



Kurzbericht zum FuE-Verbundprojekt

## **Recycling von subhydrischen Sedimenten**

### **Teilprojekt 3: Konzeption zur Verwertung belasteter subhydrischer Sedimente mit Evaluierung einer anwendungsorientierten Technologieentwicklung**

**Förderkennzeichen 03WIR1916C**

**Projektzeitraum 01.05.2023 – 31.12.2025**

Stefan Schönekerl, Andrea Malek und Christel Pfefferkorn

PICON GmbH, Glashütter Str. 101, D-01277 Dresden

Ein stetiger Sedimenteintrag in Stauanlagen verringert die verfügbaren Bewirtschaftungs- und Retentionsräume und macht regelmäßige Beräumungen erforderlich. Die nutzbringende Verwertung des anfallenden Baggerguts ist oftmals schwierig, insbesondere bei Belastungen durch toxische Metall(oid)e aus bergbaulichen oder geogenen Einträgen. In solchen Fällen wird häufig der kostenintensive Weg der Beseitigung gewählt. Gleichwohl bergen subhydrische Sedimente grundsätzlich das Potenzial, als Sekundärrohstoff genutzt zu werden. Ihre wirtschaftliche Nutzung erfordert im Rahmen einer Verwertungsstrategie die Bewältigung vielfältiger technischer, rechtlicher und ökonomischer Herausforderungen.

Vor diesem Hintergrund wurden im FuE-Verbundvorhaben „ResuS“ Möglichkeiten zur Erschließung dieses bislang weitgehend unbeachteten Rohstoffpotenzials erarbeitet. Dazu gehörten die Erprobung praxistauglicher Aufbereitungsverfahren sowie die Evaluierung definierter Verwertungswege (u. a. als mineralischer Ersatzbaustoff, für bodenbezogene Anwendungen und Baustoffe) unter integrierter technischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Betrachtung. Hierauf aufbauend erarbeitete die PICON GmbH im Teilprojekt 3 Kriterien von Verwertungsoptionen und deren Klassifikation, Anforderungen an die Probenahme und Analytik sowie die Bewertung von Verwertungswegen auf Basis von Untersuchungen an fünf sächsischen Staugewässern. Ergänzend wurden Muster-Lasten- und Pflichtenhefte, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und rechtliche Rahmenbedingungen entwickelt und die Ergebnisse in einem praxisorientierten Leitfaden zusammengeführt.

In der ersten Projektphase wurden mögliche Verwertungswege auf Basis von Forschungs-, Praxis- und Patentanwendungen recherchiert, evaluiert, kategorisiert und die grundlegenden rechtlichen Rahmenbedingungen eingeordnet. Darauf aufbauend entstand eine Bewertungs- und Entscheidungsstruktur mit sechs Hauptkategorien: (i) stoffliche/materialbezogene Kriterien, (ii) Belastungs- und Risikokriterien, (iii) technisch-funktionale Kriterien, (iv) Behandlungskriterien, (v) rechtliche und regulatorische Kriterien sowie (vi) wirtschaftliche und logistische Kriterien. Die Festlegung einer tragfähigen und rechtlich zulässigen Verwertungsart erfolgt unter integrierter Abwägung dieser Aspekte. Entsprechend wurden die Hauptkriterien der Verwertungswege in einer geclusterten Übersicht zusammengeführt.

Für fundierte Verwertungsentscheidungen sind vor einer Sedimentberäumung eine repräsentative Probenahme sowie eine präzise Analytik erforderlich. Hierzu wurden die Anforderungen zur Normkonformität der Probenentnahme, zum Umfang der Probenentnahme, zur Abbildung räumlicher und tiefenorientierter Heterogenität sowie möglicher zeitlicher Dynamik erarbeitet und um Vorgaben zur qualitätsgesicherten Probenhandhabung und Dokumentation ergänzt. Anschließend erfolgte die Bewertung maßgeblicher normativer und rechtlicher Regelwerke für eine schadstoffbezogene, stoffliche, chemisch-physikalische, prozesstechnische sowie biologisch-ökologische Analytik als Zielparameter zur Evaluierung verschiedener Verwertungswege. Mit der Identifizierung verwertungsspezifischer Kenngrößen wurde der erste Meilenstein des Teilprojekts erreicht.

Die Analyse der Sedimentbeschaffenheit in fünf sächsischen Stauhaltungen diente als praxisnahes Anwendungsbeispiel. Dabei wurden insbesondere die Schadstoffkriterien der

Gefördert durch:

Ersatzbaustoffverordnung, der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung sowie der Deponieverordnung herangezogen, ergänzt um weitere stoffliche und chemisch-physikalische Parameter. Auf Basis der Ergebnisse wurde bei allen untersuchten Sedimenten zumindest eine Teilverwertung als mineralischer Ersatzbaustoff oder als Zuschlagstoff für Bauprodukte (z. B. Beton oder Hintermauerziegel) als realisierbar eingeschätzt. Voraussetzung hierfür sind geeignete Aufbereitungsschritte, die mindestens eine Klassierung der Korngrößen sowie eine Dekontaminierung der Sedimente umfassen. Bei einer der untersuchten Stauhaltungen war zudem die bodenbezogene Verwertung eine mögliche Option. Nicht verwertbare Fraktionen erfüllten bei allen Stauhaltungen die formalen Voraussetzungen für die Deponieklassen I oder II.

Aufbauend auf diesen Bewertungsergebnissen wurden für die Verwertungswege mineralischer Ersatzbaustoff, Bodenverbesserer und Zuschlagstoff für Hintermauerziegel Muster-Lastenhefte entwickelt, die die Anforderungen des Abfallerzeugers an die Verwertung des Baggerguts verbindlich festlegen. Sie definieren Zielanwendungen, technische und rechtlich-normative Anforderungen, Behandlungsverfahren, Qualitätssicherung, Umwelt- und Sicherheitsauflagen, Logistik, Verantwortlichkeiten, Wirtschaftlichkeitsaspekte, Zeitpläne und Abnahmekriterien. Ergänzend wurden spiegelbildliche Muster-Pflichtenhefte erarbeitet, die Maßnahmen zur Behandlung des Baggerguts und Herstellung der Zielprodukte festlegen. Als Projektleitfaden strukturieren sie Genehmigungsfähigkeit, Umsetzung, Qualitätssicherung und Abnahme. Geregelt Inhalte sind unter anderem Materialannahme, Anlagenbetrieb, rechtlicher Rahmen, Behandlungskonzepte, Verantwortlichkeiten, Zeitplanung sowie Wirtschaftlichkeitsaspekte der Verwertung. Insgesamt konnte im Ergebnis dieser Ausarbeitungen gezeigt werden, dass die Kriterien zur Verwertung subhydrischer Sedimente grundsätzlich erfüllbar sind. Damit wurde der zweite Meilenstein des Teilprojekts erreicht.

Ergänzend zu den technischen und stofflichen Bewertungen wurden die Kostenfaktoren des Sedimentmanagements unter Berücksichtigung der beteiligten Akteure über alle Projektphasen hinweg analysiert – von der Erkundung und Beprobung bis zur Produktentwicklung und Inverkehrbringung. Die Wirtschaftlichkeit und Risiken hängen wesentlich von Sedimentmenge und Kontaminationsgrad, Standort, Technik, Logistik und Marktakzeptanz ab. Ein systematisches Kosten-, Risiko- und Haftungsmanagement ist die Voraussetzung für belastbare Entscheidungen. Baggergut stellt grundsätzlich eine bedeutende Sekundärrohstoffquelle dar, deren Relevanz künftig angesichts sinkender Deponiekapazitäten und begrenzter Primärrohstoffgewinnung weiter zunimmt.

In der Praxis orientieren sich die Kosten einer Verwertung häufig an der Entsorgung als wirtschaftlichem Benchmark. Während mechanische Aufbereitungsverfahren dabei vielfach wirtschaftliche Vorteile bieten, sind komplexe Schadstoffbehandlungen in der Regel mit deutlich höheren Kosten verbunden. Auf Basis einer integrierten Kostenbetrachtung einzelner Aufbereitungsschritte konnte gezeigt werden, dass eine standortnahe, qualitätsgesicherte Verwertung häufig kostengünstiger als die Deponierung ist. Damit wurde im Rahmen des dritten Meilensteins die grundsätzliche Wirtschaftlichkeit der untersuchten Verwertungsoptionen nachgewiesen.

Auf diesen ökonomischen Betrachtungen aufbauend wurde der komplexe Rechtsrahmen der gesamten Prozesskette aus den Bereichen Wasser-, Abfall-, Immissionsschutz-, Natur- und Produktrecht erörtert. Dessen rechtskonforme Umsetzung in jeder Verfahrensstufe bildet die unabdingbare Voraussetzung sowohl für die Verwertung des Baggerguts als auch für den Markteintritt daraus hergestellter Produkte.

Die Struktur des Sedimentmanagements – von der Planung der Sedimentberäumung bis zur Vermarktung eines daraus entstehenden Produkts – wurde abschließend in Form eines kompakten Leitfadens zusammengefasst. Zentrale Elemente sind hierbei die rechtssichere Aufgaben- und Verantwortungszuordnung, die technisch, ökologisch und wirtschaftlich tragfähige Ausgestaltung der Prozesskette, das rechtssichere Ende der Abfalleigenschaft sowie der Nachweis der Marktgängigkeit, Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit und die Einhaltung produktspezifischer Normen und Konformitätsanforderungen.

Gefördert durch:



Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt

## **Recycling von subhydrischen Sedimenten – ResuS**

### **Teilprojekt 3: Konzeption zur Verwertung belasteter subhydrischer Sedimente mit Evaluierung einer anwendungsorientierten Technologieentwicklung**

Bündnis rECOMine

Förderkennzeichen: 03WIR1916C

Projektzeitraum: 01.05.2023 - 31.12.2025

Förderprogramm: WIR! – Wandel durch Innovation in der Region

Projektträger Jülich (PtJ)

Gefördert durch:





PICON

Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt  
**Recycling von subhydrischen Sedimenten – ResuS**

Teilprojekt 3:  
**Konzeption zur Verwertung belasteter subhydrischer Sedimente mit Evaluierung einer anwendungsorientierten Technologieentwicklung**

**Verfasser:**

PICON GmbH  
Stefan Schönekerl,  
Andrea Malek,  
Christel Pfefferkorn  
Glashütter Straße 101  
01277 Dresden  
Tel. 0351 21185-0  
Fax 0351 21185-10  
info@picon-ingenieur.de  
www.picon-ingenieur.de

Dresden, 21.04.2026

PICON GmbH

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit den Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert durch:





**Inhaltsverzeichnis**

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>9</b>
<b>1 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTES</b>	<b>10</b>
<b>2 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND ZU PROJEKTBEGINN</b>	<b>10</b>
<b>3 ARBEITSPLANUNG</b>	<b>11</b>
<b>4 ERGEBNISDARSTELLUNG</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Überblick zu bestehenden Verwertungsoptionen, Klassifikation anhand des Anforderungsprofils (AS 1.1)</b>	<b>14</b>
4.1.1 Definition der Verwertungsoptionen und Kriterien (A 1.1.1)	14
4.1.2 Klassifizierung von Kriterien von Verwertungsoptionen (A 1.1.2)	16
<b>4.2 Definition von Rahmenbedingungen für die Probenahme und Analytik anhand der verwertungsspezifischen Zielparameter (AS 1.4)</b>	<b>20</b>
4.2.1 Definition der Anforderungen an die Probenahme (A 1.4.1)	20
4.2.2 Definition der Anforderungen an die Analytik zur Gewinnung richtiger, präziser und reproduzierbarer verwertungsrelevanter Zielparameter (A 1.4.2)	22
4.2.2.1 Verwertungsrelevante Zielparameter	22
4.2.2.2 Anforderungen an die Analytik	25
<b>4.3 Evaluierung von Verwertungsoptionen mit erforderlicher Aufbereitung (AS 2.2)</b>	<b>27</b>
4.3.1 Erstellung eines Lastenheftes für verschiedene Verwertungsoptionen (A 2.2.1)	33
4.3.2 Erstellung eines Pflichtenheftes für verschiedene Verwertungsoptionen (A 2.2.2)	38
<b>4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Evaluierung von Verwertungsoptionen zur Vermeidung von Beseitigung (AS 3.6)</b>	<b>45</b>
4.4.1 Evaluierung von Kostenfaktoren (A 3.6.1)	45
4.4.2 Ermittlung von Kosten, Material- und Energieeinsatz für Aufbereitungsverfahren (A 3.6.2)	52
4.4.2.1 Potentialanalyse zum Rohstoffdargebot und verschiedenen Verwertungswegen	52
4.4.2.2 Wirtschaftlichkeitsanalyse für verschiedene Aufbereitungsverfahren und Verwertungsoptionen	56
<b>4.5 Dokumentation rechtlicher Kriterien für die genehmigungsfähige Durchführung der Aufbereitung (AS 4.1)</b>	<b>62</b>
4.5.1 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Umgang mit Edukten und Produkten des ausgewählten Aufbereitungsverfahrens (A 4.1.1)	62
4.5.1.1 Evaluierung rechtlicher Rahmen- und Randbedingungen von der Rohstoffgewinnung bis zur Verwertung zum Produkt	62
4.5.1.2 Leitfaden für die Gewinnung, Aufbereitung und Verwertung subhydrischer Sedimente	73
<b>5 ERGÄNZENDER INHALT GEMÄß NKBF 2017</b>	<b>84</b>
<b>5.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises</b>	<b>84</b>
<b>5.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten</b>	<b>84</b>
<b>5.3 Nutzbarkeit der Ergebnisse</b>	<b>85</b>
<b>5.4 Fortschritte bei anderen Stellen</b>	<b>85</b>
<b>5.5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen</b>	<b>85</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>86</b>



