Bei mehr und weiteren Transportaufwendungen ergeben sich dementsprechend höhere Personal- und Fahrzeugkosten. Als Stundensatz für LKW inkl. Fahrer werden folgende Stundensätze angenommen; die Preise beruhen auf Mittelwerten der Projektpartner:

- 3-Achser/h inkl. Fahrer 75,50 €
- 4-Achser/h inkl. Fahrer 75,50 €
- Sattelzug/h inkl. Fahrer 88,50 €

Der in der Kalkulation zugrunde gelegte Stundenaufwand für die Transportfahrten ergibt sich aus der Anzahl der Fahrten sowie der Fahrzeit zur Entsorgungsstelle. Die Preise für die Kosten von Primärbaustoffen und aufbereitetem Bodenmaterial sind Mittelpreise von Anlagenbetreibern des Projektbeirats und -partner (Stand 2021). Diese können von Region zu Region in Deutschland variieren und sind nicht bindend.

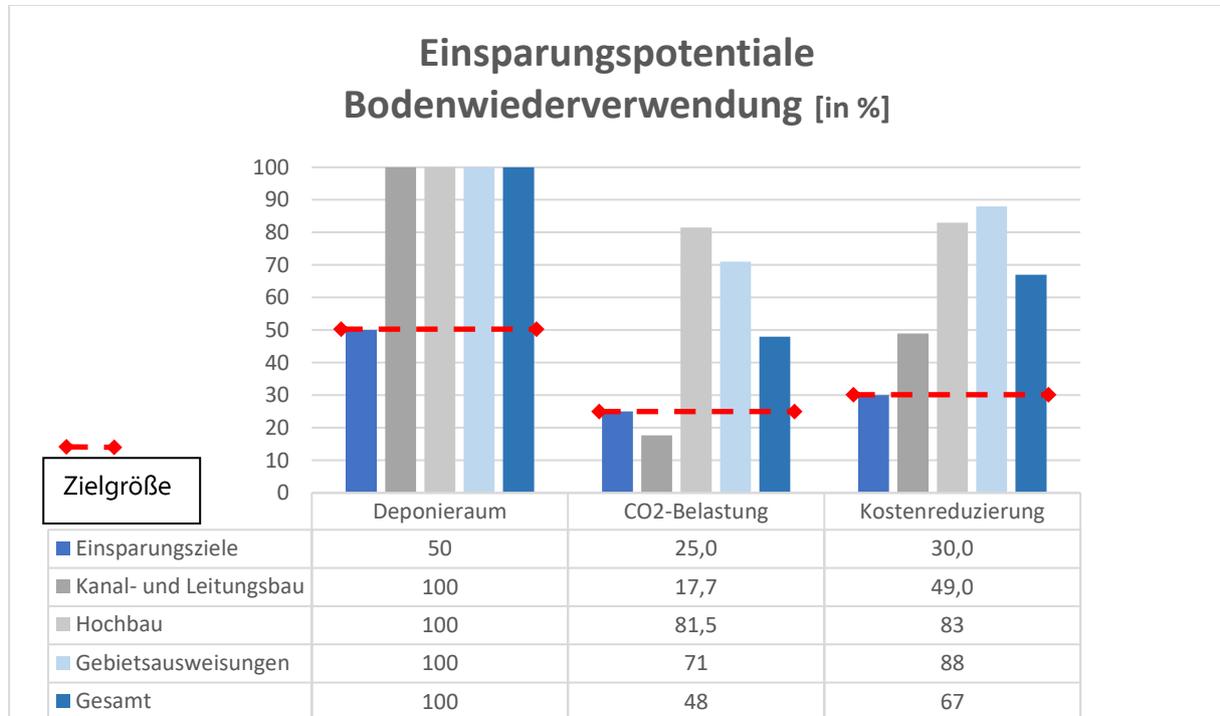
Ergebnisse der Einsparungspotentiale

Um die Effekte durch die Aufbereitung und Wiederverwendung von Aushubmaterials zu bewerten, sind für das Forschungsvorhaben folgende Einsparungsziele festgelegt worden:

- Deponieraum: 50 % des bisher zu deponierenden Bodens kann wiederverwendet werden
- CO₂-Belastung: Die CO₂-Belastung durch LKW-Transporte kann um 25 % verringert werden
- Wirtschaftliche Effekte: Die Kosten für die Behandlung, Transport, Verwertung/Verwendung von Böden können um 30 % reduziert werden.

Anhand der Pilotprojekte erfolgt eine Auswertung der gesetzten Ziele. Abbildung 3 zeigt die gemittelten Ergebnisse der Projektbaustellen, aufgeteilt in die verschiedenen Kategorien der Pilotprojekte. Die einzelnen Ergebnisse der Kosten- und CO₂-Emmissionsvergleiche befinden sich im Anhang.

Abbildung 3 - Einsparungspotentiale Bodenwiederverwendung



Quelle: eigene Darstellung

Deponieraum

Die Einsparung an Deponievolumen stellt einen wichtigen ökologischen Indikator dar, auch weil Deponiekapazitäten knapp sind. Zielvorgabe ist die Reduzierung von 50 % des benötigten Deponieraums, welcher bei einer konventionellen Entsorgung auf einer Deponie notwendig wäre. Aus Abbildung 3 geht hervor, dass im Falle der begleiteten Pilotprojekte eine Einsparung von 100 % vorliegt. Hierbei wurde der gesamte anfallende Bodenaushub im Stoffkreislauf erhalten und nicht auf einer Deponie entsorgt.

Bei dem anfallenden Bodenaushub handelte es sich um Material, welches nach LAGA M 20 nach Z 0 bis ≤ Z 2 eingestuft wurde. Im Rahmen der Gebietsausweisung wurde Boden ≤ Z 2 auf einer ausgewiesenen Fläche in enger Absprache mit den verantwortlichen Behörden der Stadt Osnabrück eingebaut und musste so nicht auf einer Deponie entsorgt werden - es gilt „Gleiches zu Gleichem“, das Verschlechterungsgebot wurde berücksichtigt.

Bei den Hochbaumaßnahmen ist das angefallene Material weitestgehend auf der Baustelle verblieben, mit Kalk stabilisiert und vor Ort wieder eingebaut worden. Kleinere Mengen wurden zur Bodenwiederaufbereitungsanlage transportiert und für andere innerstädtische Maßnahmen wiederverwendet. Im Kanal- und Leitungsbau wird der gesamte anfallende Bodenaushub zur zentralen Bodenwiederaufbereitungsanlage transportiert und im Stadtgebiet wiedereingebaut. Bei den betrachteten Baustellen ist kein Material ≥ Z 2 angefallen. Dieses darf im Osnabrücker Stadtgebiet nicht für technische Bauwerke verwendet werden, sondern muss entsorgt werden. Gesamt betrachtet lässt sich mit dem vollzogenen Bodenmanagement der Pilotprojekte insgesamt 100 % bzw. ca. 1.800 m³ Deponieraum einsparen.

Erderwärmungspotential

Bei der Betrachtung des Erderwärmungspotential erfolgt eine Gesamtbetrachtung des Kraftstoff- und CO₂-Emissionseinsparungspotentials durch die Gegenüberstellung der Aufbereitung und Wiederverwendung von Aushubmaterial mit einer konventionellen Bodenentsorgung. Primär werden die Transportaufwendungen betrachtet. In der Gesamtbetrachtung lassen sich gegenüber einer konventionellen Entsorgung und Materiallieferung 48 % des Kraftstoffverbrauchs und der CO₂-Emissionen einsparen.

Da bei den Hochbaumaßnahmen der anfallende Bodenaushub auf der Baustelle verbleibt, werden die Transportwege um mehr als 80 % reduziert. So können insgesamt 6.930 km für 730 m³ Bodenaushub eingespart werden; umgerechnet entspricht dies ca. 4,8 t CO₂. Auch hier ist zu erwarten, dass bei Anwendung im Bundesgebiet ähnlich Resultate zu erwarten sind.

Bei der Gebietsausweisung werden ebenso gute Ergebnisse erzielt. Hierbei können insgesamt 1,29 t CO₂ und ungefähr 1.500 km bei 305 m³ Bodenaushub eingespart werden.

Das Einsparungspotential der Transportaufwendungen für Bodenaushub aus Kanal- und Leitungsbaustellen ist im Vergleich zu den Hochbaumaßnahmen und Gebietsausweisungen gering. Die Zielvorgabe einer Einsparung von 25 % wird bei einem gemittelten Ergebnis von ca. 18 % nicht erreicht. Grund dafür ist, dass im Falle einer konventionellen Entsorgung des geringfügig belasteten, ggf. unbelasteten Materials diese im Umkreis des Stadtgebiets erfolgen kann. Bei den Berechnungen erfolgt stets die Annahme, dass an der Entsorgungsstelle die Substitutionsgüter für die Baustelle geladen werden können und keine Leerfahrt entsteht. Ist dies nicht gegeben, so erhöht sich der CO₂-Ausstoß. Neben den reduzierten LKW-Transporten verbleibt das Material stetig im Stoffkreislauf. Hierbei kann der Abbau von Ressourcen reduziert werden.

Durch das aufgezeigte Bodenmanagement der Pilotprojekte wird die Zielvorgabe der CO₂-Emissions Reduzierung von 25 % erreicht. Speziell durch den behandelten Wiedereinbau vor Ort und die geringe Entfernung zur zentralen Wiederaufbereitungsstelle kann der „Bodentourismus“ minimiert werden und ein Betrag zur Umweltschonung geleistet werden.

Baukosten

Durch stetig steigende Baukosten im Bundesgebiet, speziell in den Jahren 2021 und 2022 um bis zu 37 % gegenüber dem Beginn des Forschungsvorhabens im Februar 2020 (vgl. BKI 2023) werden neben einem nachhaltigen Umgang mit der Ressource Boden, ökonomische Faktoren beim Bauen immer wichtiger. Die Bodenentsorgung stellt bei Bauabwicklungen derzeit einen wichtigen Kostenfaktor dar. Bei Betrachtung der gemittelten Ergebnisse kann anhand der ausgewerteten Pilotprojekte eine Kostenersparnis von mehr als 65 % gegenüber einer konventionellen Beseitigung des Bodenaushubs erzielt werden.

Bei den Pilotprojekten des Hochbaus und der Gebietsausweisungen können sogar über 80 % der anfallenden Kosten bei einer konventionellen Entsorgung eingespart werden. So wird mit einem behandelten Wiedereinbau des Aushubmaterials vor Ort eines Einfamilienhauses mit Keller (Pilotprojekt 1) über 30.000 € eingespart, bei einem Mehrfamilienhaus mit Keller sogar über 55.000 € (Pilotprojekt 3).

Wird der Bodenaushub bei einer Kanal- und Leitungsbaumaßnahme in das unbeprobte Zwischenlager der Bodenwiederaufbereitungsanlage gefahren und aufbereitetes Material zur Verfüllung genutzt, kann für jede Maßnahme eine Ersparnis von ca. 50 % erzielt werden. Bei einem Kanalanschluss (Pilotprojekt 4) sind dies ca. 1.000 €. Bei ungefähr 80 Kanalanschlüssen pro Jahr (vgl. Stadtwerke 2022), mit einer jeweiligen Ersparnis von 1.000 €, entspricht dies 80.000 € pro Jahr.

Zusammenfassend ist anhand Abbildung 3 deutlich erkennbar, dass die für das Forschungsprojekt gesetzten Einsparungsziele übertroffen wurden. Bis auf 2 % Punkte bei den CO₂-Emissionen sind alle erzielten Einsparungspotentiale doppelt so hoch wie zu Beginn festgesetzt. Hierbei wird im Rahmen des intelligenten Bodenmanagements urbaner Kleinbaustellen ein zufrieden stellendes und positives Ergebnis erreicht.