## Abkürzungsverzeichnis

4. BImSchV	Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
5. BImSchV	Fünfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
A	Aktivität
AbfAEV	Anzeige- und Erlaubnisverordnung
aBG	allgemeine Bauartgenehmigung
AbwV	Abwasserverordnung
abZ	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
ADR	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route
Al	Aluminium
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminiumoxid, Dialuminiumtrioxid, Alumina, Tonerde, Korund
Anh.	Anhang
AOP	Advanced Oxidation Processes
AP	Arbeitspaket
Art.	Artikel
As	Arsen
AS	Arbeitsschritt
AVCP	Assessment and Verification of Constancy of Performance
AVV	Abfallverzeichnis-Verordnung
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
BauGB	Baugesetzbuch
BauPVO	Bauproduktenverordnung
baustoffl.	baustofflich(e)
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
Beständ.	Beständigkeit
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
BG	Baggergut
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BPG FB	Bodenplanungsgebiet Freiberg
BW	Beurteilungswert nach Tabelle 4 BBodSchV
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
CaO	Calciumoxid, Branntkalk
Cd	Cadmium
CE	Conformité Européenne
Cl <sup>-</sup>	Chlorid
CLP	Classification, Labelling and Packaging
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Carbonat
Cr, Cr(VI), Cr <sub>ges</sub>	Chrom, Chrom(VI), Chrom gesamt (= Cr(III) + Cr(VI))



Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

Cu	Kupfer
DepV	Deponieverordnung
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DK	Deponieklasse
DOC	Dissolved Organic Carbon
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DüMV	Düngemittelverordnung
eANV	elektronisches Abfallnachweisverfahren
EBV	Ersatzbaustoffverordnung
EfbV	Entsorgungsfachbetriebeverordnung
EG	Europäische Gemeinschaft
Eigensch.	Eigenschaft(en)
elektron.	elektronisch(es)
EN	Europäische Norm
EU	Europäische Union
ErsatzbaustoffV	Ersatzbaustoffverordnung
F, F <sup>-</sup>	Fluor, Fluorid
Fe	Eisen
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dieisentrioxid, Eisen(III)-oxid, Hämatit
FeS, FeS <sub>2</sub>	Eisensulfid, Eisendisulfid (Pyrit)
FFH	Fauna-Flora-Habitat, Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FHT	Freiberger Hüttenteich
FuE	Forschung und Entwicklung
FÜ	Fremdüberwachung
GbV	Gefahrgutbeauftragtenverordnung
gef., gefährl.	gefährlich(es)
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GGBefG	Gefahrgutbeförderungsgesetz
GGVSEB	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GZ	Gütezeichen
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
HCl	Chlorwasserstoff, Salzsäure
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Hydrogencarbonat
HF	Fluorwasserstoff, Flusssäure
Hg	Quecksilber
hochkontam.	hochkontaminiert(es)
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
K, K <sup>+</sup>	Kalium, Kaliumion
K <sub>2</sub> O	Dikaliumoxid
Kap.	Kapitel
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz

Gefördert durch:





Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

LAGA	Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Freistaat Sachsen)
LKW	Lastkraftwagen
LOI	Loss on ignition
MBO	Musterbauordnung
Me <sup>z+</sup>	Metall(oid)ionen
Mg	Magnesium
MgO	Magnesiumoxid, Magnesia
mikrobiol.	mikrobiologisch(e)
mittelkontam.	mittelkontaminiert(es)
MS	Meilenstein
N	Stickstoff
n:n	Verhältnis von Stoffmenge (mol) zu Stoffmenge (mol)
Na, Na <sup>+</sup>	Natrium, Natriumion
Na <sub>2</sub> O	Dinatriumoxid
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	Dinatriumperoxodisulfat
NachwV	Nachweisverordnung
n.b.	nicht bestimmt
Nebenbestimm.	Nebenbestimmung(en)
Ni	Nickel
n.n.	nicht nachweisbar
NO <sub>x</sub>	Stickoxide (N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> )
O <sub>3</sub>	Ozon
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
opt.	optional
org.	organisch(e/r)
P	Phosphor
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Diphosphorpentoxid
PAK, PAK <sub>16</sub>	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, 16, nach der Environmental Protection Agency (EPA) standardisiert analysierte polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (Naphthalin bis Indeno[1,2,3- <i>cd</i> ]pyren)
Par.	Parameter
Pb	Blei
PCB	Polychlorierte Biphenyle
pH	Negativer dekadischer Logarithmus der Aktivität der Oxoniumionen
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ortho-Phosphat
PPP	Privat-Public-Partnership
Q	Quartal
R-Beton	Recycling-Beton
RAL	RAL (Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen) Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V.
RAP-Str	Richtlinien für die Anerkennung von Prüfstellen für Baustoffe und Baustoffgemische im Straßenbau
RC-Material	Recycling-Material
ResuS	Recycling von subhydrischen Sedimenten
REWITA	Recycling bergbaulicher Aufbereitungsrückstände zur Gewinnung wirtschaftsstrategischer Metalle am Beispiel der Tailings am Bollrich in Goslar

Gefördert durch:





Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

S	Schwefel
S <sup>2-</sup>	Sulfid
S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup>	Persulfat
SiO <sub>2</sub>	Siliciumdioxid
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sulfat
SächsBO	Sächsische Bauordnung
SächsFischVO	Sächsische Fischereiverordnung
SächsKrWBodSchG	Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
Tab.	Tabelle
TF	Teilfläche
TiO <sub>2</sub>	Titandioxid
Tl	Thallium
TL BuB E-StB	Technische Lieferbedingungen für Bodenmaterialien und Baustoffe für den Erd- bau im Straßenbau
TM	Trockenmasse
TOC	Total Organic Carbon
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
UGT	Unterer Großhartmannsdorfer Teich
UmwelthG	Umwelthaftungsgesetz
UN	United Nations
USchadG	Umweltschadensgesetz
v:v	Verhältnis von Volumen (m <sup>3</sup> ) zu Volumen (m <sup>3</sup> )
VersatzV	Versatzverordnung
VDI	Vorsperre Dittersbach
VDO	Vorsperre Dobeneck
VFO	Vorbecken/Vorsperre Forchheim
VO BPG	Verordnung zum Bodenplanungsgebiet
wasserrechtl.	wasserrechtlich(er)
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
Wo.	Wochen
WPK	Werkseigene Produktionskontrolle
ZTV E-StB	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau
Zn	Zink
ökotoxikolog.	ökotoxikologisch(e)

Gefördert durch:





## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1.** Lage und Namen (und Abkürzungen) der beprobten Stauhaltungen (dunkelblau) und Lage des Bodenplanungsgebiets Freiberg im Freistaat Sachsen 27
- Abbildung 2.** Jährliches geschätztes gesamtes und abfallrechtlich erfasstes Baggergutaufkommen <sup>[131],[132]</sup>, Aufkommen von Baggergut mit den Abfallschlüsselnummern 17 05 05\* und 17 05 06 und relatives Baggergutaufkommen in zulassungsbedürftigen Abfallbehandlungsanlagen bzw. in Deponien für beide Abfallarten in den Jahren 2014 bis 2023 <sup>[132]</sup> sowie durchschnittlicher relativer Anteil der beiden Abfallarten am Gesamtanteil an gefährlichen oder nichtgefährlichen deponierten Abfälle in den Jahren 2020 bis 2023 <sup>[134]-[137]</sup> 54
- Abbildung 3.** Modellhafte Kostenbetrachtung für den Umgang mit Baggergut (rot = Kosten, grün = Erlös) und modellhafter wirtschaftlicher Benchmark ausgewählter Aufbereitungsstrategien 61

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1.</b>	Arbeitsplan mit Nummer und Titel der Arbeitspakete (AP), Arbeitsschritte (AS), Aktivitäten (A) und Meilensteine (MS) und Zeitraum der Ausführung in Quartalen (Q)	13
<b>Tabelle 2.</b>	Verwertungsoptionen: Anwendungen, Kriterien sowie Praxis- und Forschungsbeispiele und Patente	15
<b>Tabelle 3.</b>	Klassifizierung von Kriterien zur Verwertung von Baggergut	18
<b>Tabelle 4.</b>	Clusterung möglicher Verbringungswege von Baggergut nach grundlegenden Kriterien	19
<b>Tabelle 5.</b>	Planungsanforderungen an die Beprobung subhydrischer Sedimente	21
<b>Tabelle 6.</b>	Verwertungsspezifische Analyseparameter	24
<b>Tabelle 7.</b>	Verwertungsspezifische rechtliche Grundlagen, Normen und Regelwerke (Auszug)	26
<b>Tabelle 8.</b>	Auszug aus den analytischen Befunden von den subhydrischen Sedimenten der in Abbildung 1 aufgeführten beprobten Stauanlagen (FTH, UGT, VFO, VDI und VDO) von 2024 bzw. 2019 <sup>[87]</sup> und Vergleich der Befunde mit den Materialwerten der Tab. 3 in Anhang 1 der ErsatzbaustoffV (EBV BG-F0 bis BG-F3) <sup>[3]</sup> und den Beurteilungswerten für Materialien nach Tab. 4 BBodSchV <sup>[4]</sup> (BW) und Einordnung der Befunde der vier Stauhaltungen in oder in räumlicher Nähe zum Bodenplanungsgebiet Freiberg (BPG FB) <sup>[38]</sup> zu den dort vier ausgewiesenen Teilflächen (TF) auf Basis der Feststoffgehalte der Parameter As, Cd und Pb (*) und Abfallklassifizierung nach AVV <sup>[59]</sup> sowie Einordnung nach Deponieklasse (DK) auf Basis der kritischsten Parameter nach den Zuordnungswerten von Anhang 3, Tab. 2 DepV <sup>[32]</sup>	28
<b>Tabelle 9a.</b>	Lastenheft für drei beispielhafte Verwertungsoptionen für Baggergut	36
<b>Tabelle 10.</b>	Pflichtenheft für drei beispielhafte Verwertungsoptionen für Baggergut	41
<b>Tabelle 11.</b>	Beteiligte Akteure und Aufgaben in den Projektphasen von der Erkundung des Sediments der Stauanlage bis zur Herstellung eines Produkts aus dem Baggergut sowie wesentliche Kostenfaktoren	50
<b>Tabelle 12.</b>	Potenzial von Baggergut in der Verwertung als Ersatzbaustoff, in der bodennahen Verwertung und als Zuschlagstoff in der Hintermauerziegelproduktion	55
<b>Tabelle 13.</b>	Kostenschätzung für verschiedene Aufbereitungs-/Behandlungsverfahren und die Entsorgung	59
<b>Tabelle 14.</b>	Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für die Gewinnung von Baggergut aus der Sedimentberäumung einer Stauanlage als Unterhaltungsmaßnahme	64
<b>Tabelle 15.</b>	Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für die Entwässerung von Baggergut	66
<b>Tabelle 16.</b>	Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für den Transport von Baggergut	68
<b>Tabelle 17.</b>	Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für die Annahme und Behandlung von Baggergut	70
<b>Tabelle 18.</b>	Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für die Herstellung eines Produktes und das Inverkehrbringen auf Basis von verwertetem von Baggergut	72
<b>Tabelle 19.</b>	Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 1: Planung der Sedimentberäumung	75
<b>Tabelle 20.</b>	Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 2: Beräumung	77
<b>Tabelle 21.</b>	Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 3: Entwässerung	78
<b>Tabelle 22.</b>	Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 4: Transport und Übergabe an Verwerter	80
<b>Tabelle 23.</b>	Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 5: Behandlung durch Verwerter	82
<b>Tabelle 24.</b>	Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 6: Vermarktung durch Verwerter, Hersteller oder Inverkehrbringer	84

## 1 HINTERGRUND UND ZIELSETZUNG DES PROJEKTES

In Stauanlagen und Standgewässern führt der fortlaufende Sedimenteintrag zu einer sukzessiven Verringerung des Bewirtschaftungs- und Retentionsraums der Wasserkörper. Für die Unterhaltslastträger ergibt sich daraus die Notwendigkeit regelmäßiger Sedimentberäumungen bzw. Umlagerungen. Sind die Sedimente bergbaulich bedingt mit toxischen Metall(oid)en belastet, beschränkten sich die bisherigen Handlungsoptionen in der Praxis weitgehend auf kostenintensive und ressourcenineffiziente Beseitigungswege. Eine integrierte, übertragbare Strategie zur stofflichen oder funktionalen Verwertung dieser Sedimente als Ressource fehlt bislang. Gleichzeitig besteht ein wachsender Bedarf an sekundären Rohstoffen sowie an Lösungen zur Kreislaufführung von Wasser und mineralischen Stoffströmen. Subhydrische Sedimente stellen potenziell eine relevante Rohstoffquelle dar, deren Nutzung bislang durch technische, rechtliche und wirtschaftliche Hemmnisse begrenzt ist. Vor diesem Hintergrund besteht ein erheblicher Entwicklungsbedarf für praxistaugliche Aufbereitungs- und Verwertungskonzepte, die Umwelt- und Gewässerschutzziele mit Ressourceneffizienz verbinden.