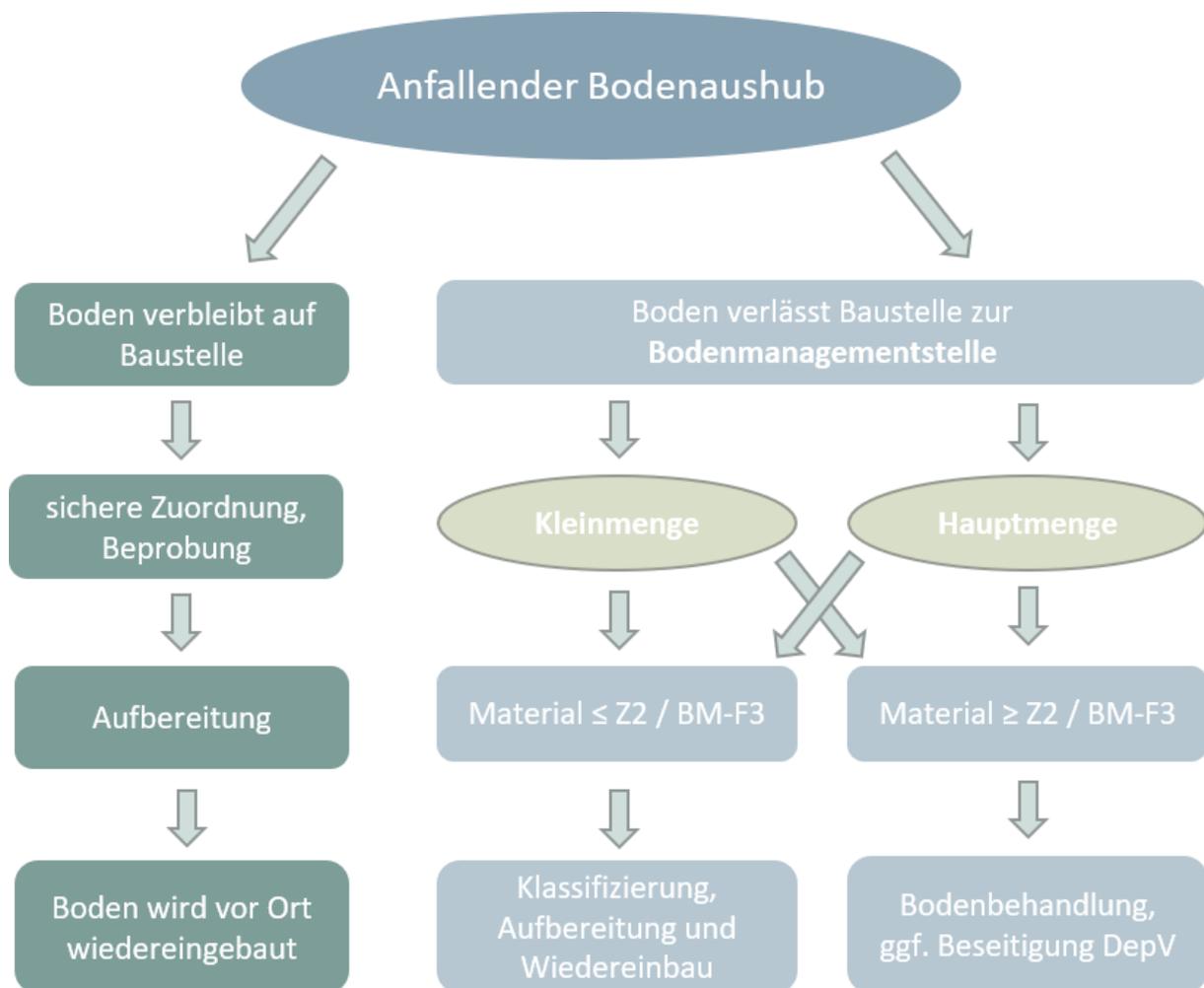
Alle Pilotprojekte machen deutlich, dass ein Bodenmanagement, wie es aktuell in Osnabrück vollzogen wird, auch in anderen Standorten hohes Verbesserungspotential ermöglichen würde. Stichpunktartige

Kostenvergleiche mit anderen Regionen zeigen ein ähnliches Bild. Auch der Faktor Transportweg kann zwar bei Standorten stark variieren, durch die abnehmenden Kapazitäten in Deponien und Annahmestellen zur bodenähnlichen Verwertung werden rückläufig sein, so dass sogar mit einer weiteren Zunahme der positiven Effekte eines Bodenmanagements wie aktuell in Osnabrück praktiziert zu rechnen ist

Ansätze des ressourcenschonenden Bodenmanagements

Nachstehend werden die mit einem ressourcenschonenden Bodenmanagement einhergehenden Stoffströme schematisch dargestellt. Abbildung 4 stellt eine vereinfachte Visualisierung dar. Der linke Strang zeigt einen Verbleib von anfallendem Bodenaushub auf der Baustelle. Das Material kann sicher zugeordnet werden, hat eine bautechnische Eignung und wird wieder eingebaut. Im rechten Szenario verlässt das Material die Baustelle zu einer zentralen Bodenmanagementstelle, wird beprobt, aufbereitet und wieder in Verkehr gebracht. Beide Verfahren ermöglichen ein Handeln im Sinne der Kreislaufwirtschaft. Eine visualisierte Darstellung des gesamten Bodenmanagement-Prozesses erfolgt anhand eines Flussdiagramms. In Abhängigkeit der Bodenqualitäten wie auch der verschiedenen Aufbereitungsstrategien werden die jeweiligen Schritte detailliert abgebildet. Dies soll eine Nachvollziehbarkeit der in dieser Arbeit erörterten Abläufe aufzeigen. Das ausführliche Flussdiagramm befindet sich im Anhang.

Abbildung 4 - vereinfachte Darstellung einer Bodenwiederverwendung



Quelle: eigene Darstellung

Möglichkeiten und Grenzen einer zentralen Bodenwiederaufbereitungsanlage

Zusammenfassend lassen sich aus den Pilotprojekten und den ökologischen sowie ökonomischen Verbesserungspotenzialen Möglichkeiten, aber auch bestehende Verbesserungspotentiale für intelligentes Bodenmanagement im urbanen Raum ableiten, welche nachstehend dargestellt werden.

Möglichkeiten

Auf einer zentralen Bodenwiederaufbereitungsanlage kann unbeprobter Bodenaushub entsprechend der Bagatellgrenzen zwischengelagert, beprobt, aufbereitet und wieder in Verkehr gebracht werden. Dies ermöglicht, dass Bodenmaterial im Kreislauf erhalten bleibt, was einer Verwertung im Sinne des KrWG entspricht. Die Ergebnisse der Pilotprojekte zeigen mit unterschiedlichen Bodenverwertungsmaßnahmen die Vielzahl an ökologischen und ökonomischen Vorteilen gegenüber der konventionellen Beseitigung auf.

Hierdurch kann ein umweltschonender und kosteneffizienter Umgang mit ausgehobenem Bodenmaterial erreicht werden. Auch eine Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit und der Schutz natürlicher Ressourcen sind möglich. Daneben können wertvolle Deponiekapazitäten geschont werden. Die aus den Pilotprojekten aufkommenden Bodenmengen verbleiben im Kreislauf.

Auch die Schaffung eines geschlossenen Stoffkreislaufs, welcher den Rohstoffabbau minimiert, ist ein wichtiger Aspekt des hier angewendeten Bodenmanagements. Zudem ist eine Reduzierung des Energieaufwandes, welche zur Gewinnung der Rohstoffe erforderlich ist, möglich. Reduzierte Transportaufwendungen, bringen gleichzeitig eine Minderung der Kraftstoffverbräuche und Schadstoffemissionen mit sich mit. Dadurch werden auch Personal- und Fahrzeugkapazitäten frei; speziell die freiwerdenden Personalressourcen können in Zeiten von Fachkräftemangel anderweitig eingesetzt werden.

Aus ökologischer Sicht wird bei einer Beseitigung bzw. Verfüllung von gering- und unbelastetem Bodenmaterial eine nicht endlose Ressource verbraucht, was besonders dem tatsächlichen Rohstoffwert des Materials nicht gerecht wird. Insbesondere die derzeitige Ausschreibungspraktik, aber auch mangelnde Lagerkapazitäten auf urbanen Baustellen fördern diesen Prozess. Durch eine Bodenwiederaufbereitungsanlage mit einem Zwischenlager für unbeprobtes Bodenmaterial kann auch ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

Eine Gesamtbetrachtung, welche die Entsorgungs- und Lieferkosten umfasst, verdeutlicht das ökonomische Potenzial der Bodenaufbereitung und -wiederverwendung. Gegenüber einer konventionellen Beseitigung beträgt die Ersparnis einer zentralen Bodenwiederaufbereitungsanlage für Bodenaushub aus dem Kanal- und Leitungsbau rund 50 Prozent. Tendenziell steigen die Kosten für die Entsorgung von Bodenaushub weiterhin aufgrund knapper Deponiekapazitäten, speziell die Entsorgung von belasteten Böden. Auch der Einkauf von Primärrohstoff ist von einer Kostensteigerung nicht ausgenommen.

Die Zwischenlagerung von unbeprobtem, verwertbarem Bodenaushub auf einer Bodenwiederaufbereitungsanlage stellt einen Lösungsansatz für die Wiederverwendung dar, speziell für Kleinmengen, wie z. B. anfallender Aushub eines Hausanschlusses. Die Beprobung von Kleinmengen ist zudem kostenintensiv. Unter Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen für Zwischenlager kann Aushub gesammelt, im Haufwerk beprobt, separiert und wieder in Verkehr gebracht werden. Dies ist auch ökonomisch ein sinnvolles Vorgehen. Zudem verbleibt der Boden im Kreislauf und wird nicht auf einer Deponie entsorgt.

Das aufgezeigte Bodenmanagement der Projektpartner ist Impulsgeber für eine Bewusstseinsklärung im Umgang mit der Ressource Boden. Bodenaushub muss als Wirtschaftsgut wahrgenommen werden und nicht als Abfallstoff. Öffentliche Auftraggeber sollen hier eine Vorbildfunktion einnehmen und einen Wiedereinbau gegenüber dem Einbau natürlicher Rohstoffe vorziehen. Dies kann auch positiven Einfluss auf die Entscheidungsfindung privater Auftraggeber haben.

Grenzen

Die Belastung des Bodenaushubs ist ein ausschlaggebender Faktor für die Möglichkeiten der Wiederverwendung. Im Stadtgebiet Osnabrück ist ein Einbau von belastetem Material \geq Z 2 (gemäß LAGA M 20) nicht erlaubt; dieser muss somit einer konventionellen Beseitigung zugeführt werden. Dementsprechend ist eine Aufbereitungsanlage effektiver, je höher der Anteil an gering bis mäßig belastetem Bodenmaterial ist. Der zum Zeitpunkt des Forschungsprojekts noch geltende Niedersächsische Kleinmengenerlass hat den Vorteil, dass Bodenaushub in ein unbeprobtes Zwischenlager geführt werden darf, weist dennoch auch Nachteile auf. Ein Wiedereinbau darf nur in technischen Bauwerken erfolgen; der Zeitraum, in dem das Material einer Verwertung zugeführt werden muss, ist zudem auf vier Wochen beschränkt. Der derzeitige höhere Beprobungsaufwand für niedersächsische Unternehmen ist bereits im Abschnitt „Umgang mit Kleinmengen“ dargestellt. Bundeseinheitliche Regelungen, wie es die Mantelverordnung vorsieht, werden in Bezug auf Umgang mit Kleinmengen leider nicht klar definiert.

Ein weiteres Problem besteht in der Abrechnung von Kleinmengen unterschiedlicher Bauvorhaben, die differenzierte Belastungen aufweisen können. Eine Differenzierung nach der Beprobung im Haufwerk ist nicht mehr möglich. Eine Möglichkeit zur Lösung des Problems ist die Separierung nach Kunden sowie eine generelle Einstufung als Z 1.1 Material. Stellt sich nach der Untersuchung heraus, dass die Stoffe höher belastet sind, z. B. Z 1.2, wird das gesamte Haufwerk dementsprechend eingestuft.