Im Rahmen des Verbundvorhabens „**ResuS – Recycling von subhydrischen Sedimenten**“ wurde das Ziel verfolgt, das Rohstoffpotenzial metall(oid)belasteter subhydrischer Sedimente aus Stauanlagen systematisch zu erschließen und für definierte Verwertungswege nutzbar zu machen. In einem Forschungs- und Entwicklungskonsortium aus der Technischen Universität Bergakademie Freiberg/Lehrstuhl für Hydrogeologie und Hydrochemie (Projektleitung) und den Unternehmen GeoWiD GmbH, Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH, KI Keramik-Institut GmbH und PICON GmbH sollten nachhaltige und innovative Lösungsstrategien zur Aufbereitung und Verwertung kontaminierter Sedimente entwickelt und erprobt werden. Potenzielle Anwendungen, wie etwa die Verwertung zu einem nährstoffhaltigen Substrat in einer bodenbezogenen Anwendung oder als Baustoffalternative in der Industrie, waren hinsichtlich ihrer technischen Eignung und rechtlichen Konformität zu evaluieren.

Auf Basis einer integrierten Bewertung wirtschaftlicher, rechtlicher und technischer Kriterien wurden entsprechende Lösungsstrategien für verschiedene Verwertungsoptionen entwickelt. Hierzu erprobten und entwickelten die Forschungs- und Praxispartner unterschiedliche Aufbereitungsverfahren. Als Referenzmaterial dienten Sedimentproben aus Staugewässern der Freiburger Revierwasserlaufanstalt mit Schwerpunkt auf dem Referenzstandort Freiburger Hütten- teich und regional benachbarten Stauanlagen.

Das **Teilvorhaben 3** der **PICON GmbH** umfasste die „**Konzeption zur Verwertung belasteter subhydrischer Sedimente mit Evaluierung einer anwendungsorientierten Technologieentwicklung**“ und fokussierte dabei insbesondere auf:

- die qualitative und quantitative Ermittlung des erschließbaren Rohstoffpotenzials und die Entwicklung maßnahmenbezogener Erschließungskonzepte,
- die Ableitung verwertungsspezifischer Anforderungen,
- die Klärung rechtlicher Rahmenbedingungen,
- die Evaluierung technischer Aufbereitungsoptionen sowie
- die Optimierung des Stoffstrommanagements hin zu ressourceneffizienten Verwertungswegen.

Darauf aufbauend wurden für verschiedene Verwertungsoptionen konkrete Verwertungsstrategien entwickelt, einschließlich einer fachlicher Begleitung der Sedimentbeprobung, einer Konzeption und Weiterentwicklung der Aufbereitungsverfahren sowie einer Bewertung der rechtlichen, wirtschaftlichen und technischen Vermarktungsfähigkeit potenzieller Produkte. Die Ergebnisse mündeten in die Erarbeitung eines praxisorientierten Leitfadens mit Handlungsempfehlungen zur Gewinnung, Aufbereitung und Verwertung subhydrischer Sedimente.

Das Vorhaben verfolgte das wissenschaftlich-technische Ziel, subhydrische Sedimente in Stauanlagen und Standgewässern rohstofflich zu erschließen. Dazu sollte ein an die Anforderungen konkreter Verwertungswege angepasstes Aufbereitungsverfahren entwickelt und in einer Einsatzumgebung erprobt werden. Dabei waren bestehende Verfahrensansätze substanziell

weiterzuentwickeln und die Vereinbarkeit mit stofflichen Anforderungen sowie rechtlichen Rahmenbedingungen konzeptionell abzusichern. Zugleich bestand das wirtschaftlich-technische Ziel darin, ein über die gesamte Prozesskette tragfähiges, wirtschaftlich und rechtlich belastbares Verwertungskonzept von der Erschließung über die Aufbereitung bis zur Anwendung zu entwickeln, die Leistungsziele der Prozessphasen zu definieren, eine Roadmap zur technischen Umsetzung zu erarbeiten und die Grundlagen für eine nach Projektende vermarktungsreife Planungs- und Beratungsdienstleistung für Unterhaltlastträger, Aufbereiter und Verwerter belasteter subhydrischer Sedimente zu schaffen.

Das vorliegende Vorhaben wurde im Rahmen des Programms „WIR! – Wandel durch Innovation in der Region“ gefördert und war Teil des regionalen rEComine-Bündnisses zur Förderung und Weiterentwicklung von Technologien zum Recycling bisher nicht erschlossener Sekundärquellen. Das Projekt adressierte unmittelbar an die Zielsetzung des Programms, bislang unterprofiliertere Regionen durch innovationsbasierte Kooperationsstrukturen in ihrer wirtschaftlich-technologischen Entwicklung zu stärken.

Durch die enge Zusammenarbeit von Akteuren aus Wissenschaft und Wirtschaft trug das Vorhaben zur Erschließung bislang ungenutzter regionaler Innovationspotenziale bei und förderte die Etablierung nachhaltiger Kooperations- und Wertschöpfungsstrukturen. Das Projekt „ResuS“ fungierte hierbei als technologischer Impulsgeber für einen strukturellen Wandel in der vom Bergbau geprägten Region Erzgebirge, indem es die Transformation hin zu einem Kompetenzzentrum für ressourcenschonende Technologien der sekundären Rohstoffgewinnung unterstützte.

## 2 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND ZU PROJEKTBEGINN

Die Sedimentberäumung in Stand- und Staugewässern ist ein zentrales Instrument der Gewässerunterhaltung. Sie dient der Sicherung der Funktionen von Gewässern, darunter Trink- und Brauchwasserbereitstellung, Hochwasser- und Niedrigwassermanagement, Erholungsnutzung sowie der Energiegewinnung. Die anfallenden Kosten für Unterhaltungs- bzw. Vorhabenträger werden maßgeblich durch das Volumen der entnommenen Sedimente und die jeweils möglichen Verbringungsoptionen Umlagerung, Verwendung, Verwertung und Beseitigung <sup>[1]</sup> bestimmt.

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist beim Umgang mit Baggergut zunächst zu prüfen, ob eine Umlagerung im Gewässer oder eine unmittelbare Verwendung an Land nach rechtlichen, logistischen, ökologischen und ökonomischen Kriterien möglich ist. Erst nachrangig sind stoffliche Verwertungsoptionen und als letzte Option die Beseitigung in Betracht zu ziehen. Maßgeblich ist die abfallrechtliche Rangfolge nach § 6 (1) des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (1. Vermeidung, 2. Vorbereitung zur Wiederverwendung, 3. Recycling, 4. sonstige Verwertung einschließlich Verfüllung, 5. Beseitigung) <sup>[2]</sup>. Die Auswahl des Verbringungswegs erfolgt auf Basis einer repräsentativen Beprobung und normgerechten und qualitätsgesicherten Analyse des Sediments und einer darauf aufbauenden Gefährdungsabschätzung sowie einer Kosten-/Nutzen-Analyse und mündet in der Konkretisierung der Verwertungs- und Entsorgungsoptionen sowie der Gesamtmaßnahmenplanung einschließlich möglicher zusätzlicher Leistungen (z. B. Aufbereitung, Zwischenlagerung, Logistik).

Ist eine Umlagerung oder unmittelbare Verwendung aufgrund rheologischer, chemisch-physikalischer, ökotoxikologischer oder biochemischer Kriterien ausgeschlossen oder liegt eine Entledigungsabsicht/-pflicht vor, sind die Sedimente abfallrechtlich einzuordnen und einer Verwertung oder Beseitigung zuzuführen. Die Verwertung erfolgt in der Praxis häufig in eingeschränkten offenen Einbauweisen oder in technisch gesicherten Einbauformen. Ein Sonderfall ist die uneingeschränkte Verwertung geeigneter Sedimente in bodenähnlichen Anwendungen. Mögliche Verwertungswege bestehen u. a. im Wasserbau, Erd- und Landschaftsbau, in Deponien sowie in bergbaulichen Anlagen. Die Nutzung als Substitut primärer Rohstoffe in der Bauproduktherstellung befindet sich eher noch im Entwicklungsstadium und ist bislang nicht breit etabliert. Eine Beseitigung kommt nur in Betracht, wenn eine Verwertung technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht zumutbar ist. In manchen Fällen ist vor einer Deponierung eine



Behandlung mit Zwischenlagerung erforderlich. Die Beseitigung großer Sedimentmengen gilt nach heutigem Kenntnisstand überwiegend als wirtschaftlich nachteilig und ökologisch nicht sinnvoll.

Das fachlich anerkannte Sedimentmanagement <sup>[1]</sup> folgt einem strukturierten Vorgehen:

- Bestandsaufnahme einschließlich Mengenabschätzung und Analytik,
- Gefährdungsabschätzung und Kosten-/Nutzen-Analyse mit Ableitung eines Verwertungs- bzw. Entsorgungskonzepts,
- Maßnahmenplanung einschließlich Auswahl geeigneter Aufbereitungstechnologien sowie
- ggf. ergänzende Planungsleistungen.

Im Umgang mit kontaminierten subhydrischen Sedimenten geogener bzw. bergbaulicher Herkunft besteht weiterhin Forschungs- und Regelungsbedarf. Es sind insbesondere adaptierte Handlungsempfehlungen für eine sichere und praktikable Verwertung weiterzuentwickeln.

### 3 ARBEITSPLANUNG

Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „ResuS“ beinhaltet insgesamt fünf Arbeitspakete. Die PICON GmbH war im Teilprojekt 3 an der Bearbeitung der vier Arbeitspakete (AP)

- AP 1: Zusammenfassung bestehender Verwertungsoptionen, Gewinnung und Untersuchung von Probenmaterial und konzeptionelle Vorarbeiten,
- AP 2: Evaluierung möglicher Verwertungsoptionen,
- AP 3: Charakterisierung und Testung verwertungsspezifischer Aufbereitungstechnologien und
- AP 4: Technische Entwicklung und Auswahl geeigneter verwertungsspezifischer Aufbereitungsverfahren

im Rahmen der fünf Arbeitsschritte (AS) und dahinterstehenden Aktivitäten (A)

- AS 1.1: Technische Entwicklung und Auswahl geeigneter verwertungsspezifischer Aufbereitungsverfahren
  - mit Schwerpunkt der Evaluierung von standardisierten Verfahren und Verfahrensteilen, Zielgrößen/Parametern durch Sichtung und Auswertung entsprechender Richtlinien und Recherche von publizierten Forschungsansätzen (A 1.1.1) und
  - einer Klassifizierung und Clusterung von Kriterien (A 1.1.2),
- AS 1.4: Definition von Rahmenbedingungen für die Probenahme und Analytik anhand der verwertungsspezifischen Zielparameter
  - mit Schwerpunkt der Evaluierung von Probenahmemethoden (A 1.4.1) und
  - Anforderungen an die Qualitätssicherung der Probenaufarbeitung und Analyse (A 1.4.2),
- AS 2.2: Evaluierung von Verwertungsoptionen mit erforderlicher Aufbereitung
  - mit Schwerpunkt der Entwicklung eines Muster-Lastenhefts mit Definition der Leistungsziele und des Umfangs einzelner Projektetappen (A 2.2.1) und
  - der Erstellung eines Muster-Pflichtenheftes mit Entwicklung eines Arbeitskonzeptes und Projektplans zur logistischen und technischen Umsetzung des Produkts entsprechend den Anforderungen des Produkthanwenders (A 2.2.2),
- AS 3.6: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Evaluierung von Verwertungsoptionen zur Vermeidung von Beseitigung
  - mit Schwerpunkt einer Potenzialanalyse zum Rohstoffdargebot subhydrischer Sedimente und Verwertungswegen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aufbereitungsverfahren und einer Evaluierung der wichtigsten Kostenfaktoren (A 3.6.1) und



Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

- einer Wirtschaftlichkeitsanalyse für Verwertungsoptionen subhydrischer Sedimente (A 3.6.2),
- AS 4.1: Dokumentation rechtlicher Kriterien für die genehmigungsfähige Durchführung der Aufbereitung
  - mit Schwerpunkt der Evaluierung rechtlicher Rahmen- und Randbedingungen von der Rohstoffgewinnung bis zur Verwertung zum Produkt und der Entwicklung eines Leitfadens für die Gewinnung, Aufbereitung und Verwertung subhydrischer Sedimente (A 4.1.1)

unter der in Tabelle 1 aufgeführten Struktur und Zeitplanung beteiligt.

Im Rahmen des von der PICON GmbH betreuten Teilprojektes 3 waren die drei Meilensteine (MS)

- MS 1: Identifikation verwertungsspezifischer Kenngrößen (nach A 1.4.2),
- MS 2: Kriterien zur Verwertung subhydrischer Sedimente erfüllbar (nach A 2.2.2) und
- MS 3: Wirtschaftlichkeit von Verwertungsoptionen nachgewiesen (nach A 3.6.2)

verankert (Tabelle 1).

**Tabelle 1.** Arbeitsplan mit Nummer und Titel der Arbeitspakete (AP), Arbeitsschritte (AS), Aktivitäten (A) und Meilensteine (MS) und Zeitraum der Ausführung in Quartalen (Q)

Arbeitspaket (AP), Arbeitsschritt (AS), Aktivitäten (A) und Titel		Zeitraum
<b>AP 1</b>	<b>Zusammenfassung bestehender Verwertungsoptionen, Gewinnung und Untersuchung von Probenmaterial und konzeptionelle Vorarbeiten</b>	
AS 1.1	Überblick zu bestehenden Verwertungsoptionen, Klassifikation anhand des Anforderungsprofils	Q1
A 1.1.1	Definition der Verwertungsoptionen und Kriterien	
A 1.1.2	Klassifizierung von Kriterien von Verwertungsoptionen	
AS 1.4	Definition von Rahmenbedingungen für die Probenahme und Analytik anhand der verwertungsspezifischen Zielparameter	Q1-Q2
A 1.4.1	Definition der Anforderungen an die Probenahme	
A 1.4.2	Definition der Anforderungen an die Analytik zur Gewinnung richtiger, präziser und reproduzierbarer verwertungsrelevanter Zielparameter	
<i>MS 1</i>	<i>Identifikation verwertungsspezifischer Kenngrößen</i>	<i>Q2</i>
<b>AP 2</b>	<b>Evaluierung möglicher Verwertungsoptionen</b>	
AS 2.2	Evaluierung von Verwertungsoptionen mit erforderlicher Aufbereitung	Q2-Q5
A 2.2.1	Erstellung eines Lastenheftes für verschiedene Verwertungsoptionen	
A 2.2.2	Erstellung eines Pflichtenheftes für verschiedene Verwertungsoptionen	
<i>MS 2</i>	<i>Kriterien zur Verwertung subhydrischer Sedimente erfüllbar</i>	<i>Q5</i>
<b>AP 3</b>	<b>Charakterisierung und Testung verwertungsspezifischer Aufbereitungstechnologien</b>	
AS 3.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Evaluierung von Verwertungsoptionen zur Vermeidung von Beseitigung	Q5-Q9
A 3.6.1	Evaluierung von Kostenfaktoren	
A 3.6.2	Ermittlung von Kosten-, Material- und Energieeinsatz für Aufbereitungsverfahren	
<i>MS 3</i>	<i>Wirtschaftlichkeit von Verwertungsoptionen nachgewiesen</i>	<i>Q9</i>
<b>AP 4</b>	<b>Technische Entwicklung und Auswahl geeigneter verwertungsspezifischer Aufbereitungsverfahren</b>	
AS 4.1	Dokumentation rechtlicher Kriterien für die genehmigungsfähige Durchführung der Aufbereitung	Q10-Q11
A 4.1.1	Rechtliche Rahmenbedingungen für den Umgang mit Edukten und Produkten des ausgewählten Aufbereitungsverfahrens	

Gefördert durch:



## 4 ERGEBNISDARSTELLUNG

### 4.1 Überblick zu bestehenden Verwertungsoptionen, Klassifikation anhand des Anforderungsprofils (AS 1.1)

#### 4.1.1 Definition der Verwertungsoptionen und Kriterien (A 1.1.1)

Baggergut, das bei der Sedimentberäumung von Gewässern aller Art entsteht, gilt als Abfall, wenn es nicht innerhalb des Gewässers umgelagert oder außerhalb des Gewässers unmittelbar verwendet werden kann und somit seine ursprüngliche Zweckbestimmung verliert <sup>[1],[2]</sup>. Gemäß § 7 (2) KrWG <sup>[2]</sup> muss sich der Abfallerzeuger dieses Materials entledigen und es einer rechtskonformen Verwertung oder Beseitigung zuführen. In der in § 6 KrWG <sup>[2]</sup> formulierten Abfallhierarchie ist die Verwertung der Beseitigung vorzuziehen. Damit Baggergut verwertet werden kann, erfordert es je nach Fall eine Behandlung hinsichtlich seines Volumens, eventuell vorhandener Fremd- oder Störstoffe, seiner stofflichen Eigenschaften oder seines Schadstoffgehalts. Die Abfallaufbereitung ist konkret darauf auszurichten, die Abfalleigenschaft zu beenden (§ 5 (1) KrWG <sup>[2]</sup>) und dabei einen Sekundärrohstoff, ein Erzeugnis oder ein (Vor-, Neben- oder Haupt-)Produkt herzustellen.

Tabelle 2 zeigt in Form einer Kurzübersicht die gängigsten Verwertungsoptionen für Baggergut, die im Rahmen einer Literaturrecherche ermittelt wurden. In dieser sind die wichtigsten zu beachtenden Kriterien sowie Praxisbeispiele, Forschungsansätze und Patente aufgeführt.

Demzufolge wird Baggergut als preisgünstigere Alternative zu Primärrohstoffen wie Sand und Kies in geotechnischen Anwendungen (→ 1., Tabelle 2) eingesetzt. Die Verwertung erfolgt zu meist niederschwellig als Verfüll- oder Auffüllstoff für Geländemodellierungen oder in Bauwerken, wie z. B. Straßen, Lärmschutzwälle, Dämme oder Deiche. Die grundlegenden Kriterien sind die Gewährleistung hinreichender bautechnischer Eigenschaften, die überwiegend normativ geregelt sind, sowie die Begrenzung des Schadstoffgehalts und der Schadstofffreisetzung bei zulässigen Einbauweisen. Diese sind in der Ersatzbaustoffverordnung (Anlage 1, Tab. 3 und 4 sowie Anlage 2, Tab. 5 bis 8 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>) oder in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (Anlage 1, Tab. 4 BBodSchV <sup>[4]</sup>) definiert.

Im Weiteren wird Baggergut höherwertig für bodenbezogene Verwertungen (→ 2., Tabelle 2), beispielsweise zur Rekultivierung oder als Bodenverbesserer auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, eingesetzt. Ziel der Maßnahmen ist der Wiederaufbau des Bodens, u. a. nach einer Altlastensanierung, oder die Optimierung der bestehenden Bodenstruktur hinsichtlich ihrer Feldkapazität, des Nährstoffgehalts – wie z. B. Kalium (K<sub>2</sub>O nach DüMV <sup>[5]</sup>), Stickstoff (N) und Phosphor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nach DüMV <sup>[5]</sup>) – sowie des Humusgehalts (Organik). Die bodenbezogene Verwertung wird i. d. R. rechtlich anerkannt, wenn gegenüber der zuständigen Bodenschutzbehörde mindestens ein konkreter Nutzen gemäß § 6 (2) Nr. 2 BBodSchV <sup>[4]</sup> nachgewiesen werden kann (z. B. Verbesserung des Bodenwasserhaushalts oder Verbesserung der Ertragsfähigkeit des Bodens). Die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderungen ist grundsätzlich ein Ausschlusskriterium für die bodenbezogene Verwertung (§ 7 (2) in Verbindung mit § 3 (1) BBodSchV <sup>[4]</sup>). Daher unterliegt der Einsatz von Baggergut – insbesondere in Bezug auf die Zulässigkeit von Schadstoffgehalten und Schadstofffreisetzung – strengeren standortbezogenen Regulationen als bei einer geotechnischen Anwendung.

Baggergut wird auch als Zuschlagstoff (→ 3., Tabelle 2) für die Herstellung von Erzeugnissen, wie beispielsweise Hintermauerziegeln oder Funktionskeramiken sowie für die Produktion von Baustoffen wie Mörtel, Zement oder Beton verwertet. In der Prozessphase spielt das Kriterium der thermisch oder mechanisch herbeigeführten Mobilisierung von Schadstoffen eine wichtige Rolle. Anlagen zur Herstellung von Zement, zur mechanischen Behandlung von Gestein sowie zum Brennen keramischer Erzeugnisse sind nach § 4 BImSchG <sup>[6]</sup> in Verbindung mit der 4. BImSchV (Nr. 2.2, 2.3 und 2.10) <sup>[7]</sup> produktionskapazitätsabhängig genehmigungspflichtig. Sie unterliegen anlagenspezifischen Anforderungen an die Abgas-/Staubemissionen, die in der Verwaltungsvorschrift TA Luft (Kap. 5.4.2.1/2, 5.4.2.3 und 5.4.2.10) <sup>[8]</sup> konkretisiert sind. Dadurch wird der zulässige Schadstoffgehalt in den verwendeten Rohstoffen – und somit auch der

Schadstoffgehalt im Sekundärrohstoff Baggergut – begrenzt. Zusätzlich sind in mehreren ineinandergreifenden Normen, wie bspw. DIN 4226-101:2025-11 <sup>[9]</sup>, DIN EN 206:2021-06 <sup>[10]</sup> und DIN EN 12620:2008-07 <sup>[11]</sup> die zulässigen Schadstoffgehalte in rezyklierten Gesteinskörnungen (einschließlich korrosiv wirkender Bestandteile wie Chlorid, Sulfat und Alkalien) sowie die geometrischen und physikalischen Kriterien für Beton und seine Rohstoffe definiert. Da die Erzeugnisse bzw. Produkte aus der Baubranche überwiegend harmonisierten Normen unterliegen, dürfen sie gemäß der Bauproduktenverordnung (EU) Nr. 305/2011 <sup>[12]</sup> nur mit einer Leistungserklärung als zentralem Dokument und einer darauf aufbauenden CE-Konformitätskennzeichnung in Verkehr gebracht werden.

Die stoffliche Gewinnung von Metallen (z. B. Al, Fe, Cu, Zn, Pb), Phosphor ( $PO_4^{3-}$ ,  $P_2O_5$ ) oder sonstigen werthaltigen Elementen aus belastetem Baggergut ist dann u. U. wirtschaftlich sinnvoll, wenn die Abfälle Mindestfeststoffgehalte analog zur Anlage 1 zu § 3 VersatzV <sup>[13]</sup> aufweisen und sich chemisch-physikalisch mobilisieren und anreichern lassen. Das Thema wurde beispielsweise im Forschungsprojekt „REWITA“ <sup>[14]</sup> für Bergbausedimente untersucht. Alternativ müssen sich gemäß der Verordnung (EU) 2019/1009 <sup>[15]</sup> Düngeprodukte aus dem Recycling von Abfällen unter strenger Begrenzung von Schadstoffen und mit hinreichender Wirksamkeit darstellen lassen.

**Tabelle 2.** Verwertungsoptionen: Anwendungen, Kriterien sowie Praxis- und Forschungsbeispiele und Patente

1. Geotechnische Verwertungsoptionen		
Anwendungen	Kriterien	Praxis-/Forschungsbeispiele, Patente
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Straßenbau, Lärmschutzwälle</li> <li>- Deich- und Dammbau</li> <li>- Verfüllungen von Abgrabungen, Tagebauen und Hohlräumen</li> <li>- Aufspülungen zur Landgewinnung oder Geländeanhebung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geotechnische Eigenschaften (Kornverteilung, Verdichtungsfähigkeit, Fließfähigkeit, Scherfestigkeit)</li> <li>- Schadstoffgehalt, Eluierbarkeit von Schadstoffen (ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>), ggf. Auswirkung auf Flora und Fauna</li> <li>- Wassergehalt, Entwässerbarkeit, Wasserdurchlässigkeit</li> <li>- Langzeitstabilität, Setzungsverhalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abriak et al. 2023 <sup>[16]</sup>: Baggergut als Beimischung für den Straßenunterbau</li> <li>- Oing 2019 <sup>[17]</sup>: Einsatz von Baggergut für den Deichbau</li> <li>- Chu et al. 2018 <sup>[18]</sup>: Baggergut als Versatzbaustoff</li> <li>- Silveira et al. 2013 <sup>[19]</sup>: Nutzung von Baggergut zur Strandaufschüttung</li> <li>- Patent US6293731B1 <sup>[20]</sup>: Verfahren zur Behandlung von Baggergut und Verwertung zu Strukturfüllmaterial</li> <li>- Patent US2008210135A1 <sup>[21]</sup>: Nutzung von Baggergut zur Herstellung von verschiedenen Infrastrukturelementen (Dämme, Deiche, Lärmschutzwände)</li> </ul>
2. Bodennahe Verwertungsoptionen		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rekultivierungs- und Renaturierungsmaßnahmen, Landschaftsbau</li> <li>- Bodenverbesserung (Nährstoffgehalt, Bodenstruktur), Oberbodenersatz</li> <li>- Zuschlagstoff in der Herstellung von Düngemitteln und Pflanzensubstraten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenart, Humusgehalt</li> <li>- pH-Wert, Salze, Nährstoffe (N, P, K usw.), Keimbelastung</li> <li>- geringer Schadstoffgehalt und geringe Mobilisierbarkeit (BBodSchV <sup>[4]</sup>)</li> <li>- Wasserhaltekapazität, Wasserdurchlässigkeit</li> <li>- Pflanzenverträglichkeit</li> <li>- Ökotoxikologische Bewertung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- van Riel et al. 2022 <sup>[22]</sup>: Eignungsuntersuchung von Baggergut für das Pflanzenwachstum zur Schaffung von Feuchtgebieten</li> <li>- Kiani et al. 2021 <sup>[23]</sup>: Lysimeterversuche zur Nutzung von Baggergut als Bodenverbesserer</li> <li>- Ferrans et al. 2022 <sup>[24]</sup>: Potenzial- und Risikoanalyse für Baggergut als Pflanzensubstrat</li> <li>- Patent CN102229485A <sup>[25]</sup>: Einsatz von Baggergut zur Landschaftsrenaturierung</li> <li>- Patent DE102014019350A1 <sup>[26]</sup>: Herstellung von Pflanzenerden (o. Ä.) aus Gülle, Gärresten und Abraumerden</li> </ul>
3. Stoffliche Verwertungsoptionen		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuschlagstoff in der Hintermauerziegel- und Baustoffherstellung (Zement, Mörtel, Beton, Geopolymerie)</li> <li>- Zuschlagstoff bei der Herstellung von porösen Funktionsmaterialien</li> <li>- Rohstoffquelle für Metall(oid)spezies und Phosphor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mineralogische Zusammensetzung</li> <li>- Korrosiv wirkende Inhaltsstoffe (<math>Cl^-</math>, <math>SO_4^{2-}</math>, <math>H_2S</math>, Säuren, Laugen usw.)</li> <li>- Schadstoffmobilisierbarkeit (in der Prozessphase der Behandlung und im Produkt)</li> <li>- Energiebedarf, Chemikalieneinsatz, Wirtschaftlichkeit</li> <li>- Anforderungen entsprechend von Produktnormen (Druckfestigkeit, Schwindung, Porosität, Frostwiderstand, Farbe usw.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bortali et al. 2023 <sup>[27]</sup>: Verwertung des Sandanteils von Baggergut zur Herstellung von Beton, Materialcharakterisierung und Kosten-Nutzen-Analyse</li> <li>- Liu und Coffman 2016 <sup>[28]</sup>: Sinterung von Baggergut und Einsatz als wasserspeicherndes Substrat zur Dachbegrünung</li> <li>- Ferrans et al. 2021 <sup>[29]</sup>: Machbarkeitsstudie zur Gewinnung von Metall(oid)spezies durch chemische Laugung von Baggergut</li> <li>- Patent WO2016/198176 <sup>[30]</sup>: Aufbereitung von Baggergut zu einem Substitutent von Portlandzement in der Herstellung von Betonprodukten</li> <li>- Patent CN105130235A <sup>[31]</sup>: Herstellung von Keramzit (Blähton) aus Baggergut</li> </ul>