Die Abnahme von aufbereitetem Material stellt für Anlagenbetreiber ein Risiko dar, denn es bestehen weiterhin Unsicherheiten. Dadurch kann es zu einem Über- oder Unterangebot an Lager- und Aufbereitungskapazitäten kommen. Zudem ist die Lagerungsdauer zu beachten; angeliefertes Material darf maximal ein Jahr gelagert werden, da es sich andernfalls rechtlich um ein nicht genehmigtes Langzeitlager handelt. Falls dieser Zeitraum überschritten wird, kann es passieren, dass unbelastetes Bodenmaterial einer Beseitigung auf Deponien zugeführt werden muss.

Die derzeitige Ausschreibungspraxis stellt eine Hürde dar. Statt des Wiedereinbaus von MEB sieht die Praxis immer noch einen Einbau von Primärbaustoffen vor. Die Bereitschaft der Auftraggeber einer Verwendung von aufbereitetem Bodenaushubs muss vermehrt in Ausschreibungen gefordert und gefördert werden. Trotz der Tatsache, dass § 45 KrWG eine Bevorzugungspflicht rohstoffschonender, energiesparender oder recyclingfähiger Produkten besteht, kommt eine Vielzahl der Ausschreibungen dieser nicht nach (vgl. § 45 KrWG). Der bestehenden Verpflichtung öffentlicher Stellen, abfallvermeidende Erzeugnisse gemäß § 3 NABFG zu bevorzugen, wird nicht gefolgt. Grundsätzlich sollte die Förderung einer Abfallverwertung im Rahmen der fachlichen Regelwerke für einen ökologisch verantwortungsbewussten Auftraggeber selbstverständlich sein.

Tabelle 6 – Möglichkeiten und Grenzen einer Bodenwiederaufbereitungsanlage

| Möglichkeiten | Grenzen |
|---|--|
| Hochwertige Verwertung von mineralischen Abfällen im Sinne des KrWG | Bereitschaft der Auftraggeber zur Anpassung der Ausschreibungspraxis |
| praktikabler Umgang mit der Ressource Boden | Marktbedarf an Substitutionsgüter |
| Ressourcenschonung und Reduzierung von Deponiekapazitäten | konventionelle Entsorgung von Überschussmengen möglicherweise weiterhin erforderlich |
| Geschlossener Stoffkreislauf in Bezug auf anfallenden Bodenaushub | konventionelle Entsorgung von Material \geq Z 2 weiterhin erforderlich |

| Möglichkeiten | Grenzen |
|---|--|
| Reduzierung der Transport- und Entsorgungskosten | aufwendige Dokumentation bei wieder Inverkehrbringen (MantelV) |
| Reduzierung des Dieserverbrauchs und der CO ₂ -Emissionen, Beitrag Klimaschutz | Kleinmengenerlass: keine bundeseinheitliche Auslegung (MantelV) |
| Steigendes Umweltbewusstsein, positive Außenwirkung | Kleinmengenerlass: Verwertung nur in technischem Bauwerk |
| Kosteneinsparung von Primärrohstoffen zur Substitution durch Bodenaufbereitung | Kleinmengenerlass: Beseitigung von Boden sofern keine Verwertung in 4 Wochen |
| Unabhängigkeit gegenüber Entsorgungsstellen und Lieferanten | Hoher Flächenbedarf für eine Zentralstelle im urbanen Raum |
| Ökonomisch rationaler Umgang mit Kleinmengen | Abrechnung verschiedener Bodenchargen nicht möglich |
| Impulsgeber für eine Bewusstseinschärfung (Boden als Wirtschaftsgut) | |
| Rechtlich gesicherter Umgang mit Bodenaushub | |

Quelle: eigene Darstellung

Planungsschritte bei anfallendem Boden

Eine frühzeitige Auseinandersetzung mit anfallendem Boden und dem Stoffstrommanagement ist bereits in der Planungsphase Voraussetzung für ein intelligentes Bodenmanagement. Anhaltspunkt für Planer und Ingenieure ist § 18 der BBodSchV, welcher die Vorerkundung des Baugrundes regelt. Dabei gilt es folgendes zu beachten:

- Einschätzung der Bodenbeschaffenheit und erforderlicher Untersuchungsumfang durch in-situ Untersuchung, Haufwerksbeprobung
- Auswertung vorhandener Hintergrundinformationen; aktuelle und historische Unterlagen, Luftbilder und Karten Auskünfte bei zuständigen Behörden
- Prüfung anthropogener oder geogener Belastungen
- Bodenkundliche Kartierung oder Bodenansprache, sofern keine geeigneten bodenbezogenen Informationen vorliegen
- Beachtung DIN 19731

Neben § 18 BBodSchV gibt Tabelle 7 eine vereinfachte Handlungsanweisung zum Thema „Sicherer Umgang mit Boden“ und verdeutlicht das Erfordernis einer frühzeitigen Planung, wie auch die Auseinandersetzung mit anfallendem Bodenmaterial. Diese ist nicht endgültig und kann für jedes Bauvorhaben individuell ergänzt werden.

Tabelle 7 - Checkliste Bodenmanagement

| Checkliste Bodenmanagement – sicherer Umgang mit Bodenmaterial | |
|--|---|
| Aufgabe | Erfordernis |
| Vor Baubeginn erforderlich | |
| Bodengutachten, Baugrundgutachten | <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein |
| Eignung zur Wiederverwendung nach BBodSchV | <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein |
| Beseitigung gemäß EBV | <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein |
| Wasserschutzgebiet (Trinkwasser etc.) | <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein |
| Grundwasserstand | <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein |
| Beprobung des Bodenaushubs | <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein |
| Hinweise auf Altlasten, Schadstoffe im Boden: <ul style="list-style-type: none"> ■ urbaner Raum, ■ Altlasten, Aufschüttungen, ■ geologische, geogene Belastung ■ Rückbau von Bestand, siedlungsbedingte Belastungen ■ ehemalige Deponien, ■ Gemengelage, ■ hohe humose, organische Anteile | <input type="checkbox"/> ja, Rücksprache mit den Behörden, ggf. Bodengutachter <input type="checkbox"/> nein |
| Klärung der Schadstoffbelastung | |
| Baugrunduntersuchung: <ul style="list-style-type: none"> ■ Festlegung der Probenahmepunkte, ■ Entnahme repräsentativer Proben (Bohrung, Schürfe), ■ Analytikumfang bestimmen, ■ Beauftragung eines Untersuchungslabors | |
| Umsetzung von Bodenarbeiten | |
| anfallender Bodenaushub: <ul style="list-style-type: none"> ■ Kalkulation der anfallenden Menge, ■ Wiederverwendung vor Ort möglich, ■ Geländemodellierung, | |

Checkliste Bodenmanagement – sicherer Umgang mit Bodenmaterial

- Möglichkeit zur Zwischenlagerung,
 - Bodenverbesserung, behandelter Wiedereinbau,
 - Einhaltung der Bagatellgrenzen,
 - Rücksprache mit Architekten bzw. Behörden
- bei Wiederverwendung beachten:**
- Bodenverdichtung vermeiden,
 - Zwischenlagerung; separate Mieten von Ober- und Unterboden, Zwischenbegrünung,
 - Witterungsverhältnisse,
 - Terminverschiebung bei feuchten Bodenverhältnissen,
 - Anforderungen an Vegetationsflächen,
 - Vorgaben der Behörden

Quelle: eigene Darstellung

Handlungsempfehlung urbanes Bodenmanagement

Resultierend aus dem Forschungsvorhaben wird deutlich, dass bundesweit noch Handlungs- und Optimierungsbedarf zum Thema „sicherer Umgang und Möglichkeiten der Wiederverwendung von Bodenaushub“ besteht. Die Akzeptanz von Mineralischen Ersatzbaustoffen (MEB) und der damit verbundenen sicheren Wiederverwendung, stellen das größte Hemmnis bei der Verwendung von aufbereiteten Bodenmaterialien und MEB dar. Die benötigte Sicherheit kann u.a. durch die Beseitigung von Wissensdefiziten der betroffenen Akteure erreicht werden, mit dem Ziel der Verwendung von MEB, einem anderen Umgang der Ressource Boden und damit verbunden einer Steigerung des Absatzmarktes von RC-Produkten.

Die nachstehend aufgeführte Handlungsempfehlung zum Bodenmanagement resultiert aus der Synergie der neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen in Form der MantelV sowie der wissenschaftlichen Begleitung der Pilotprojekte aus der Praxis. Diese sind nicht abschließend und können individuell ergänzt werden.

Tabelle 8 - Handlungsempfehlungen Bodenmanagement

| Thematik | Maßnahme | Umsetzung |
|--------------|---------------------------------|---|
| Gesetzgebung | Einführung Mantelverordnung | Angebote der Verbände zu Weiterbildungen, Seminare und Schulungen zum Thema MantelV, Bodenverwertung, Aufbereitungsmöglichkeiten |
| | Übergangsfrist MantelV bis 2025 | Austausch, Prüfung und Anpassung der neuen Regelungen in Kooperation zwischen Praxis, Verbänden und Behörden |
| | Öffentlichkeitsarbeit | Sensibilisierung der Bauherren über den schadstofffreien Einsatz von MEB, Handeln im Sinne der Kreislaufwirtschaft, lange Transportwege für Bodenaushub, CO ₂ -Emission, Deponieverknappung; z. B. Internetpräsenz LfU Bayern |
| | Öffentlichkeitsarbeit | Checkliste Bodenmanagement – sicherer Umgang mit Bodenmaterial. Hinweise für private und gewerbliche Hausbauer, Investoren |
| Planung | Grundlagen | Frei zugängliche, digitale Planungsunterlagen zur Aufnahme von Bestandsituationen für Planer, Bauherren – geogene Belastungen, schadstoffhaltige Auffüllungen etc. |
| | Baugenehmigung | Integration, Berücksichtigung, Auflagen des FB Umwelt und Klimaschutz, Untere Bodenschutzbehörde / Altlasten in die Baugenehmigung |
| | Abfallvermeidung | Abfallvermeidung im Sinn der KrWG – Bodenaushub auf der Baustelle wiederverwenden |

| Thematik | Maßnahme | Umsetzung |
|---------------|---------------------------------|---|
| | Gebietsausweisung | „Gleiches zu Gleichem“ gemäß § 12 BBodSchV |
| | Umlagerung | Bei neuen Planungsgebieten Flächen für Bodenumlagerung, Zwischenlagerung planen und um Baufeld ausweisen, § 6 Abs. 4 BBodSchV |
| | Technische Bauwerke | Einbau von MEB in technische Bauwerke statt Verfüllung mit Primärbaustoffen, Einbautabellen gem. Anlage 2 EBV |
| | Bodenkundliche Baubegleitung | Auflage und Kontrolle bodenkundlicher Baubegleitung bei Vorhaben $\geq 3.000 \text{ m}^2$ gem. § 4 Abs. 5 BBodSchV |
| Ausschreibung | Bevorzugungsgebot | § 45 KrWG – Einhaltung der Bevorzugungspflicht von rohstoffschonenden, energiesparenden oder recyclingfähigen Produkten |
| | Vergabehandbuch | VOB/A § 16d beinhaltet Bestimmung der Wirtschaftlichkeit umweltbezogener Aspekte und Produkte |
| | Produktneutrale Ausschreibungen | Einhaltung von VOB/A § 7 und produktneutral ausschreiben, MEB zulassen, Bevorzugung MEB |
| Kooperation | Bodenmanagement | Schaffung eines Rahmenvertrags mit Tiefbauunternehmen zur Anlieferung und Abnahme von aufbereitetem Bodenmaterial |
| | Bodenbörse-App | Virtueller Umschlagsplatz für Bodenmaterialien z. B. Schütfflix, Dieckmann Bauen + Umwelt |

Quelle: eigene Darstellung

Hinweise für Genehmigungsbehörden

Intelligentes und effizientes Bodenmanagement kann nur im Einklang mit Behörden funktionieren. Die nachstehend aufgeführten Hinweise stellen eine Ergänzung zur Tabelle 8 – Handlungsempfehlungen Bodenmanagement dar. Diese sind nicht endgültig und sind für die jeweilige Behörde individuell zu ergänzen.