#### 4.1.2 Klassifizierung von Kriterien von Verwertungsoptionen (A 1.1.2)

Die Verwertung von Baggergut erfordert aufgrund von unterschiedlichen stofflichen Eigenschaften und verschiedenen, in Wechselwirkung stehenden äußeren Einflussgrößen eine systematische Bewertungs- und Entscheidungsstruktur. Tabelle 3 gibt einen Überblick über sechs Hauptkriterien, die für eine sachgerechte Beurteilung einer Verwertungsstrategie ineinander übergreifend abzuwägen sind.

**1. Stoffliche/materialbezogene Kriterien:** Die stofflich-materialbezogene Charakterisierung bildet die Grundlage jeder Verwertungsprüfung. Baggergut besteht aus einem bestimmten Gemisch unterschiedlich großer mineralischer Kornfraktionen (Ton, Schluff, Sand und Kies) sowie aus variablen Anteilen organischer Substanz unterschiedlicher Herkunft (z. B. Pflanzenreste, organische Schadstoffe) und Fremdstoffen aller Art. Zu den maßgeblichen physikalischen Eigenschaften zählen die Korngrößenverteilung, der Wassergehalt, die Plastizität sowie die Trockenrohdichte. Die wichtigsten chemischen Parameter sind die mineralogische Zusammensetzung ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Quarz, Tonschichtminerale usw.), der Gehalt und die Mobilisierbarkeit von Metall(oid)en, Salzen, Härtebildnern und organischen Komponenten (nicht nur Schadstoffe nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup> oder BBodSchV <sup>[4]</sup>, sondern auch  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , Huminstoffe usw.) und der pH-Wert im Eluat. Der Organikgehalt und der Anteil an Nährstoffen stellen die bedeutendsten biologischen Parameter dar. In der Gesamtschau bestimmen diese Stoffeigenschaften die prinzipielle Eignung für bestimmte stoffliche Nutzungen, beispielsweise als Baustoffzusatz, Füllmaterial, Rekultivierungssubstrat oder als Sekundärrohstoff in keramischen Produkten sowie als Zusatz in Zement oder Beton. Eine feinkörnige, tonreiche Matrix kann z. B. für Abdichtungszwecke oder als Reaktivkomponente in bindemittelbasierten Anwendungen oder für die Ziegelherstellung geeignet sein, während sandreiche Fraktionen eher als Verfüll- oder Zuschlagstoff in Frage kommen. Die stoffliche Eignung ist stets in Relation zur Zielanwendung zu bewerten.

**2. Belastungs- und Risikokriterien:** Die Verwertbarkeit von Baggergut wird v. a. durch die in der Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>), der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV <sup>[4]</sup>), der Deponieverordnung (DepV <sup>[32]</sup>) sowie in verschiedenen Baustoffnormen <sup>[9]-[11]</sup> festgelegten Restriktionen zum Schadstoffgehalt und zur Schadstoffmobilisierung bestimmt. Indirekt erfolgt auch eine Einflussnahme durch die 4. BImSchV <sup>[7]</sup> und die TA Luft <sup>[8]</sup>. Grundsätzlich sind Metall(oid)e wie z. B. Zn, As, Cd und Pb (u. a.) oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und verschiedene kongenere polychlorierter Biphenyle (PCB) die kritischsten Parameter. Je nach Belastungsgrad kann eine direkte Verwendung des Materials ohne Aufarbeitung aufgrund der Gefährdung der Schutzgüter Mensch, Wasser und Boden (u. a.) entweder stark eingeschränkt oder gänzlich verboten sein. In diesem Fall ist eine an die Art und Stärke der Kontamination angepasste Aufbereitung durchzuführen. Diese muss primär den Feststoffgehalt der Schadstoffe und deren Mobilisierbarkeit auf das erlaubte Niveau senken. Darüber hinaus soll sie eine spätere Remobilisierung unter ggf. anderen oder sich ändernden Milieubedingungen ausschließen und jegliche anderen Expositionspfade hinreichend unterbinden, die zu einer Gefährdung von Menschen und Umwelt führen können.

**3. Technisch-funktionale Kriterien:** Technisch-funktionale Kriterien beziehen sich auf die Eignung des Materials, eine konkrete technische (oder biologische) Funktion zu erfüllen. Hierzu zählen u. a. mechanische Kennwerte (z. B. Druckfestigkeit, Scherfestigkeit, Verdichtbarkeit), hydraulische Eigenschaften (z. B. Durchlässigkeitsbeiwert, Wasserspeichervermögen), Frostbeständigkeit, Dauerhaftigkeit unter physikalisch-chemischer Beanspruchung sowie Bodenkenngrößen, die das Pflanzenwachstum beeinflussen (z. B. Nährstoffgehalt, Bodenbildungsfähigkeit und die genannten hydraulischen Parameter). Für Anwendungen im Erd- oder Deichbau sind beispielsweise die Tragfähigkeit und das Setzungsverhalten maßgeblich, während für eine Nutzung als Zuschlagstoff in Baustoffen eher die Kornform, die Reaktivität und die Kompatibilität mit Bindemitteln relevant sind. Bei bodennahem Einsatz von Baggergut ist es v. a. wichtig, dass die Wasserdurchlässigkeit und der Nährstoffgehalt den Bedürfnissen der Vegetation vor Ort entsprechen. Die technisch-funktionale Bewertung erfordert daher Labor- und ggf. auch Feldversuche, um das Verhalten unter praxisnahen Bedingungen zu eruieren.

**4. Behandlungskriterien:** Bei einer hohen anorganischen oder organischen Schadstoffkontamination oder anderweitigen Belastung mit Fremd- und Störstoffen ist eine direkte Verwendung von Baggertgut i. d. R. nicht möglich. In solchen Fällen sind unterschiedliche Behandlungsmaßnahmen erforderlich. Dazu zählen chemische, physikalische/thermische oder biologische Verfahren zur Schadstoffmobilisierung, -abscheidung oder -immobilisierung sowie Verfahren zur mechanischen Abtrennung belasteter Kornfraktionen oder von Fremd- und Störstoffen. Eine Behandlung kann jedoch auch darauf abzielen, Korngrößenfraktionen, die sich für den angedachten Verwertungsweg als ungeeignet erweisen, abzutrennen oder Nährstoffdefizite durch das Beimischen von Düngemitteln auszugleichen. Die Auswahl hängt demnach nicht nur von der Art der Belastung, sondern auch von der angestrebten Funktionalität des Endprodukts ab. Zu beachten ist, dass Behandlungsverfahren selbst Emissionen oder Reststoffe erzeugen können. Diese unterliegen folgerichtig einer gesonderten Bewertung. Zudem ist zu prüfen, ob durch die Behandlung eine dauerhafte Reduktion des Risikopotenzials erreicht wird oder lediglich eine Verlagerung in andere Umweltkompartimente erfolgt. Nachstehend werden in Tabelle 13 auch die Kosten verschiedener Aufbereitungsverfahren betrachtet. Chemische und thermische Verfahren sind im Prinzip sehr teuer und mehrheitlich unwirtschaftlich, während biologische Verfahren äußerst langwierig sind und sich somit aus planerischer und logistischer Sicht oftmals als faktisch undurchführbar erweisen.

**5. Rechtliche und regulatorische Kriterien:** Die Verwertung von Baggertgut bewegt sich im Spannungsfeld zwischen dem Abfall-, Boden-, Wasser- und Immissionsschutzrecht auf nationaler Ebene sowie dem EU-Recht. Zentrale Anforderungen ergeben sich aus dem Kreislaufwirtschaftsrecht (Abfallbegriff, Abfalleigenschaft, Ende der Abfalleigenschaft) <sup>[2]</sup>, dem Bodenschutzrecht (Vermeidung schädlicher Bodenveränderungen) <sup>[4],[33]</sup>, wasserrechtlichen Vorgaben (Schutz von Grund- und Oberflächengewässern) <sup>[34],[35]</sup> sowie immissionsschutzrechtlichen <sup>[6]-[8]</sup> und ggf. baurechtlichen Bestimmungen <sup>[36],[37]</sup>. In der Praxis ist daher eine Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden unerlässlich, insbesondere wenn innovative Verwertungswege verfolgt werden oder Unsicherheiten hinsichtlich der rechtlichen Einordnung bestehen.

**6. Wirtschaftliche und logistische Kriterien:** Die Realisierbarkeit einer Verwertungsoption wird maßgeblich durch wirtschaftliche und logistische Aspekte bestimmt. Hierzu zählen insbesondere die Entwässerungskosten, die Transportentfernungen, ggf. anfallende Lagerkosten, der Behandlungsaufwand inkl. der Behandlung abgehender Stoffströme (Abwasser, Abluft, Reststoffe), die Marktgängigkeit des angestrebten Endprodukts sowie sämtliche Analysen-, Monitoring-, Überwachungs-, Genehmigungs-, Produktzulassungs- und sonstige Compliancekosten. Grundsätzlich gilt, dass nur standortnahe Verwertungskonzepte ökonomisch tragbar sind und die Kosten für mögliche Aufbereitungsverfahren in der Regel nicht höher sein dürfen als die Entsorgungskosten. Es ist nahezu ausgeschlossen, die Kosten für den gesamten Verwertungsweg mit dem Erlös aus einem aus Baggertgut hergestellten Rohstoff oder Produkt zu decken. Das realistische Ziel muss daher lauten, die Verwertungskosten abzüglich des Erlöses kleiner als die Entsorgungskosten zu halten. Dazu bedarf es einer ganzheitlichen Kosten-Nutzen-Analyse. In die Entscheidung sind neben der ökonomischen Bilanzierung auch die Verfügbarkeit von Deponiekapazitäten sowie ökologische Aspekte der Aufbereitung – inklusive Lebenszyklusanalysen der Produkte – einzubeziehen. Zudem ist der abfallwirtschaftliche Grundsatz „Verwertung vor Beseitigung“ zu beachten (§ 6 (1) KrWG <sup>[2]</sup>).

**Zusammenfassend** ist die Verwertung von Baggertgut ein interdisziplinärer Bewertungsprozess, der materialwissenschaftliche, umweltchemische, technische, rechtliche und ökonomische Aspekte integriert. Eine tragfähige Entscheidungsgrundlage entsteht erst durch die systematische Zusammenführung aller genannten Kriterien unter Berücksichtigung des konkreten Standorts und der vorgesehenen Nutzung. Nur so kann sichergestellt werden, dass eine Verwertungsmaßnahme sowohl umweltverträglich als auch technisch sinnvoll und wirtschaftlich tragfähig ist. Zur Orientierung sind die grundlegenden Entscheidungskriterien hinter den wahrscheinlichsten Verbringungsweegen für Baggertgut in geclusterter Form in Tabelle 4 aufgeführt. Dabei bleibt die Verwertung werthaltiger Elemente (z. B. Cu, Zn, Pb) unberücksichtigt, die als Nebenprodukte bei der Dekontamination anfallen würden. Die Wertstoffe können nur durch teure thermische oder nasschemische Verfahren in Form von Metalloxiden oder Metallsalzen vom

Baggergut abgetrennt und durch selektive Fällungsreaktionen, Ionenaustausch, Adsorption, Elektrolyse, verschiedene Membranverfahren oder Flüssig-Flüssig-Extraktionsverfahren zur weiteren Verarbeitung hinreichend aufkonzentriert werden. Spezialisierte Scheideanstalten kaufen derartige Konzentrate mit Mindestwertstoffgehalten, die ungefähr den Angaben in Anlage 1 zu § 3 VersatzV <sup>[13]</sup> entsprechen, abzüglich der Aufwendungen für den Behandlungsprozess und die Entsorgung für die weitgehend unverwertbaren Elemente (z. B. As, Hg, Cd).

**Tabelle 3.** Klassifizierung von Kriterien zur Verwertung von Baggergut

<i>1. Stoffliche / materialbezogene Kriterien</i>		
<b>Physikalische Eigenschaften</b> - Korngrößenverteilung (→ Ton, Schluff, Sand, Kies) - Wassergehalt, Konsistenz - Dichte - Porosität - Plastizität, Verdichtbarkeit - Setzungsverhalten - Tragfähigkeit - Wasserdurchlässigkeit (k <sub>r</sub> -Wert)	<b>Chemische Eigenschaften</b> - Mineraliengehalt - Feststoffgehalt und Mobilisierbarkeit von Metall(oid)en und organischen Verbindungen - Salzgehalt, Konzentration von Härtebildnern - pH-Wert	<b>Biologische Eigenschaften</b> - Organischer Kohlenstoffgehalt (TOC, Total Organic Carbon) - Nährstoffe (z. B. N, P, K) - Mikrobiologische Aktivität, - Pflanzenverträglichkeit, Phytotoxizität, - Ggf. Belastung mit Pflanzen/Samen invasiver Arten
Eignungskriterien für Verwertung von Baggergut in Deichkernen, Dämmen oder Straßenunterbau sowie für Rekultivierungsmaßnahmen oder zur Herstellung von Pflanzsubstraten	Ausschluss-/Einschränkung für bestimmte Verwertungswege (z. B. nach Tab. 3 und 4 in Verbindung mit Tab. 5 bis 8 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup> ), Erfordernis von schadstoffmobilisierender oder immobilisierender Aufbereitung, ggf. auch Vermischung	Relevanz für Verwertung von Baggergut zur Rekultivierung, Renaturierung oder Bodenverbesserung
<i>2. Belastungs- und Risikokriterien</i>		
Schadstoffklassifizierung nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup> , BBodSchV <sup>[4]</sup> , DepV <sup>[32]</sup>	Mobilisierungs-/Freisetzungsrisiko	
- unbelastet bis gering belastet - mäßig belastet - hochbelastet	- Eluierbarkeit von Schadstoffen - Verhalten bei Benetzung des Materials mit Wasser (z. B. pH-Wert-Absenkung durch Oxidation von Sulfid und Mobilisierung von Metall(oid)en) - Langzeitverhalten (Stabilität der Schadstoffe, Abbauverhalten)	
Entscheidung: (1) Material ohne Aufbereitung verwertbar, (2) Verwertbar nach Behandlung, (3) Eingeschränkt verwertbar nach Behandlung (hydraulisch gebunden) oder (4) Entsorgung (mit oder ohne Vorbehandlung)		
<i>3. Technisch-funktionale Kriterien</i>		
<b>Bautechnische Eignung</b> - Tragfähigkeit (Straßenunterbau, Dämme) - Erosionsbeständigkeit - Frost-/Tauwechselbeständigkeit - Langzeitstabilität	<b>Ökologische Funktionalität</b> - Bodenbildungsfähigkeit - Wasserspeicherung, Wasserdurchlässigkeit - Nährstoffgehalt, Nährstoffverfügbarkeit - Vegetationsentwicklung	
Nutzungscluster: (1) Technischer Einsatz im Bau (Straßen, Dämme, Deiche), (2) Einsatz zur Rekultivierung bzw. Landschaftsbau, (3) Landwirtschaftliche Nutzung, (4) Material für Renaturierungsmaßnahmen, (5) keramische Anwendungen		
<i>4. Behandlungskriterien</i>		
- Entwässerung oder ggf. weitergehende Trocknung - Siebung, Sortierung, Korngrößenfraktionierung	- Chemische Schadstoffimmobilisierung durch Kalk- oder Zementzugabe und ggf. Vermischung mit weiteren Zuschlägen - Chemische Mobilisierung (Säure, Laugen, Komplexbildner) oder Schadstoffzerstörung (durch Oxidationsmittel wie z. B. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> oder Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	- Biologische Behandlung zur Erhöhung oder Verminderung des TOC oder des Nährstoffgehalts, zum Schadstoffabbau oder zur Reifung bzw. Kompostierung - Thermische Behandlung zur Mobilisierung (Austreiben von Schadstoffen) oder Immobilisierung (z. B. Verglasung)
Eingriffsintensität: (1) Keine Aufbereitung/Behandlung, (2) Einfache mechanische Aufbereitung, (3) Chemisch-technische Stabilisierung, (4) Komplexe, ggf. mehrstufige chemische, biologische, physikalische (thermische) Behandlung erforderlich		
<i>5. Rechtliche und regulatorische Kriterien</i>		
- Genehmigungsfähigkeit des Verwertungsweges - Abfallbehandlungsanlage im Sinne der 4. BImSchV <sup>[7]</sup> ? - Zweckbindung einer Anlage? - Anlagendurchsatz	- Erreichen/Einhaltung von Grenzwerten - Überführung des Abfallstatus zu Produkt bzw. Rohstoff - Bildung von Nebenprodukten - Anwendung oder Anfall von Gefahrstoffen - Aufbereitung von Abwasser und/oder Prozessgasen erforderlich? - Dokumentations- und Überwachungspflichten	
Genehmigung erforderlich? → (1) Genehmigungsfrei, (2) Genehmigungspflichtig, (3) Sonderabfall zur Beseitigung		
<i>6. Wirtschaftliche und logistische Kriterien</i>		
- Transportentfernung - Entwässerungs-/Aufbereitungskosten	- Flächenverfügbarkeit - Saisonale Abhängigkeiten	- Nachfrage nach Rohstoffen oder Produkten und mögliche Erlöse
Entscheidung: (1) Wirtschaftlich utopisch (Erlöse > Kosten für Verwertung), (2) Ökonomisch/ökologisch vertretbar (Kosten für Verwertung < Kosten für Entsorgung), (3) Unwirtschaftlich (keine Verwertung sinnvoll)		

**Tabelle 4.** Clusterung möglicher Verbringungswege von Baggergut nach grundlegenden Kriterien

Verwendung	Verwendung	Verwendung	Verwertung	Verwertung
Verbringungsweg A1	Verbringungsweg A2	Verbringungsweg B	Verbringungsweg C	Verbringungsweg D
Mineralischer Ersatzbaustoff	Bodennah	Min. Ersatzbaustoff	Bauproduktherstellung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine oder nur geringe anorganische und organische Belastung, keine oder kaum nachweisbare Schadstoffmobilität</li> <li>- Geringer Feinkornanteil (außer für dichtende Baukonstruktionen)</li> <li>- Ausreichende geotechnische Eigenschaften</li> <li>- Geringer Erlös, daher nur bei kurzem Transportweg sinnvoll</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mäßige Belastung, geringe Schadstoffmobilität</li> <li>- Geringer Feinkornanteil</li> <li>- Ausreichende geotechnische Eigenschaften</li> <li>- Kein Erlös bis negativer Erlös erzielbar, daher nur bei sehr kurzem Transportweg sinnvoll</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine oder nur sehr geringe Belastung</li> <li>- Organik- und nährstoffreich (mindestens ein Parameter besser als am Einbringungsort)</li> <li>- Überwiegend mittlere Korngrößen (ähnlich dem Einbringungsort)</li> <li>- Nachweisbarer Nutzen, keine Bodenschädlichkeit</li> <li>- Keine Phytotoxizität</li> <li>- Kein Erlös erzielbar, daher nur bei sehr kurzem Transportweg sinnvoll</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringe bis mäßige Belastung und Schadstoffmobilisierbarkeit nach einer mechanischen und/oder chemisch-physikalischen/biologischen Behandlung bzw. Stabilisierung</li> <li>- Geringer Feinkornanteil</li> <li>- ausreichende geotechnische Eigenschaften</li> <li>- Kaum Erlös erzielbar, Kosten der Aufbereitungsschritte müssen günstiger als Entsorgung sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringe bis mäßige Belastung mit Metall(oid)en, sehr geringe Belastung mit Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> und Organik aller Art nach einer mechanischen Behandlung</li> <li>- Zumeist geringer Feinkornanteil</li> <li>- ausreichende baustofftechnische Eigenschaften</li> <li>- keine bis sehr geringe Schadstoffmobilisierbarkeit im Produkt</li> <li>- Wirtschaftlichkeit der Herstellung</li> <li>- Produkt erfüllt Anforderungen der Bauproduktenverordnung</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Rohstoffsubstitution im Straßenunterbau</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> im Dammbau</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> im Lärmschutzwall</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> bei Verfüllungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Hydraulisch gesicherter Einbau als Füllstoff außerhalb von Wasserschutzgebieten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Rekultivierung</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Bodenverbesserer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Einsatzmöglichkeiten wie Typ A1 oder ggf. Typ A2</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximal 20% Beimengungen zu</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Mörtel</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Zement</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Beton, Betonteile</li> </ul>
Verwertung	Verwertung	Verwertung	Verwertung	Entsorgung
Verbringungsweg E	Verbringungsweg F1	Verbringungsweg F2	Verbringungsweg F3	Verbringungsweg G
Hintermauerziegel	Bodennah			nicht nutzbar
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringe Belastung thermisch mobilisierbarer Elemente (S, F, Hg) bis hohe Belastung anderer Metall(oid)e</li> <li>- Hoher Tonanteil, sehr geringer Anteil an Grobkornfraktionen</li> <li>- Sehr geringer Stör- und Fremdstoffanteil (Äste, Geröll o. Ä.)</li> <li>- Entwässerbarkeit des Materials auf &lt; 50 % Wassergehalt</li> <li>- Hoher natürlicher Organikanteil günstig für Porosierung und CO<sub>2</sub>-Bepreisung</li> <li>- Ausreichende Materialverfügbarkeit für mindestens zwei Jahre</li> <li>- Kurzer Transportweg</li> <li>- Produkt erfüllt Anforderungen der Bauproduktenverordnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine oder nur geringe Belastung nach einer mechanischen Behandlung</li> <li>- Aufbereitung durch Zusatz von organik- und/oder nährstoffreichen Komponenten (z. B. Kompost, Dünger)</li> <li>- Verbesserung der Bodeneigenschaften nachweisbar</li> <li>- Keine schädlichen Bodenveränderungen</li> <li>- Keine Phytotoxizität bzw. Wachstumshemmung</li> <li>- Erlös erzielbar, Beachtung des gesamten Kosten-/Nutzen-Verhältnisses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine oder nur geringe Belastung nach einer schadstoffmindernden Behandlung</li> <li>- Aufbereitung durch Zusatz von organik- und/oder nährstoffreichen Komponenten (z. B. Kompost, mineralischer Dünger)</li> <li>- Verbesserung der Bodeneigenschaften nachweisbar</li> <li>- Keine schädlichen Bodenveränderungen</li> <li>- Keine Phytotoxizität bzw. Wachstumshemmung</li> <li>- Wirtschaftlichkeit nur bei sehr kostengünstigen Chemikalien und ausreichender Wirksamkeit (z. B. saurer Komplexbildner Citronensäure)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Höhere Belastung als Vorsorgewerte der BBodSchV<sup>[4]</sup>, aber geringere Belastung als am potenziellen Verbringungsort (Beurteilungswerte z. B. entsprechend der Ausweisung in Bodenplanungsgebieten wie im Freiburger Raum<sup>[38]</sup> oder bekannten Bodenanalysen)</li> <li>- Verschlechterungsverbot</li> <li>- Fachliche Begründung, dass mindestens eine Bodenfunktion (Wasserhaltefähigkeit, Nährstoffe, Pufferkapazität, Vegetationsentwicklung) verbessert wird</li> <li>- Negativerlös erwartbar, daher nur sehr kurze Transportwege sinnvoll</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Belastung oberhalb von Grenz-, Richt- oder Vorsorgewerten verschiedener Verordnungen</li> <li>- Aufbereitung/Behandlung ggf. auch unter dem Aspekt der Transportkosten und anderer logistischer Faktoren unwirtschaftlich</li> <li>- Keine Nachfrage (fehlende Akzeptanz) nach potenziell darstellbaren Produkten oder nur unzureichende Erlöse erwartbar</li> <li>- Deponiekapazitäten verfügbar</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Beimengungen von 5 bis 10 % Baggergut zu den anderen Rohstoffen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Einsatzmöglichkeiten wie Typ B</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Einsatzmöglichkeiten wie Typ B</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Eingeschränkter Einsatz im Außenbereich in Rekultivierungs- oder Landschaftsflächen (nicht jedoch in Teilflächen, wo Maßnahmen notwendig sind, z. B. nach § 8 in Verb. mit § 12 VO BPG Raum Freiberg<sup>[38]</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Deponierung in Abhängigkeit der Einstufung des Baggerguts in Deponieklassen nach § 6 DepV bzw. Tab. 1 und 2, Anhang 3 DepV<sup>[32]</sup></li> </ul>

## 4.2 Definition von Rahmenbedingungen für die Probenahme und Analytik anhand der verwertungsspezifischen Zielparameter (AS 1.4)