Tabelle 9 - Ergänzende Hinweise für Genehmigungsbehörden

| Thematik | Maßnahme | Umsetzung |
|---------------|---------------------------------|---|
| Gesetzgebung | Einführung Mantelverordnung | |
| | Übergangsfrist MantelV bis 2025 | Prüfung und Anpassung der neuen Regelungen in Zusammenarbeit mit Verbänden |
| | Öffentlichkeitsarbeit | Sensibilisierung und Aufklärung der Bauherren über den schadstofffreien Einsatz von MEB |
| | Vorbildfunktion | aktives Mitwirken bei Umsetzung und Einhaltung der MantelV |
| Planung | Grundlagen | Digitale Planungsunterlagen zur Bestandaufnahme für Planer zur Verfügung stellen |
| | Baugenehmigung | FB Umwelt und Klimaschutz, Untere Bodenschutzbehörde / Altlasten: Auflagen zum Bodenmanagement in Baugenehmigung |
| | Umlagerung | Flächenausweisung für Bodenumlagerung, Zwischenlagerung gem. § 6 Abs. 4 BBodSchV |
| Ausschreibung | Bevorzugungsgebot | § 45 KrWG – Einhaltung der Bevorzugungspflicht von rohstoffschonenden, energiesparenden oder recyclingfähigen Produkten |
| | Produktneutrale Ausschreibungen | Einhaltung von VOB/A § 7 und produktneutrale Ausschreibungen, MEB zulassen ggf. bevorzugen |

| Thematik | Maßnahme | Umsetzung |
|-------------|-----------------|--|
| Kooperation | Bodenmanagement | Schaffung Rahmenvertrag zwischen Stadt, Stadtwerken und Tiefbauunternehmen zur Anlieferung und Abnahme von aufbereitetem Bodenmaterial |

Quelle: eigene Darstellung

Gesamtdiskussion

Einordnung der Ergebnisse in den wissenschaftlichen Kontext

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer Prozessbeschreibung, welche den Akteuren des Baugewerbes die Auswahl einer nachhaltigen wie auch wirtschaftlichen Variante zur Umsetzung des Bodenmanagements liefert. Anhand der exemplarischen Begleitung von Pilotprojekten im urbanen Raum werden praxismgerechte Entscheidungswege für eine Wiederverwendung von Aushubmaterial auf Kleinbaustellen aufgezeigt. Die möglicherweise dabei auftretenden Herausforderungen und Grenzen eines Wiederverwertungssystems für Bodenmaterial werden ebenfalls beleuchtet. Neben einer funktionalen und technisch korrekten Wiederverwendung, soll eine rechtlich gesicherte Durchführung hervorgehen. Hierfür wird sich mit der ab August 2023 geltenden Gesetzgebung intensiv auseinandergesetzt.

Wie aus den Ergebnissen des Forschungsprojekts hervor geht, hat ein urbanes Bodenmanagement sowohl einen ökologischen als auch ökonomischen Mehrwert. Die begleiteten Pilotprojekte aus den Bereichen Hochbau, Kanal- und Leitungsbau sowie Gebietsausweisungen zeigen folgendes auf:

- Der Deponieraum kann bis zu 100 % eingespart werden.
- Die CO₂-Belastung durch LKW-Transporte kann zwischen 17 % und 81 %, im Mittel um knapp 50 % reduziert werden.
- Die Kosten für die Behandlung, Verwertung/Verwendung und den Transport von Böden können zwischen 49 % und 88 %, im Mittel ca. 67 % reduziert werden.

Durch die einheitliche Einführung der Ersatzbaustoffverordnung werden solche Ergebnisse auch im rechtlichen Bundesgebiet möglich.

Aus den Ergebnissen der Pilotprojekte erfolgt die Entwicklung eines Prozessdiagramms mit Entscheidungswegen zu den möglichen Aufbereitungs- bzw. Wiederverwendungsmethoden (s. Anhang 9). Dieses zeigt die Entscheidungswege eines Bodenmanagements auf, welche einen nachhaltigen Umgang mit Aushubmaterial berücksichtigt. Derzeitige Planungen und Umsetzungen mit anfallendem Bodenaushub sind in der Regel Einzelfallentscheidungen und situationsabhängig (vgl. Uphoff 2022). Durch das Prozessdiagramm kann dies standardisiert und sicher erfolgen. Unumgänglich ist weiterhin eine frühzeitige Auseinandersetzung und Planung bei Vorhaben mit anfallendem Bodenmaterial.

Für die Betrachtung des wissenschaftlichen Kontexts bedeutet dies, dass für nachhaltiges Bauen und dem damit verbundenen Beitrag zur CO₂-Emissionsreduktion ein durchdachtes oder „intelligentes“ Bodenmanagement, speziell im urbanen Raum, einen wesentlichen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten kann. Oftmals wird geringfügig oder unbelasteter Bodenaushub auf einer Deponie entsorgt, da es für eine schnelle Bauabwicklung am effizientesten erscheint. Durch Aufbereitung auf einer zentralen Bodenaufbereitungsstelle und des wieder Inverkehrbringens wird ein Kreislauf geschaffen, sodass eine nicht endlose Ressource eine ordnungsgemäße Wiederverwertung erhält.

Hierfür müssen keine hohen wissenschaftlichen Standards oder Erkenntnisse entwickelt werden; es muss vielmehr das Bewusstsein für die Ressource Boden geschärft und Hemmnisse zur Verwendung von MEB oder RC-Produkte gemindert werden. Die erarbeiteten Handlungsempfehlungen können nicht nur für Behörden und Kommunen, sondern für alle Akteure als Hilfe dienen. Dabei sind die erarbeiteten Handlungsempfehlungen in ihrer vorliegenden Form nicht endgültig und können für die jeweiligen Situationen individualisiert sowie ergänzt werden.

Die aufgezeigten Pilotprojekte des Forschungsvorhabens und das damit einhergehende Prozessdiagramm zum „intelligentes Bodenmanagement“ können einen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten und schonen die Umwelt.

Das für das Forschungsprojekt angestrebte Ziel eines bundesweit anwendbaren Leitfadens konnte nicht erfüllt werden. Grund hierfür sind die unterschiedlich gegebenen Standortbedingungen. Jeder Standort hat differenzierte Gegebenheiten, geogene oder siedlungsbedingte Belastungen. Durch die entwickelten Handlungsempfehlungen und das Prozessdiagramm „intelligentes“ Bodenmanagement sind Grundlagen für einen sicheren Umgang gegeben. Diese können für den jeweiligen Standort individuell ergänzt und angepasst werden.

Hinzukommend ist die Ungewissheit, wie sich die rechtlichen Rahmenbedingungen der MantelV, EBV ab dem 01. August 2023 auf das Bodenmanagement auswirken. Hier kann es ggf. ebenfalls zu Änderungen und Anpassungen kommen. Hinsichtlich dieses Aspekts ergibt sich die kritische Frage zum gewählten Zeitraum des Forschungsvorhabens. Dieses endet vor in Krafttreten der MantelV. Ein ressourcenschonender Umgang mit Bodenaushub ist jedoch nicht an die MantelV gekoppelt. Es ist jetzt notwendig einen anderen Umgang zu etablieren, welcher im Bericht aufgezeigt wird.

Dennoch sind folgende, ergänzende Aspekte, im Rahmen weiterführender Untersuchungen denkbar:

- Begleitung und Untersuchung von Pilotprojekten außerhalb des urbanen Raums wie z. B. Baufelderschließungen, Konversionsflächen, etc.
- Aufzeigen des Bodenmanagements und Begleitung von Pilotprojekten unter Berücksichtigung der neuen rechtlichen Gegebenheiten
- Bundesweite Pilotprojekte, hierbei können die geknüpften Kontakte des Projektsbeirats von Nutzen sein
- Berücksichtigung aller Aufbereitungsmöglichkeiten von Bodenaushub

Handlungsempfehlungen einer bundesweiten Anwendung

Die Einführung der Mantelverordnung im Laufe der Projektlaufzeit wird zu einer deutlichen Zunahme der Aufbereitung und Wiederverwendung von anfallendem Bodenaushub führen, um diesen im Stoffkreislauf zu halten.

Für die urbanen Kleinbaustellen steht die Vermeidung an erster Stelle. Wie sich gezeigt hat, führt auch bei kleineren Bauvorhaben, die Wiederverwendung, ggf. nach einer Aufbereitung der Böden zu nennenswerten wirtschaftlichen Vorteilen für Bauherren und Auftraggeber.

Bei eingeschränkter Lagerfläche und aufgrund der geringen Mengen bei urbanen Kleinbaustellen ist die Einrichtung dezentraler Bodenannahmestellen wesentlicher Teil der Lösung. Unbedeutend ist dabei, ob diese Stellen kommunal, privatwirtschaftlich oder von Versorgungsträgern betrieben werden. Möglicherweise ist ein Wettbewerb hier sogar förderlich. Damit eine Bodenannahmestelle die gesetzlich vorgeschriebenen Prüfvorgänge, Dokumentationen und Entscheidungsprozesse wirtschaftlich betreiben kann, braucht diese aber auch einen gewissen Mindestumsatz an Boden, damit die Infrastruktur, wie Lager, Waage, Maschinen und Geräte zur Aufbereitung und letztlich das Personal vorgehalten werden können. Mindestumsatzgrößen konnten in diesem Projekt jedoch nicht ermittelt werden.

Für die Annahme von Böden werden zwei Wege empfohlen:

- Die klassifizierte Annahme und Lagerung verbunden mit einer regelgerechten, zeitnahen und ortsnahen Wiederverwendung.
- Die nicht klassifizierte Annahme für Auftraggeber, die regelmäßig urbane Kleinbaustellen betreiben. Anschließende Klassifizierung mit der dann folgenden regelgerechten, zeitnahen und ortsnahen Wiederverwendung.

Bei der Aufbereitung hat sich die Trockensiebung als praktikabel erwiesen, um Böden z.B. im Leitungsbau mit einfachen Mittel der Wiederverwendung zuzuführen.

Für weitergehenden Aufbereitungsverfahren, wie z.B. Bodenwäsche oder die Verwendung als Flüssigboden fehlen häufig die wirtschaftlichen Anreize. Diese ergeben sich, insbesondere bei Flüssigboden eher aus den Rahmenbedingungen des Verwendungsortes als aus bodenwirtschaftlichen Aspekten.

Damit die Ziele Ressourcenschonung, die Verringerung und Nichtbeanspruchung von Deponieraum erreicht werden können, ist aber nicht die Annahme von Boden der begrenzende Faktor, sondern dessen Wiederverwendung. Hier richtet sich die Empfehlung an alle am Bau tätigen Akteure Ersatzbaustoffe und wiederverwendete Böden entsprechend der Vorgaben in der Mantelverordnung zuzulassen. Nur so kann sich ein Markt entwickeln, der die Kreislaufwirtschaft fördert.

(Bau)praktische Anschlussfähigkeit über den Abschlussbericht hinausgehender Output

Durch das Aufzeigen eines urbanen Bodenmanagements anhand einer zentralen, innerstädtischen Bodenaufbereitungsanlage sollen die Verbesserungspotentiale im Umgang mit der Ressource Boden verdeutlicht werden. Die Ergebnisse aus den begleiteten Pilotprojekten belegen die Tatsache, dass ein nachhaltiger Umgang mit Bodenmaterial im Sinne der Kreislaufwirtschaft ökologische wie auch ökonomische Vorteile mit sich bringt.