### 4.2.1 Definition der Anforderungen an die Probenahme (A 1.4.1)

Die sachgerechte Probenahme von Sedimenten in Gewässerstauhaltungen stellt eine zentrale Voraussetzung für die belastbare Beurteilung der stofflichen Zusammensetzung und der chemisch-physikalischen Eigenschaften von Baggergut dar. Die Beschaffenheit des Sediments kann v. a. bei größeren Staugewässern in horizontaler und vertikaler Richtung signifikant variieren. Hierzu ist das Probenahmekonzept im Hinblick auf die Repräsentativität der Analyseergebnisse anzupassen. Die Proben müssen den Zustand des später zu gewinnenden Baggerguts widerspiegeln. Das Konzept umfasst hierzu (i) eine fundierte Vorerkundung und Abgrenzung des Untersuchungsraums, (ii) eine an der geplanten Baggertiefe orientierte vertikale Beprobungsstrategie, (iii) den Einsatz geeigneter, normkonformer Probenahmetechniken sowie (iv) eine qualitätsgesicherte Probenhandhabung, Probenkonservierung und Dokumentation. Diese Vorgehensweise bildet die fachgerechte Grundlage für eine, in Verbindung mit den Analyseergebnissen, rechtssichere Bewertung der Materialklasse und Abfallklassifizierung. Darauf aufbauend kann eine fundierte Entscheidung über den Verbringungsweg abgeleitet werden. Für die Vorgehensweise ist vor allem die Norm ISO 5667-12:2017-07 <sup>[39]</sup> („Wasserbeschaffenheit – Probenahme – Teil 12: Anleitung zur Probenahme von Sedimenten aus Fließgewässern, Seen und Ästuarbereichen“) relevant. Sie gibt konkrete Anleitung zur Probenahmestrategie, der zu verwendenden Probenahmetechnik, der Probenahmedurchführung und den Probentransport. Ergänzend sind auch weitere Teile der ISO-5667-Reihe <sup>[39]</sup> (z. B. Aufstellen von Probenahmepläne, Probenahmetechniken, Probenkonservierung) zu berücksichtigen. Weitere Hinweise sind in einschlägigen Merkblättern <sup>[1]</sup> und Leitfäden <sup>[40]</sup> zu finden. Tabelle 5 gibt einen zusammenfassenden Überblick zu den Anforderungen an die Probenahme.

**1. Horizontale Abgrenzung des Untersuchungsraums:** Die horizontale Abgrenzung des Untersuchungsraums hat sich an der hydromorphologischen und nutzungsbedingten Struktur der Stauhaltung zu orientieren. Sedimentationsprozesse werden durch Strömungsgeschwindigkeit, Turbulenz, Einträge aus Nebengewässern, punktuelle Einleitungen sowie dem Betriebsregime der Stauhaltung und einer evtl. stattfindenden Schifffahrt beeinflusst. Daher fordert die Norm ISO 5667-12:2017-07 <sup>[39]</sup> auch eine vorangestellte konzeptionelle Standortanalyse. In der Praxis wird der Untersuchungsraum in homogene Teilbereiche untergliedert, beispielsweise in Stauwurzelbereich (Zulauf), zentraler Beckenbereich, Uferbereiche und technische Bauwerksnähe (Ablauf, Grundablass). Die Festlegung der Beprobungspunkte kann systematisch (Rasterbeprobung), zufällig oder an der Materialbeschaffenheit orientiert (korngrößenabhängig, ggf. vorhandene Kontaminationshotspots) erfolgen. Für die spätere Verwertung von Baggergut ist insbesondere eine flächenrepräsentative Erfassung der Sedimentqualität erforderlich, da das Baggergut in der Regel großräumig entnommen und gemischt wird. Entsprechend empfiehlt sich zumeist die Bildung von Mischproben aus mehreren Einzelproben innerhalb eines homogenen Teilbereichs. Für die statistische Absicherung sollte die Anzahl der Einzelproben so gewählt werden, dass die räumliche Varianz der wesentlichen Parameter (z. B. Metall(oid)e, organischer Kohlenstoff, Korngrößenverteilung) erfasst wird. Zumeist sind drei bis fünf Einzelproben pro Mischprobe hinreichend.

**2. Vertikale Beprobungstiefe und Schichtung:** Sedimente in Stauhaltungen sind häufig geschichtet. In Abhängigkeit der Nutzungshistorie oder bestimmten Einzelereignissen (z. B. Hochwasser) können Sedimente aus unterschiedlichen Teufen unterschiedliche Kontaminationsgrade aufweisen. Liegen entsprechende Informationen vor, wäre u. U. durch eine selektive Baggerstrategie eine Anpassung der Teufenbereiche der Sedimentberäumung oder eine Trennung von verwertbarem und nichtverwertbarem Baggergut denkbar, um mögliche Kosten für eine Entsorgung zu vermindern und/oder die Verwertungsstrategie möglichst effizient zu gestalten. Die Norm ISO 5667-12:2017-07 <sup>[39]</sup> weist explizit darauf hin, dass die Probenahmetiefe mindestens den gesamten Tiefenbereich der geplanten Entnahmetiefe abzudecken hat. Für eine sichere Entscheidungsfindung ist, sofern möglich, die Beprobungstiefe etwas größer zu wählen (ca. + 0,5 m). Wenn es durch frühere Probenahmen Hinweise auf eine vertikale

Schadstoffschichtung gibt, sollte sich die neue Probenahme an den vertikalen Entnahmepunkten der vorhergehenden Beprobung orientieren oder sich an lithologisch bzw. farblich unterschiedlichen Horizonten ausrichten. Sofern keine Anhaltspunkte existieren, ist ein Entnahmeintervall von einer Probe pro 50 cm Tiefe sinnvoll. Ist die Sedimentschicht kleiner als 1 m, genügt eine integrale Beprobung über die gesamte Tiefe.

**Tabelle 5.** Planungsanforderungen an die Beprobung subhydrischer Sedimente

1. Horizontale Abgrenzung des Untersuchungsraums	2. Vertikale Beprobung und Schichtung	4. Probenahmetechnik
<p>Unterteilung der Stauhaltung in</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologisch homogene Abschnitte</li> <li>- Hydrodynamisch vergleichbare Bereiche</li> </ul> <p>→ Hieraus erfolgt die Festlegung der Probenahmebereiche</p> <p>Mindestens Trennung von</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zulaufbereich(en)</li> <li>- Zentrum, Stillwasserzonen</li> <li>- Uferbereiche</li> <li>- Auslauf, Ablass, Nahbereich zu Wehren oder Teichmönchen <sup>[40]</sup></li> </ul> <p>→ Drei bis fünf Einzelbeprobungen pro Abschnitt und Tiefe und Vereinigung zu einer Mischprobe je Tiefe (je nach Materialheterogenität auch abweichend); bei größeren Stauhaltungen gerasterte Beprobung und ggf. Verdichtung bei lokalen Verdachtsbereichen von Kontaminationen</p> <p>→ Probenvolumen von mindestens 10 l pro Einzelprobe <sup>[40]</sup> aufgrund des hohen Wassergehalts der Sedimente und den Anforderungen an die bodenmechanischen und chemisch-physikalischen Analysen (vgl. Tabelle 6)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beprobungstiefe muss sich an der geplanten, ggf. logistisch-technisch oder unter Umständen wirtschaftlich möglichen Baggertiefe orientieren zzgl. eines Sicherheitszuschlags (ca. + 0,5 m)</li> <li>- Schichtweise Beprobung bei Sedimentmächtigkeiten von &gt; 1 m u. U. sinnvoll, wenn es Hinweise auf Sedimentschichtungen mit unterschiedlichem Schadstoffinventar oder signifikant unterschiedlichen Konzentrationsniveaus gibt, die bspw. von Einzelereignissen, jahreszeitlichen Effekten oder signifikanten Vertikalströmungen durch Effluenz oder Infiltration von Grundwasser herrühren</li> <li>- Verwertungsweg orientiert sich nach der bodenmechanisch und chemisch-physikalisch ungünstigsten Schicht, wenn eine separate Ausbaggerung nicht dargestellt werden kann</li> </ul> <p>→ Empfehlung: Eine Beprobung pro 0,5 m Tiefe, bei bekannter Schichtung auch abweichend</p>	<p>Ziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Möglichst ungestörte Entnahme</li> <li>- Definierte Tiefenstufen</li> <li>- Reproduzierbare Ergebnisse</li> </ul> <p>Beispiele für einsetzbare Techniken:</p> <p>Bei geringer Wassertiefe (&lt; 0,5 m) oder Trockenlegung und Begehrbarkeit des Sediments:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schurf (bis 2,5 m Sedimenttiefe <sup>[41]</sup>) oder Stechzylinder (bis ca. 0,5 m Sedimenttiefe <sup>[42]</sup>)</li> <li>- Handbohrer (0,5 <sup>[42]</sup> bis maximal 2-3 m Sedimenttiefe <sup>[41]</sup>)</li> <li>- Rammkernsonde (bis 3 m Sedimenttiefe <sup>[43]</sup>)</li> </ul> <p>Bei Teileinstau und/oder fehlender Begehrbarkeit des Sediments und relativ weichen Sedimenten:</p> <p>Boots oder plattformgestützter Einsatz von z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwerkraft-Kernsonden (1-2 m <sup>[43],[44]</sup>, maximal bis 3 m <sup>[42]</sup> Sedimenttiefe)</li> <li>- Rammkernsonden (bis ca. 3 m Sedimenttiefe <sup>[43]</sup>)</li> <li>- Vibrationskernsonden (6 <sup>[43]</sup> bis 10 m <sup>[44]</sup> Sedimenttiefe)</li> </ul>
<p>- Bei geplanter Ausbringung des Baggers (Typ B und F) ist auch die Beprobung des Verlagerungsbereichs <sup>[1]</sup> im Rasterformat erforderlich</p>		<p>Stauhaltung im (Voll-)Einstau bzw. &gt; 3 m Wassertiefe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boots/plattformgestützter Einsatz von Kolbenkernsonden (bis ca. 2-4 m Sedimenttiefe <sup>[45],[46]</sup>, u. U. auch mehr <sup>[42],[43]</sup>)</li> <li>- tauchergestützt Linerkernbeprobungen, bei sehr geringen Sedimenthöhen auch Probenahme mit Greifern)</li> </ul>
3. Periodizität der Beprobung		
<p>- Für die Planung einer Baggergutentnahme ist eine mehrmalige Beprobung dann sinnvoll, wenn für den geplanten Verbringungsweg sehr hohe Qualitätsanforderungen an das Material bestehen (Baggergut B und F1) und es Hinweise auf starke saisonale Variationen bspw. aufgrund von Frühjahrsschmelze, starkem Pflanzenwachstum im Sommer oder landwirtschaftliche Einträge gibt oder ein singuläres Ereignis wie ein Hochwasser stattgefunden hat</p>		

**3. Periodizität der Beprobung:** Wenn anstelle einer einmaligen Sedimentberäumungsmaßnahme eine periodische Sedimententnahme geplant wird und Erkenntnisse vorliegen, dass zeitlich variierende Eintragsquellen durch Industrie und/oder Landwirtschaft, wiederkehrende oder singuläre hydrologische Ereignisse (Hochwasser, Niedrigwasser), Änderungen im Einzugsgebiet oder betriebliche Maßnahmen im Stauraum die Sedimentations- und Belastungssituation dynamisch beeinflussen bzw. beeinflusst haben, ist eine regelmäßige Wiederholungsbeprobung v. a. bei einer geplanten hochwertigen Verwertung des Baggerguts (z. B. als Bodenverbesserer) sinnvoll. Die zeitliche Frequenz sollte sich unter diesen Umständen an der Sedimentationsrate (soweit abschätzbar), der Belastungsdynamik (soweit bekannt) und der geplanten Baggerintervalle orientieren. Eine wiederkehrende Beprobung erlaubt auch eine Trendanalyse und Identifikation von Belastungszunahmen oder -abnahmen, was sowohl für die Optimierung der Entsorgungs- bzw. Verwertungsstrategie als auch für behördliche Genehmigungsverfahren von Bedeutung sein kann. Aus wissenschaftlicher Sicht erhöht eine systematische Zeitreihe die statistische Aussagekraft der Datenbasis und reduziert das Risiko fehlerhafter Einstufungen einzelner Baggerkampagnen aufgrund von singulären Ereignissen.

**4. Probenahmetechnik:** Die Auswahl der Probenahmetechnik richtet sich nach Wassertiefe, Sedimentkonsistenz und den analytischen Zielparametern. Die Norm ISO 5667-12:2017-07 <sup>[39]</sup> unterscheidet zwischen Oberflächenproben (z. B. Greifer) und Kernproben (z. B.