Neben dem erhofften Effekt, dass ein bewusster Umgang mit der nicht endlosen Ressource Boden hervorgeht – z. B. geminderte Hemmnisse zur Bodenwiederverwendung, -aufbereitung und Änderung der Ausschreibungspraxis - ergibt sich folgender über den Bericht hinausgehender Output, welcher Planer und Ausführenden einen sicheren Umgang im Bodenmanagement ermöglicht:

- Planungstool zum Kostenvergleich von zentraler Bodenwiederaufbereitung in Verbindung mit Wieder-Inverkehrbringen des Aushubmaterials gegenüber einer konventionellen Entsorgung für Fachplaner
- Veröffentlichungen von Praxishinweisen zur Umsetzung der MantelV
- Vereinfachte Handlungsanweisung, auch für „Nicht-Planer“ zum Thema Bodenmanagement „Arbeitsschritte zum sicheren Umgang mit Boden“

Neben den aufgeführten Möglichkeiten wäre im Anschluss an das Forschungsvorhaben ein Monitoring für Großbaustellen oder außerhalb des urbanen Raums denkbar.

Die im Wesentlichen auf Initiative der im Stadtgebiet Osnabrück tätigen Unternehmern und deren Optimierungsgedanke entstandene Bodenaufbereitungsanlage ist ein gutes Beispiel von urbanem Bodenmanagement und soll als Vorbild für Unternehmen, Kommunen und Landkreise dienen. Es werden keine Hinderungsgründe gesehen, die einer Übertragung auf das gesamte Bundesgebiet entgegenstehen.

Öffentlichkeit und Lehre

Angaben zu Veröffentlichungen

Ergänzend zum Forschungsprojekt wurden einige Fachvorträge sowie Fachartikel veröffentlicht. Hierzu gehören:

- Vortrag beim „Runden Tisch GaLaBau“ (November 2021) mit dem Titel „Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen“ an der Hochschule Osnabrück
- Vortrag bei der Erfa-Gruppe GaLa Nordwest (November 2021) mit dem Titel „Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen“, Osnabrück
- Vortrag auf den 19. Projekttagen der Bauforschung (März 2022) mit dem Titel „Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen“, online
- Vortrag auf der GaLaBau Messe 2022 (Oktober 2022) mit dem Titel „Intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen“, Nürnberg
- Vortrag auf den 21. Projekttagen der Bauforschung (September 2022) mit dem Titel „Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen“, online
- Vortrag Bauleitersminar Greenbox LA (Oktober 2022) mit dem Titel „Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen“, Köln

Ergänzend wurde ein Fachartikel zur Einführung der Mantelverordnung im August 2023 veröffentlicht. Dieser erschien in den Fachzeitschriften:

- „Einführung der Mantelverordnung in 2023“ (Floß, Thieme-Hack) in Neue Landschaft Ausgabe 07/2022, Patzer Verlag
- „Die Mantelverordnung - was erwartet die Unternehmen?“ (Floß, Thieme-Hack) in Straßen und Tiefbau Ausgabe 04/2022, Offizielles Organ des Straßen- und Tiefbaugewerbes
- „Einführung der Mantelverordnung in 2023 - Teil 1“ (Floß, Thieme-Hack) in THIS Bauunternehmer, Planer, Entscheider Ausgabe 10/2022, Bauverlag
- „Einführung der Mantelverordnung in 2023 - Teil 2“ (Floß, Thieme-Hack) in THIS Bauunternehmer, Planer, Entscheider Ausgabe 11-12/2022, Bauverlag

Weitere Veröffentlichungen in Fachzeitschriften des Baugewerbes und des Landschaftsbaus sind nach Abschluss des Projektes geplant.

Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit entstand eine Homepage auf den Seiten der Hochschule Osnabrück, diese ist aufrufbar unter „<https://www.hs-osnabrueck.de/rebok/>“. Auf dieser ist ein Video zum Forschungsprojekt abrufbar, welches im Rahmen der 19. Projektetage der Bauforschung vom BBSR und Zukunft Bau entstanden ist.

Für Fachplaner entsteht ein Planungstool zum Kostenvergleich von zentraler Bodenaufbereitung in Verbindung mit Wieder-Inverkehrbringen des Aushubmaterials gegenüber konventioneller Entsorgung. Zusätzlich wird eine vereinfachte Handlungsanweisung zum Thema Bodenmanagement „Arbeitsschritte zum sicheren Umgang mit Boden“ entwickelt. Beide Planungshilfen werden unter „<https://www.hs-osnabrueck.de/rebok/>“ aufrufbar sein.

Einbindung in die Lehre

Im Rahmen des Masterstudiengangs Landschaftsbau der Hochschule Osnabrück wurden im dritten Fachsemester Vorträge mit dem Titel „Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen“ vor Studierenden im Modul „Forschungskolloquium“ gehalten (Oktober 2021 und November 2022).

Anknüpfend zum Forschungsprojekt ist jeweils eine Bachelor- und eine Masterarbeit vergeben worden. In der Bachelorarbeit beschäftigt sich Frankenberg, J. (2021) mit dem Aufbau eines Stoffkreislaues für Recyclingbaustoffe im Straßenbau am Beispiel einer Annahmestelle in Niedersachsen.

Fetzer, B. (2022) beschäftigt sich in der Masterarbeit mit Empfehlungen zur Umsetzung der Mantelverordnung zur Förderung der Wiederverwendung von Böden urbaner Kleinbaustellen.

Fazit und Ausblick

Nachhaltiges und ressourcenschonendes Bauen wird immer bedeutender und ist in Zukunft ein relevantes Thema. Trotz vieler Hinweise und Leitfäden der einzelnen Bundesländer und Verbände wird geringfügig belasteter oder unbelasteter Bodenaushub oftmals einer konventionellen Entsorgung zugeführt. Im Straßen- und Tiefbau ist der primäre Grund hierfür die fehlende Lagerungskapazität auf der Baustelle, speziell im urbanen Raum. Die derzeitige Ausschreibungspraxis sieht eine Entsorgung des Aushubs sowie eine Verfüllung mittels Primärbaustoffen vor. Zudem bestehen Hemmnisse bei der Verwendung von RC-Baustoffen oder MEB seitens der Auftraggeber.

Lösungsmöglichkeit ist eine zentrale Bodenwiederaufbereitungsanlage, besonders im urbanen Raum, zur Implementierung eines Stoffkreislaufes, indem Aushubmaterial aufbereitet, wie auch klassiert wird und anschließend wieder einer Verfüllung eines technischen Bauwerks zugeführt werden kann.

Im Verlauf der Projektbearbeitung stellte sich heraus, dass es bereits in der frühen Planungsphase von Bedeutung ist, sich mit dem anfallenden Bodenaushub auseinander zu setzen. Im Idealfall verbleibt das Bodenmaterial unmittelbar auf dem Grundstück und wird damit nicht zu Abfall. Überschüssige Mengen können durch Gebietsausweisung für andere Baumaßnahmen genutzt werden bzw. in einer Bodenwiederaufbereitungsanlage aufbereitet und wieder in Verkehr gebracht werden. Eine Deponierung muss im Rahmen eines Bodenmanagements die letzte Möglichkeit bleiben.

Die aus dem Forschungsprojekt resultierenden Ergebnisse sind sehr vielversprechend, die gesetzten Ziele wurden übertroffen. Dennoch besteht Verbesserungspotential, die entwickelten Handlungsempfehlungen sind nicht endgültig und können stetig ergänzt, verbessert und auf regionale Besonderheiten angepasst werden. Aus ökologischer Sicht kann ein wertvoller Beitrag zum Umwelt- und Ressourcenschutz geleistet werden. Eine oftmals widersinnige Deponierung von verwertbaren Aushubmaterialien unterbleibt. Stattdessen erfolgt die Schaffung eines Stoffkreislaufs im Sinne des KrWG. Auch aus ökonomischer Sicht bestehen, insbesondere unter dem Gesichtspunkt einer Sensibilisierung im Umgang mit MEB und einer Nutzung vor Ort, hohe Einsparmöglichkeiten. Die Transport- und Entsorgungskosten können deutlich reduziert werden. Zudem entfallen die Kosten für die Lieferung von Primärrohstoffen. Eine Grenze kann die Bereitschaft zur Bodenverwertung seitens der Auftraggeber darstellen. Nachhaltiger Umgang erfordert eine Anpassung der Ausschreibungspraxis. Die Förderung der hier aufgezeigten Möglichkeiten und Verfahrensweisen sollte einem ökologisch verantwortungsbewussten Auftraggeber bewusst sein.

Die ab dem 01. August 2023 rechtsgültige Mantelverordnung stellt die Branche vor neue Herausforderungen und Gegebenheiten. Durch die Einführung der MantelV kommt es zu einer Bundesvereinheitlichung der Gesetzgebung; die Komplexität der neuen Regelungen müssen von der Vollzugspraxis erst verinnerlicht werden. Wichtig dabei ist ein Austausch der beteiligten Akteure, nur so können die neuen Regelungen umgesetzt und die Ziele in Sinne des Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutzes erreicht werden. Dem derzeitigen Hemmnis zur Verwendung von MEB muss entgegengewirkt werden; insbesondere die öffentliche Hand sollte hierfür eine Vorbildfunktion einnehmen, produktneutrale Ausschreibungen vollziehen und mineralische Sekundärbaustoffe verstärkt nachfragen.

Auf Grund eines Urteils vom 17.11.2022 (Aktenzeichen C-238/21) des Europäische Gerichtshofs (EuGH) kann eine möglicherweise richtungsweisende Änderung zum Umgang mit Bodenmaterial eintreten. Demnach kann Material, welches nicht auf der Baustelle wiederverwendet wird und diese verlässt als „Nicht-Abfall“ eingestuft werden; was ebenfalls für MEB übertragen werden kann.

Wenn nachstehende Bedingungen erfüllt werden, ist der Bodenaushub im rechtlichen Sinn kein Abfall:

- vor Aushub erfolgt eine Bestimmung der Qualität des Bodenmaterials und damit verbunden eine umweltgerechte und rechtmäßige Verwendung

-
- ausgehobenes Bodenmaterial kann als „Nebenprodukt“ im Sinn des § 4 Abs. 1 KrWG und somit als Nicht-Abfall qualifiziert werden
 - eine Zwischenlagerung des Aushubs für eine Wiederverwendung ist für die Nebenprodukt-Qualifizierung unschädlich

Falls dieses Urteil zum Präzedenzfall wird, fällt Boden nicht mehr per Definition unter Abfall, sobald dieser die Baustelle verlässt. Dies wird der Ressource Boden gerecht und entspricht den Anforderungen des KrWG.

Danksagung

Einen herzlichen Dank für die Mitarbeit im wissenschaftlichen Beirat, an die Kooperationspartner und die vielen Anregungen und Impulse auf den Beiratssitzungen.

- Bundesqualitätsgemeinschaft Flüssigböden (BQF)
- Clausing GmbH Tiefbauunternehmen
- Deutscher Abbruchverband e.V
- Dieckmann Bauen + Umwelt GmbH & Co.KG
- Ettengruber Recycling und Verwertung
- Fachverbandes Mineralik - Recycling und Verwertung
- Frauenrath Recycling
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.
- Institut für Angewandte Bauforschung Weimar
- Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg e. V.
- Kasselwasser – Stadt Kassel
- Planungsbüro Hahm GmbH
- Stadt Osnabrück
- Stadtwerke Osnabrück
- Zentralverband Deutsches Baugewerbe
- Zentrum für Angewandte Geowissenschaften der Universität Tübingen

Mitwirkende

Autoren

Thieme-Hack, Martin (Hochschule Osnabrück)

Floß, Andre (Hochschule Osnabrück)

Weitere Mitwirkende

Engel, Max (Hochschule Osnabrück)

Fetzer, Benedikt (Hochschule Osnabrück)

Lipke, Florian (DIECKMANN Bauen + Umwelt GmbH & Co. KG)

Projektpartner und weitere Fördermittelgeber

CLAUSING GmbH Tiefbauunternehmen
Emsweg 1, 49090 Osnabrück



DIECKMANN Bauen + Umwelt GmbH & Co. KG
Hannoversche Straße 80, 49084 Osnabrück



Kurzbiographien



Prof. Martin Thieme-Hack

Professor für „Baubetrieb im Landschaftsbau“ an der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur der Hochschule Osnabrück. Seine Forschungsschwerpunkte betreffen die Themen des Landschaftsbaus, der Sportfreianlagen und der Grünflächen. Prof. Thieme-Hack ist Obmann und Mitglied in diversen Gremien unter anderem beim Deutschen Institut für Normung (DIN), dem Deutschen Vergabe- und Vertragsausschuss für Bauleistungen (DVA) und der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung, Landschaftsbau (FLL).



M. Eng. Andre Floß

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur der Hochschule Osnabrück. Seine Arbeitsschwerpunkte umfassen die Bereiche Intelligentes Bodenmanagement und Sicherheit von Sportfreianlagen.

Literaturverzeichnis

- Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH (BKI 2023): Der Baupreisindex 2022 für den Neubau von Wohngebäuden insgesamt. <https://bki.de/baupreisindex.html> (aufgerufen am 05.01.2023)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) 2022: Umgang mit Bodenmaterial, 116 S. - LfU Abteilung 3 „Kreislaufwirtschaft“ Juli 2022
- Bundes - Bodenschutz - und Altlastenverordnung (BBodSchV) (2021) - Bundesgesetzblatt 2021 Teil I Nr. 43, Bonn
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) [Hrsg.] (2022): Die neue Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
- Bundesqualitätsgemeinschaft Flüssigböden (BQF) [Hrsg.] (2021) – Anwendung von Flüssigböden - <https://www.bqf-fluessigboden.de/anwendung-fb.html>
- Bundesverband Baustoffe - Steine und Erden e.V. (Bbse) [Hrsg.] (2021): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018 Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018
- Bundesverband Mineralische Rohstoffe e.V. (Miro) [Hrsg.] (2021): Recycling- oder Primärbaustoffe? Beides wird in Kombination gebraucht - Pressemitteilung vom 7. Mai 2021
- Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) [Hrsg.] (2021): DIN 19731 - Bodenbeschaffenheit - Verwertung von Bodenmaterial und Baggergut. Berlin: Beuth Verlag GmbH
- Eberhard Bau AG (2021): Bodenwaschanlage - <https://eberhard.ch/altlastsanierung/-bodenwaschanlage> (aufgerufen am 03.07.2022)
- Feeß, Walter (2020): Entwicklung eines Verfahrens zur vollständigen Aufbereitung und hochwertigen Verwertung von Boden- und Bauschuttmaterial für ressourcenschonende Baustoffe. In: Abschlussbericht AZ 32046/01 Deutschen Bundesstiftung Umwelt
- Fetzer, Benedikt (2022): Empfehlungen zur Umsetzung der Mantelverordnung zur Förderung der Wiederverwendung der Böden urbaner Kleinbaustellen. Hochschule Osnabrück – unveröffentlicht
- Hemker, Olaf und Kutza, Heiner [Hemker et al.] (2013): Bodenverbesserung und -verfestigung. In: Lay, B.-H., Nielsel, A., Thieme-Hack, M. [Hrsg.] (2013): Lehr – Taschenbuch für den Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau. 7. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 1092 S.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie [Hrsg.] (2021): Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden – § 12 BBodSchV. In: Umwelt und Geologie Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft
- Hubert Schmid Recycling und Umweltschutz GmbH [Schmid] (2021): Waschanlage und Trockenmechanische Behandlungsanlage - <https://www.hubert-schmid.de/mineralik/mineralik/2018/10/waschanlage-und-trockenmechanische-behandlungsanlage>
- Imhäuser, Daniel (2021): Wie wir der Mantelverordnung den Boden bereiten - Eine unternehmerische Perspektive. In: Thiel S., Thomé-Kozmiensky E. [Hrsg.] (2021): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 8 – Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen – Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 303 S.
- INTEGRA Windsichter GmbH [Intrega] [Hrsg.] (2022): Windsichter Anwendungen - https://integrawindsichter.com/produkte_windsichter.php (aufgerufen am 23.05.2022)
- Kranke, Andre; SCHMIED, Martin; SCHÖN, Andrea D. (Kranke et al.) (2011): CO2-Berechnung in der Logistik: Datenquellen, Formeln, Standards. 1. Aufl., Stand August 2011. München: Vogel.
- LAGA M 20 (2003) Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln -

Lipke, Florian, Staub, C., Brune R. (Lipke et al.) 2021 – Preise für Entsorgung und Schüttgüter KG, mündliche Mitteilung vom 05.11.2021. Osnabrück

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (NMU) 2018: Hinweise zur Untersuchung und zur Zwischenlagerung von Kleinmengen mineralischer Abfälle, die beim Leitungsbau anfallen

Remex GmbH (2020): Änderung der Abfallverzeichnis-Verordnung und der Deponieverordnung <https://remex-solutions.de/presse/pressearchiv/aenderung-der-deponieverordnung-und-der-abfallverzeichnis-verordnung>

Remex GmbH (2022): Ersatzbaustoffverordnung am Ziel: Verbindliches Inkrafttreten 2023, <https://www.remex.de/geschaeftsbereiche/ersatzbaustoffe/ersatzbaustoffverordnung/>

Schmidt, M-A, Stadtwerke Osnabrück (Stadtwerke) 2022: mündliche Mitteilung auf der 3. Projektbeiratssitzung ReBoK vom 05.09.2022. Osnabrück.

Stracke, Gernot (2022): Ersatzbaustoffverordnung, EBV-Portal, <https://ersatzbaustoffverordnung.de/>

Susset, Bernd (2021): Welche Änderungen bringt die Umsetzung der MantelV für die Branche in Baden-Württemberg? – ein Überblick. 24. Baustoff-Recycling-Tag

Uphoff, Berthold (2022): mündliche Mitteilung vom 11.10.2022. Osnabrück

Umweltdienste Kedenburg GmbH (2021): Behandeln - <https://www.umweltdienste-kedenburg.de>

Verband Beratender Ingenieure VBI (2014): Geotechnik - VBI-Leitfaden für Bauherren, Architekten und Fachplaner. Berlin, VBI-Fachgruppe Geotechnik

Verordnung der Bundesregierung vom 03.05.2021 (Bundesregierung) [Hrsg.] (2021a): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung.

Verordnung der Bundesregierung vom 19.02.2021 (Bundesregierung) [Hrsg.] (2021): Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung

Weiß, Michael (2021): Wie bereiten wir uns auf die Mantelverordnung vor? - Aus Sicht der Abbruch-Branche. In: Thiel S., Thomé-Kozmiensky E. [Hrsg.] (2021): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 8 – Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen – Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 303 S.

Zorn, Lys Birgit (2022): Die Ersatzbaustoffverordnung aus Sicht der Entsorgungsbranche. Niedersächsisches Fachforum zur Ersatzbaustoffverordnung.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1 - Lagerbox für unbeprobtes Bodenmaterial | 18 |
| Abbildung 2 -Beispielhafte Gegenüberstellung konventionelle Entsorgung und Wiedereinbau, hier für 200 m ³ Bodenaushub; markierte Felder sind individuelle Parameter | 28 |
| Abbildung 3 - Einsparungspotentiale Bodenwiederverwendung | 30 |
| Abbildung 4 - vereinfachte Darstellung einer Bodenwiederverwendung | 33 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1 – Verwertung von Bodenmaterial | 12 |
| Tabelle 2 – Einbautabelle BM-F1 gemäß EBV | 14 |
| Tabelle 3 – Einbau von MEB in Wasserschutz- (WSG) und Heilquellenschutzgebieten (HSG) nach EBV | 15 |
| Tabelle 4 - begleitete Pilotprojekte urbanes Bodenmanagement im Großraum Osnabrück | 26 |
| Tabelle 5 - Dieserverbrauch nach Fahrzeugtypen und Auslastung | 29 |
| Tabelle 6 – Möglichkeiten und Grenzen einer Bodenwiederaufbereitungsanlage | 35 |
| Tabelle 7 - Checkliste Bodenmanagement | 37 |
| Tabelle 8 - Handlungsempfehlungen Bodenmanagement | 39 |
| Tabelle 9 - Ergänzende Hinweise für Genehmigungsbehörden | 41 |

Anlagen

Anhang 1 - Fragebogen „Forderungen für eine Umsetzung der Mantelverordnung - was braucht die Praxis“

Fragebogen zum Thema „Forderungen für eine Umsetzung der Mantelverordnung – was braucht die Praxis?“ im Rahmen des Forschungsprojekts „Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen - ReBoK“

I. Demographische Daten

Name:

Institution:

Position:

II. Aktuelle Situation

Welche aktuellen Schwierigkeiten hinsichtlich der Verwertung von Bodenmaterial - insbesondere bei Kleinmengen im urbanen Bereich - treten bei Ihnen auf?

III. Mantelverordnung

Werden Ihrer Ansicht nach, die aktuellen Herausforderungen durch die im Juli 2021 verabschiedete MantelV gelöst?

Wie bewerten Sie die neun Klassifizierungen für Bodenmaterial der Klassen 0, 0*, F0*, F1, F2, F3 (ehemals Z 0/0*; Z 1.1/1.2; Z 2) mit Umsetzung der Ersatzbaustoffverordnung (EBV)?

Wie kann die Ausschreibung sowie Verwendung von aufbereitetem Bodenmaterial gefördert werden? Welche Hemmnisse müssen diesbezüglich beseitigt werden?

Sind Bodenumlagerungen bzw. regional ausgewiesene Umlagerungsflächen eine mögliche Lösung für eine Wiederverwendung von belastetem Bodenmaterial (bspw. bei geogenen Grundbelastungen)?

Wie praxistauglich sehen Sie die zweiwöchige Frist des Anzeigeverfahrens beim Auf- oder Einbringen von mehr als 500 m³ Bodenmaterial?

Was passiert, wenn diese während des Bauablaufes überschritten wird?

IV. Länderöffnungsklausel

Welche Ansätze wünschen Sie sich für die Länderöffnungsklausel hinsichtlich der Verwertung von Abfällen unterhalb/außerhalb der durchwurzelbaren Bodensicht?

Quelle: eigene Darstellung

Anhang 2 - Detaillierte Informationen zu Pilotprojekten im Großraum Osnabrück

| Pilotprojekt | Stammdaten | Berechnungsparameter |
|---|---|---|
| <p>Pilotprojekt 1 - Hochbau - behandelter Wiedereinbau</p> | <p>Neubau eines EFH schadstoffhaltige Auffüllungsböden, ordnungsgemäßen Entsorgung bzw. Verwertung, It. Bodengutachten > Z 2, Blei und TOC Werte → keine Verwertung gemäß LAGA M20, DK III → Verbleib auf Baustelle Verbleib unter versiegelten Bereichen, Abstand zu GOK von 0,35 m bei Freiflächen</p> | <p>Entsorgungskosten Baugrube inkl. Arbeitsraum 320 m³, 580 t Bodenmaterial: Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten, > Z 2, AVV: 170503*, 58,5 €/t Entsorgungsstelle: Gütersloher Werkstoffzentrum (privatwirtschaftlich), 55 km, Umlauf 2 h Transport: Sattelzug, 27 t Ladevolumen, ø 88,5 €/h Kraftstoffverbrauch Sattel: ø 31 l/100 km CO₂-Umrechnungsfaktor (kg/l Diesel): 2,65</p> |
| <p>Pilotprojekt 2 - Gebietsausweisung - „Gleiches zu Gleichem“</p> | <p>Gleiches zu Gleichem Erdarbeiten und Geländeauffüllung durch anthropogen veränderte Böden zur Errichtung von Lagergebäuden, Berücksichtigung der Maßgaben der Untern Bodenschutzbehörde, Auftragung schadstoffbelastete Böden ≤ Z 2 gem. LAGA M20, Bodengutachter: Materialherkunft + analytischer Nachweis pro 500 t Bodenmaterial</p> | <p>Entsorgungskosten Bodenauffüllung von ca. 2.700 m³, ca. 4.800 t Bodenmaterial: Boden und Steine, ≤ Z 2, nicht gefährlich, AVV: 170504, 25 €/t Entsorgungsstelle: Laresta Hafenumschlag (privatwirtschaftlich), 50 km, Umlauf 1,25 h Transport: Sattelzug, 27 t Ladevolumen, ø 88,5 €/h¹ Kraftstoffverbrauch: Sattel: ø 31 l/100 km, CO₂-Umrechnungsfaktor (kg/l Diesel): 2,65</p> |
| <p>Pilotprojekt 3 - Hochbau -</p> | <p>Neubau eines MFH</p> | <p>Entsorgungskosten</p> |

| Pilotprojekt | Stammdaten | Berechnungsparameter |
|---|---|---|
| behandelter Wiedereinbau | <p>schadstoffhaltige Auffüllungsböden, ordnungsgemäßen Entsorgung bzw. Verwertung,</p> <p>lt. Bodengutachten > Z 2, Blei und TOC Werte → keine Verwertung gemäß LAGA M20, DK III</p> <p>→ Verbleib auf Baustelle</p> <p>Verbleib unter versiegelten Bereichen, Abstand zu GOK von 0,35 m bei Freiflächen</p> | <p>Baugrube inkl. Arbeitsraum 613 m³, 1.100 t</p> <p>Bodenmaterial: Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten, > Z 2, AVV: 170503*, 58,5 €/t</p> <p>Entsorgungsstelle: Gütersloher Werkstoffzentrum (privatwirtschaftlich), 55 km, Umlauf 2 h</p> <p>Transport: Sattelzug, 27 t Ladevolumen, ø 88,5 €/h</p> <p>Kraftstoffverbrauch Sattel: ø 31 l/100 km</p> <p>CO₂-Umrechnungsfaktor (kg/l Diesel): 2,65</p> |
| Pilotprojekt 4 - Kanalanschluss - unbeprobtes Zwischenlager - Bodenwiederaufbereitungs- anlage | <p>Kanalanschluss eines MFH</p> <p>urbane Kleinbaustelle</p> <p>Kleinmengenaushub ohne Analyse zur Bodenbehandlungsanlage (unbeprobtes Zwischenlager) transportiert</p> <p>Verfüllung mit Material von Bodenwiederaufbereitungsanlage</p> <p>Kooperation Stadtwerke</p> | <p>Entsorgungskosten</p> <p>Gesamtmenge Boden ohne Analyse 55,7 t</p> <p>im Falle konventioneller Entsorgung: Bodenmaterial: Bodenaushub Z 0 – Z 1.1, ca. 12 €/t</p> <p>Entsorgungsstelle: Privatwirtschaftlich, ca. 10 km, Umlauf 0,6 h</p> <p>Transport: 3-Achser, 12 t. Ladevolumen, ø 75,5 €/h¹</p> <p>Kraftstoffverbrauch: 3-Achser: ø 26 l/100 km,</p> <p>CO₂-Umrechnungsfaktor (kg/l Diesel): 2,65</p> |
| Pilotprojekt 5 - Hausanschluss - unbeprobtes Zwischenlager - Bodenwiederaufbereitungs- anlage | <p>Hausanschluss eines EFH</p> <p>urbane Kleinbaustelle „klassischer Hausanschluss“</p> | <p>Entsorgungskosten</p> <p>Gesamtmenge Boden ohne Analyse 9,4 t</p> <p>im Falle konventioneller Entsorgung: Bodenmaterial: Bodenaushub Z 0 – Z 1.1, ca. 12 €/t</p> |

| Pilotprojekt | Stammdaten | Berechnungsparameter |
|--|---|---|
| | <p>Kleinmengenaushub ohne Analyse zur Bodenbehandlungsanlage (unbeprobtes Zwischenlager) transportiert</p> <p>Verfüllung mit Material von Bodenwiederaufbereitungsanlage</p> | <p>Entsorgungsstelle: Privatwirtschaftlich, ca. 10 km, Umlauf 0,6 h</p> <p>Transport: 3-Achser, 12 t. Ladevolumen, ø 75,5 €/h¹</p> <p>Kraftstoffverbrauch: 3-Achser: ø 26 l/100 km, CO₂-Umrechnungsfaktor (kg/l Diesel): 2,65</p> |
| <p>Pilotprojekt 6 - Versorgungsleitungen - Bodenwiederaufbereitungs- anlage</p> | <p>Linienbauwerk</p> <p>Sanierung des Versorgungsnetzes</p> <p>urbane Baustelle Fußgängerzone – Innenstadt Osnabrück</p> <p>Auffüllungen aus Sanden mit schwach schluffigen Beimengungen, die partiell mit humosen Einlagerungen durchzogen sind</p> <p>Verfüllung mit Material aus Bodenwiederaufbereitungsanlage</p> <p>Kooperation Stadtwerke und Projektpartner (Dieckmann & BMFO)</p> | <p>Entsorgungskosten</p> <p>Gesamtmenge Boden 530 m³, 953 t</p> <p>im Falle konventioneller Entsorgung: Bodenmaterial: Bodenaushub Z 0 – Z 1.1, ca. 12 €/t</p> <p>Entsorgungsstelle: Privatwirtschaftlich, ca. 10 km, Umlauf 1 h</p> <p>Transport: 3-Achser, 12 t Ladevolumen, ø 75,5 €/h¹</p> <p>Kraftstoffverbrauch: 3-Achser: ø 26 l/100 km, CO₂-Umrechnungsfaktor (kg/l Diesel): 2,65</p> |

Anhang 3 – Pilotprojekt 1, Vergleichsberechnung konventionelle Entsorgung vs. Behandelter Wiedereinbau

| Pilotprojekt 1 - Neubau EFH | | | | | | | | | |
|---|---------------|------------------|-------------------------|----------------------|--|---------------|------------------|-------------------------|----------------------|
| Variante 1 konventionelle Entsorgung | | | | | Variante 2 behandelter Wiedereinbau | | | | |
| 324 m ³ | Bodenaushub | | | | 324 m ³ | Bodenaushub | | | |
| 583 t | Faktor 1,8 | | | | 583 t | Faktor 1,8 | | | |
| 23 Fahrten | Sattel (26 t) | | | | 0 Fahrten | Sattel (26 t) | | | |
| 55 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | | 0 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | |
| Berechnung Transportkosten | | | | | Berechnung Aufbereitungskosten | | | | |
| 0,92 Fahrzeit (h) | | | | | 583 t | | | | |
| 38,8 Verbrauch (l/100km) Voll | | | | | Boden auf Mieten seitlich lagern, | | | | |
| 23 Verbrauch (l/100km) Leer | | | | | Boden lösen, lockern, kalken | | | | |
| 0,25 Kippzeit in h | | | | | Boden einbauen und verdichten | | | | |
| Abladen | | | | | Maschinen/Personal/Kalk | | | | |
| 4.254,20 € | | | | | 7,43 € | | | | |
| 34.117,20 € | | | | | 4.333,18 € | | | | |
| 38.371,40 € | | | | | 4.333,18 € | | | | |
| Co₂ - Bilanz | | | | | Co₂ - Bilanz | | | | |
| LKW | Transp. (km) | Ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | LKW | Betriebs (h) | Ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) |
| Sattel | 2.530,00 | 781,8 | 2,65 | 2.071,69 | Mobil Bagger | 12,0 | 144,0 | 2,65 | 381,60 |

Quelle: eigene Darstellung

Anhang 4 - Pilotprojekt 2, Vergleichsberechnung konventionelle Entsorgung vs. Gebietsausweisung

| Pilotprojekt 2 - Neubau Gewerbeinheit | | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------|-------------------------|----------------------|---|--------------|------------------|-------------------------|----------------------|
| Variante 1 konventionelle Entsorgung | | | | | Variante 2 Bodenauftrag ≤ z z | | | | |
| 305 m ³ | | Bodenaushub | | | 305 m ³ | | Bodenaushub | | |
| 550 t | | Faktor 1,8 | | | 550 t | | Faktor 1,8 | | |
| 22 Fahrten | | Sattel (26 t) | | | 33 Fahrten | | 4-Achser (17 t) | | |
| 36 Fahrzeit (min) | | | | | 16 Fahrzeit (min) | | | | |
| 50,3 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | | 11,5 Kilometer (einfach) | | | | |
| Berechnung Transportkosten | | | | | Berechnung Transportkosten | | | | |
| 0,6 Fahrzeit (h) | | | | | 0,3 Fahrzeit (h) | | | | |
| 38,8 Verbrauch (l/100km) Volllast | | Abladen | 486,75 € | | 30,3 Verbrauch (l/100km) Volllast | | Abladen | 622,88 € | |
| 23 Verbrauch (l/100km) Leerfahrt | | Voll | 1.168,20 € | | 21,5 Verbrauch (l/100km) Leerfahrt | | Voll | 664,40 € | |
| 0,25 Kippzeit in h | | Leer | 1.168,20 € | | 0,25 Kippzeit in h | | Leer | 664,40 € | |
| Entsorgungskosten | | | | | Entsorgungs-/Aufbereitungskosten | | | | |
| Sattel/h | 88,50 € | | 2.823,15 € | | 4-Achser/h | 75,50 € | | 1.951,68 € | |
| Aushub/t | 25,00 € | | 13.747,25 € | | Aushub/t | - € | | - € | |
| Summe | | | 16.570,40 € | | Summe | | | 1.951,68 € | |
| CO₂ - Bilanz | | | | | CO₂ - Bilanz | | | | |
| LKW | Transp. (km) | ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | LKW | Transp. (km) | ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) |
| Sattel | 2.213,20 | 683,9 | 2,65 | 1.812 | 4-Achser | 759 | 196,6 | 2,65 | 521 |

Quelle: eigene Darstellung

Anhang 5 – Pilotprojekt 3, Vergleichsberechnung konventionelle Entsorgung vs. Behandelter Wiedereinbau

| Pilotprojekt 3 - Neubau MFH | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|------------------|-------------------------|----------------------|---|--------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------|---|--------------|------------------|-------------------------|----------------------|--|--|
| Variante 1 konventionelle Entsorgung | | | | | Variante 2 behandelter Wiedereinbau + Transport BMFO | | | | | | | | | | | |
| 613 m ³ | | Bodenaushub | | | 409 m ³ | | Bodenaushub | | | 204 m ³ | | Bodenaushub | | | | |
| 1103 t | | Faktor 1,8 | | | 736 t | | Faktor 1,8 | | | 367 t | | Faktor 1,8 | | | | |
| 43 Fahrten | | Sattel (26 t) | | | 0 Fahrten | | Sattel (26 t) | | | 22 Fahrten | | 4-Achser (17 t) | | | | |
| 55 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | | 0 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | | 7,5 Kilometer zur BMFO (einfach) | | | | | | |
| Berechnung Transportkosten | | | | | Berechnung Aufbereitungskosten | | | | | Berechnung Transportkosten | | | | | | |
| 0,92 Fahrzeit (h) | | | | | 736 t | | Boden auf Mieten seitlich lagern, | | | 0,42 Fahrzeit (h) | | | | | | |
| 38,8 Verbrauch (l/100km) Volllast | | Leer | 3.501,06 € | | | | Boden lösen, lockern, kalken | | | 30,3 Verbrauch (l/100km) Volllast | | Leer | 697,62 € | | | |
| 23 Verbrauch (l/100km) Leerfahrt | | Voll 3.501,06 € | | | | | Boden einbauen und verdichten | | | 21,5 Verbrauch (l/100km) Leerfahrt | | Voll 697,62 € | | | | |
| 0,25 Kippzeit in h | | Abladen 951,38 € | | | | | Maschinen/Personal/Kalk | | | 0,25 Kippzeit in h | | Abladen 415,25 € | | | | |
| Entsorgungskosten | | | | | Entsorgungs-/Aufbereitungskosten | | | | | Entsorgungs-/Aufbereitungskosten | | | | | | |
| Sattel/h | | 88,50 € | 7.953,50 € | | Aufbereitung/t | | 7,43 € | 5.469,97 € | | 4-Achser/h | | 75,50 € | 1.810,49 € | | | |
| Aushub/t | | 58,50 € | 64.548,90 € | | | | | | | Aushub/t | | 25,00 € | 9.180,00 € | | | |
| Summe | | | | | Summe | | | | | Summe | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CO₂ - Bilanz | | | | | CO₂ - Bilanz | | | | | CO₂ - Bilanz | | | | | | |
| LKW | Transp. (km) | ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | LKW | Betriebs (h) | ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | LKW | Transp. (km) | ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | | |
| Sattel | 4.730,00 | 1461,6 | 2,65 | 3.873,16 | Mobil Bagger | 16,0 | 192,0 | 2,65 | 508,80 | 4-Achser | 330,00 | 85,5 | 2,65 | 226,50 | | |

Quelle: eigene Darstellung

Anhang 6 - Pilotprojekt 4, Vergleichsberechnung konventionelle Entsorgung vs. Bodenwiederaufbereitungsanlage

| Pilotprojekt 4 - Kanalanschluss | | | | | | | | | |
|---|------------------------|------------------|-------------------------|----------------------|--|------------------------|------------------|-------------------------|----------------------|
| Variante 1 konventionelle Entsorgung | | | | | Variante 2 Bodenwiederaufbereitungsanlage | | | | |
| 30,9 m ³ | Bodenaushub | | | | 30,9 m ³ | Bodenaushub | | | |
| 55,7 t | Faktor 1,8 | | | | 55,7 t | Faktor 1,8 | | | |
| 5 Fahrten | Abrollcontainer (12 t) | | | | 5 Fahrten | Abrollcontainer (12 t) | | | |
| 11 Fahrzeit (min) | | | | | 9 Fahrzeit (min) | | | | |
| 5 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | | 4 Kilometer (einfach) | | | | |
| Berechnung Transportkosten | | | | | Berechnung Transportkosten | | | | |
| 0,18 Fahrzeit (h) | | | | | 0,2 Fahrzeit (h) | | | | |
| 26 Verbrauch (l/100km) Voll | Abladen | | 94,38 € | | 26 Verbrauch (l/100km) Voll | Laden | | 125,83 € | |
| | Laden | | 94,38 € | | | Hin | | 56,63 € | |
| 0,25 Kippzeit in h | Hin | | 69,21 € | | 0,33 Kipp-, Ladezeit in h | Rück | | 56,63 € | |
| 0,25 Ladezeit in h | Rück | | 69,21 € | | | | | | |
| Entsorgungskosten | | | | | Entsorgungs-/Aufbereitungskosten | | | | |
| 3-Achser/h | 75,50 € | | 327,17 € | | 3-Achser/h | 75,50 € | | 239,08 € | |
| Aushub/t | 21,00 € | | 1.169,70 € | | Aushub/t | 12,00 € | | 668,40 € | |
| Füllmaterial/t | 15,00 € | | 835,50 € | | Füllmaterial/ | 4,50 € | | 250,65 € | |
| Summe | | | 2.332,37 € | | Summe | | | 1.158,13 € | |
| CO₂ - Bilanz | | | | | CO₂ - Bilanz | | | | |
| LKW | Transp. (km) | ∅ Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | LKW | Transp. (km) | ∅ Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) |
| 4-Achser | 50,00 | 13,0 | 2,65 | 34 | 4-Achser | 40 | 10,4 | 2,65 | 28 |

Quelle: eigene Darstellung

Anhang 7 - Pilotprojekt 5, Vergleichsberechnung konventionelle Entsorgung vs. Bodenwiederaufbereitungsanlage

| Pilotprojekt 5 - Hausanschluss | | | | | | | | | |
|---|--------------|------------------------|-------------------------|----------------------|--|--------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Variante 1 konventionelle Entsorgung | | | | | Variante 2 Bodenwiederaufbereitungsanlage | | | | |
| 5,2 m ³ | | Bodenaushub | | | 5,2 m ³ | | Bodenaushub | | |
| 9,4 t | | Faktor 1,8 | | | 9,4 t | | Faktor 1,8 | | |
| 1 Fahrten | | Abrollcontainer (12 t) | | | 1 Fahrten | | Abrollcontainer (12 t) | | |
| 12 Fahrzeit (min) | | | | | 10 Fahrzeit (min) | | | | |
| 4,7 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | | 3,5 Kilometer (einfach) | | | | |
| Berechnung Transportkosten | | | | | Berechnung Transportkosten | | | | |
| 0,2 Fahrzeit (h) | | | | | 0,17 Fahrzeit (h) | | | | |
| 26 Verbrauch (l/100km) Voll | | Abladen | 18,88 € | | 26 Verbrauch (l/100km) Voll | Laden | 25,17 € | | |
| | | Laden | 18,88 € | | | Hin | 12,58 € | | |
| 0,25 Kippzeit in h | | Hin | 15,10 € | | 0,33 Kipp-, Ladezeit in h | Rück | 12,58 € | | |
| 0,25 Ladezeit in h | | Rück | 15,10 € | | | | | | |
| Entsorgungskosten | | | | | Entsorgungs-/Aufbereitungskosten | | | | |
| 3-Achser/h | 75,50 € | | 67,95 € | | 3-Achser/h | 75,50 € | | 50,33 € | |
| Aushub/t | 21,00 € | | 197,40 € | | Aushub/t | 12,00 € | | 112,80 € | |
| Füllmaterial/t | 15,00 € | | 141,00 € | | Füllmaterial/t | 4,50 € | | 42,30 € | |
| Summe | | | 406,35 € | | Summe | | | 205,43 € | |
| CO₂ - Bilanz | | | | | CO₂ - Bilanz | | | | |
| LKW | Transp. (km) | Ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | LKW | Transp. (km) | Ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) |
| 4-Achser | 9,40 | 2,4 | 2,65 | 6 | 4-Achser | 7 | 1,8 | 2,65 | 5 |

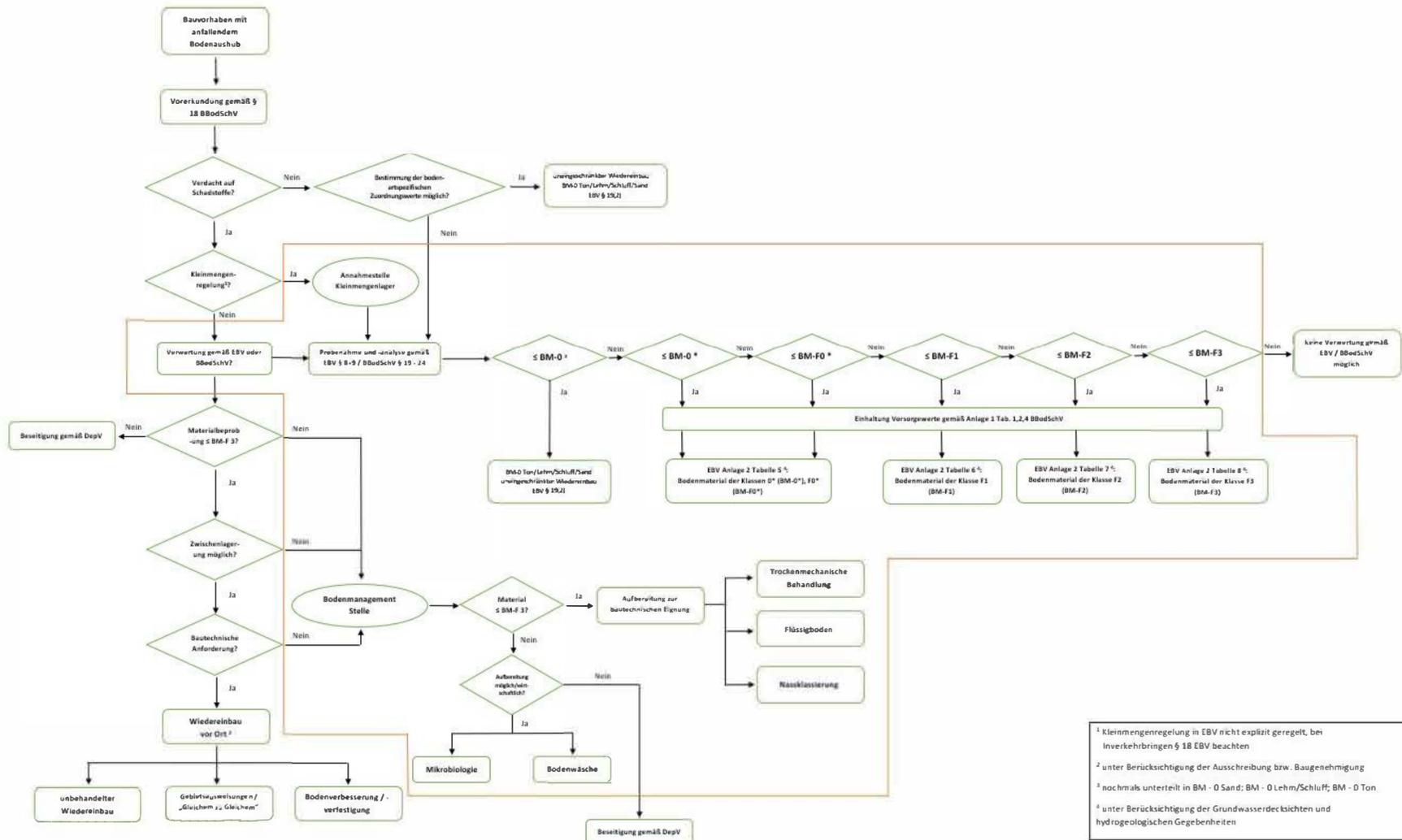
Quelle: eigene Darstellung

Anhang 8 - Pilotprojekt 6, Vergleichsberechnung konventionelle Entsorgung vs. Bodenwiederaufbereitungsanlage

| Pilotprojekt 6 - Linienbauwerk | | | | | | | | | |
|---|--------------|------------------------|-------------------------|----------------------|--|--------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| Variante 1 konventionelle Entsorgung | | | | | Variante 2 Bodenwiederaufbereitungsanlage | | | | |
| 529,4 m ³ | | Bodenaushub | | | 529,4 m ³ | | Bodenaushub | | |
| 953,0 t | | Faktor 1,8 | | | 953,0 t | | Faktor 1,8 | | |
| 80 Fahrten | | Abrollcontainer (12 t) | | | 80 Fahrten | | Abrollcontainer (12 t) | | |
| 20 Fahrzeit (min) | | | | | 18 Fahrzeit (min) | | | | |
| 7 Kilometer zur Deponie (einfach) | | | | | 6,5 Kilometer (einfach) | | | | |
| Berechnung Transportkosten | | | | | Berechnung Transportkosten | | | | |
| 0,33 Fahrzeit (h) | | | | | 0,3 Fahrzeit (h) | | | | |
| 26 Verbrauch (l/100km) Voll | | Abladen | 1.510,00 € | | 26 Verbrauch (l/100km) Voll | Laden | 2.013,33 € | | |
| | | Laden | 1.510,00 € | | | Hin | 1.812,00 € | | |
| 0,25 Kippzeit in h | | Hin | 2.013,33 € | | 0,33 Kipp-, Ladezeit in h | Rück | 1.812,00 € | | |
| 0,25 Ladezeit in h | | Rück | 2.013,33 € | | | | | | |
| Entsorgungskosten | | | | | Entsorgungs-/Aufbereitungskosten | | | | |
| 3-Achser/h | 75,50 € | | 7.046,67 € | | 3-Achser/h | 75,50 € | | 5.637,33 € | |
| Aushub/t | 21,00 € | | 20.013,00 € | | Aushub/t | 12,00 € | | 11.436,00 € | |
| Füllmaterial/t | 15,00 € | | 14.295,00 € | | Füllmaterial/ | 4,50 € | | 4.288,50 € | |
| Summe | | | 41.354,67 € | | Summe | | | 21.361,83 € | |
| CO₂ - Bilanz | | | | | CO₂ - Bilanz | | | | |
| LKW | Transp. (km) | Ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) | LKW | Transp. (km) | Ø Dieselvbr. (l) | CO ₂ -Faktor | CO ₂ (kg) |
| 4-Achser | 1.120,00 | 291,2 | 2,65 | 772 | 4-Achser | 1040 | 270,4 | 2,65 | 717 |

Quelle: eigene Darstellung

Anhang 9: Prozessdiagramm „intelligentes Bodenmanagement“



Quelle: eigene Darstellung