Sedimentstecher oder Kolbenkernsonden). Für oberflächennahe Sedimente in geringen Wassertiefen können Van-Veen- oder Ekman-Greifer eingesetzt werden. Diese Geräte eignen sich v. a. für die Beprobung der obersten, lockeren Sedimentschicht. Sie sind jedoch nur eingeschränkt geeignet, wenn zur Trennung einzelner Horizonte möglichst ungestörte vertikale Profile benötigt werden. Für vertikale Profiluntersuchungen empfiehlt die Norm die Verwendung von Sedimentkernsonden (z. B. Schwerkraftlot, Kolbenlot, Vibrocorer). Diese ermöglichen die Entnahme weitgehend ungestörter Sedimentkerne. Das verwendete Material sollte inert und hinreichend dimensioniert sein, um repräsentative Materialmengen für physikalische und chemische Analysen zu gewinnen (mindestens zehn Liter). Unmittelbar nach der Entnahme sind die Kerne zu dokumentieren (Fotodokumentation, Beschreibung der Schichtung), zu segmentieren und unter geeigneten Bedingungen zu lagern (z. B. gekühlt, lichtgeschützt). Ergänzend sind folgende Anforderungen an die Probenhandhabung und Qualitätssicherung zu beachten: Vermeidung von Kreuzkontamination, Minimierung der Sauerstoffexposition während der Probenahme (v. a. für die Bestimmung leichtflüchtiger organischer Schadstoffe, für redoxsensitive Parameter oder zur Vermeidung von Sulfidoxidation), Reinigung der Geräte zwischen den Probenahmen, Verwendung geeigneter Probengefäße (z. B. Glas für organische Schadstoffe) und Dokumentation der Probenahmebedingungen.

#### **4.2.2 Definition der Anforderungen an die Analytik zur Gewinnung richtiger, präziser und reproduzierbarer verwertungsrelevanter Zielparameter (A 1.4.2)**

##### **4.2.2.1 Verwertungsrelevante Zielparameter**

Die unterschiedliche Verbringungswege von Baggergut, wie in Tabelle 4 aufgeführt, setzen eine differenzierte Betrachtung verwertungsrelevanter Zielparameter voraus. Diese Zielparameter umfassen (1) schadstoffbezogene, (2) stoffliche, (3) chemisch-physikalische, (4) prozesstechnische sowie (5) biologische und ökologische Parameter und Umweltverhalten. Ihre systematische Erfassung und Bewertung bildet die Grundlage für die rechtssichere, technisch geeignete und ökologisch vertretbare Nutzung von Baggergut im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft. Tabelle 6 gibt hierzu einen Überblick über die spezifischen Analysenparameter.

**1. Schadstoffbezogene Parameter:** Dieses Kriterium entscheidet maßgeblich über die Zulässigkeit einzelner Verwertungswege. Die wichtigsten Parameter sind die Feststoff- und Eluatgehalte der Metall(oid)e Chrom (Cr), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Arsen (As), Cadmium (Cd), Quecksilber (Hg), Thallium (Tl) und Blei (Pb) ohne Charakterisierung der Bindungsformen sowie organische Schadstoffe, darunter hauptsächlich polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Kongenere polychlorierte Biphenyle (PCB). Für den Verbringungsweg als mineralischer Ersatzbaustoff in einem technischen Bauwerk (z. B. Straßen-, Wege-, Dammbau) sind die Materialwerte und die unter Berücksichtigung von Schutzgütern wie Boden und Grundwasser zulässigen Einbauweisen nach Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>) bindend. Demgegenüber findet die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV <sup>[4]</sup>) Anwendung, wenn Baggergut nicht in einem technischen Bauwerk, sondern ohne bautechnische Funktion bodenbezogen verwertet wird, etwa zur Geländeauffüllung (außerhalb der durchwurzelbaren Zone) oder zur Bodenverbesserung oder Rekultivierung (innerhalb der durchwurzelbaren Zone). Die BBodSchV <sup>[4]</sup> definiert dabei Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte für verschiedene Nutzungsszenarien (z. B. Wohnnutzung, Industrie- und Gewerbenutzung). In solchen Fällen stehen der Schutz des Bodens als Naturgut sowie die Vermeidung schädlicher Bodenveränderungen im Vordergrund. Wird Baggergut in einem normgerechten Bauprodukt (z. B. Beton, Zement oder Hintermauerziegel) verarbeitet und verliert dabei im Herstellungsprozess seine Abfalleigenschaft (§ 5 (1) KrWG <sup>[2]</sup>), unterliegt das Endprodukt primär dem Bauprodukterecht nach der Bauproduktenverordnung ((EU) Nr. 305/2011 <sup>[12]</sup>). Diese verweist auf Normen, nationale Regelungen oder auf Prüfungen des Freisetzungsverhaltens von Schadstoffen. Diese enthalten aber keine umfassenden umwelttoxikologischen Grenzwerte für Metall(oid)e im Feststoff. Indirekt ergeben sich jedoch Schadstoffgrenzwerte für das Baggergut während des Herstellungsprozesses beispielsweise durch die begrenzte Zulässigkeit von Schadstoffemissionen über die 4. BImSchV <sup>[7]</sup> und der Vollzugshilfe TA Luft <sup>[8]</sup>. Wenn Baggergut keine stoffliche (oder u. U.

energetische) Verwertung ohne das Erreichen der Abfalleneigenschaft erfährt, muss es entsorgt werden. Hier greifen die Grenzwerte für die Feststoff- und Eluatparameter nach der Deponieverordnung (DepV) zur Zuordnung der Deponieklasse <sup>[32]</sup>.

**2. Stoffliche Parameter:** Die stoffliche Parameter entscheiden zumeist über die technische Eignung von Baggergut. Die Korngrößenverteilung (Kies-, Sand-, Schluff- und Tonanteile) bestimmt Verdichtbarkeit, Tragfähigkeit und hydraulische Eigenschaften und ist insbesondere für den Einsatz als mineralischer Ersatzbaustoff oder Bauprodukt (z. B. Zement und Beton) von zentraler Bedeutung. Eine normgerechte Einstufung erfolgt hierbei nach der Normenreihe DIN EN 933 <sup>[47]-[54]</sup>. Für die Hintermauerziegelherstellung ist ein ausreichender Anteil toniger Fraktionen erforderlich, da diese das Formgebungs- und Sinterverhalten im Brennprozess beeinflussen. Die mineralogische Zusammensetzung, etwa der Anteil an Quarz, Feldspäten oder Tonmineralen, wirkt sich auf die thermische Reaktivität, das Schwindverhalten und die mechanische Festigkeit des Endprodukts aus (DIN EN 771-1:2015-11 <sup>[55]</sup>). Diese Parameter sind aber auch für die bodennahe Anwendung über die Auswirkung auf die Kationenaustauschkapazität, auf das Quell- und Schrumpfverhalten sowie auf die Nährstoffretention bedeutsam. Der organische Anteil beeinflusst sowohl die Eignung für Bauprodukte (wo er meist unerwünscht ist) als auch für bodennahe Anwendungen, bei denen humusbildende Eigenschaften vorteilhaft sein können.

**3. Chemisch-physikalische Parameter:** Diese Parameter ergänzen die Bewertung nach den Stoffparametern, indem sie das Reaktions- und Auslaugverhalten und darauf aufbauend die Verarbeitbarkeit charakterisieren. Der pH-Wert und die Säure-Base-Pufferkapazität bestimmen die Mobilität von Metall(oid)salzen und anderen Verbindungen. Hohe Salzgehalte, insbesondere Chloride und Sulfate, können bei der Bauproduktverwendung zu Korrosionsprozessen oder Ausblühungen führen. Für den Einsatz in zementgebundenen Baustoffen ist die Wechselwirkung mit dem Bindemittelsystem zu berücksichtigen. Erhöhte Salzgehalte können in der bodenbezogenen Verwertung phytotoxisch wirken oder zumindest das osmotische Gleichgewicht von Pflanzen beeinflussen. Das Auslaugverhalten wird standardisiert nach den Normen DIN EN 12457-2:2003-01 <sup>[56]</sup> oder DIN EN 12457-4:2003-01 <sup>[57]</sup> für körnige Materialien ( $\leq 4$  mm oder  $\leq 10$  mm) geprüft. Der Wassergehalt und die Konsistenz sind prozesstechnisch relevant, da Nasssedimente i. d. R. entwässert oder konditioniert werden müssen, bevor sie in Bauprozesse integriert werden können. Für die bodenbezogene Verwertung von Baggergut spielen die chemisch-physikalischen Parameter insgesamt in Bezug auf die Bodenfunktionen, das Stoffverhalten im Untergrund sowie die langfristige Umweltverträglichkeit (z. B. Mobilität von Schadstoffen, Nährstoffverfügbarkeit, mikrobielle Aktivität, Pufferwirkung usw.) eine wichtige Rolle.

**4. Prozesstechnische Parameter:** Diese Parameter betreffen die praktische Umsetzbarkeit eines Verwertungsweges. Hierzu zählen u. a. die Entwässerbarkeit, das Fließ- und Verdichtungsverhalten, die Mahlbarkeit sowie gegebenenfalls der Heizwert bei thermischen Behandlungsoptionen. Für die Hintermauerziegelherstellung ist das plastische Verhalten während der Formgebung sowie das Brennverhalten im Ofen maßgeblich. Für Zuschlagstoffe in Beton, Zement und Mörtel sind normative Vorgaben z. B. hinsichtlich der Erstarrungszeit und der Festigkeit zu erfüllen. Für die Dauerhaftigkeit von Beton ist insbesondere das Unterbinden der Alkali-Kieselsäure-Reaktion von höchster Bedeutung. Im Herstellungsprozess sind aber auch die Emissionswerte (neben Metall(oid)e auch Staub, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HF, HCl usw.) und ihre Zulässigkeit bedeutsam, ggf. sind auch die Grenzwerte im Abwasser und sonstige Reststoffe zu beachten.

**5. Biologische und ökologische Parameter, Umweltverhalten:** Diese Kriterien haben insbesondere bei bodennahen Anwendungen eine hohe Bedeutung. Hier sind neben chemischen Grenzwerten auch ökologische Wirkungsprüfungen relevant, etwa Phytotoxizitätstests oder Untersuchungen zur Beeinflussung der Bodenmikrobiologie. Optional können auch Langzeitbeobachtungen zur Persistenz und Bioverfügbarkeit von Schadstoffen erforderlich sein, um Sekundärbelastungen auszuschließen. Zusätzlich sind Organik- und Nährstoffgehalte im Hinblick auf das Pflanzenwachstum, aber auch hinsichtlich möglicher Eutrophierungsrisiken für angrenzende Gewässern relevant. Bei offenen technischen Anwendungen, beispielsweise im Erdbau, kann ebenfalls eine Prüfung biologischer Parameter und ggf. eine ökologische Bewertung erforderlich sein, um Auswirkungen auf das Grundwasser und angrenzende Ökosysteme zu beurteilen. Im Sinne einer ganzheitlichen Lebenszyklusanalyse – z. B. dem Cradle-to-Cradle-Designkonzept

[58] – ist entscheidend, dass Sekundärmaterialien wie Baggergut so eingesetzt werden, dass sie technische Kreisläufe nicht langfristig belasten. Damit wird das Umweltverhalten zu einem integralen Bestandteil der Produktentwicklung und Materialauswahl. Dabei sollen Materialien in technischen Kreisläufen verbleiben, Schadstoffe eliminiert und die Recyclingfähigkeit im Designprozess berücksichtigt werden.

**Tabelle 6.** Verwertungsspezifische Analyseparameter

Mineralischer Ersatzbaustoff	Bauprodukt-herstellung	Hintermauerzie- gelherstellung	Bodennahe Anwendungen	Entsorgung
<b>1. Schadstoffbezogene Parameter</b>				
<input checked="" type="checkbox"/> Technisches Bauwerk (Straßenbau, Dämme, Wälle) → Tab. 3 und 4 ErsatzbaustoffV [3]	<input checked="" type="checkbox"/> DIN 4226-101:2025-11 [9] <input checked="" type="checkbox"/> Eluat nach DIN EN 12457-2 [56] /-4 [57] (bei Baustoffeinsatz im Tief- oder Wasserbau) <input checked="" type="checkbox"/> Indirekt Schadstoffe in TA Luft, Anlage 5.4.2.3 [8]	<input checked="" type="checkbox"/> Indirekt Schadstoffe in TA Luft, Anlage 5.4.2.10 [8]	<input checked="" type="checkbox"/> Außerhalb der durchwurzelbaren Zone (Geländeauffüllung) oder innerhalb der durchwurzelbaren Zone (Bodenverbesserer) → Anlage 1 BBodSchV [4], optional weitere Schadstoffe bei Verdacht	<input checked="" type="checkbox"/> § 6 (1a) DepV [32] → Tab. 3 und 4 ErsatzbaustoffV [3] → Abfallschlüssel nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV) [59] <input checked="" type="checkbox"/> Anhang 3, Tab. 2 DepV [32] (→ Deponieklassen DK0, I, II, III)
<b>2. Stoffliche Parameter</b>				
2.1 Korn- und Gefügeeigenschaften - Korngrößenverteilung, Schluff- und Tonanteil - Bodenart - Einordnung als bindig/nicht bindig - Fremdstoffanteil - Kornform, Kornrauigkeit - Organik, Glühverlust - Kornrohddichte - Schüttdichte - Wassergehalt - Farbe - Geruch - Homogenität	2.2 Konsistenz und Plastizität - Atterberg-Grenzen - Konsistenzzahl - Schrumpf- und Quellverhalten - Trocknungsschwindung - Trocknungsgeschwindigkeit - Rissbildung bei Trocknung	2.3 Mechanisch/bau- stoffl. Eigensch. - Druckfestigkeit - Scherfestigkeit - Kompressions-/ Konsolidierungseigenschaften - Setzungsneigung, Proctordichte - Reibungswinkel, Kohäsion - Abrieb - Frostempfindlichkeit - Frost-Tau-Beständ. - Wasseraufnahme - Porosität - Maßhaltigkeit - Formstabilität - Wärmeleitfähigkeit	2.4 Mineralogie - Mineralphasen - Tonminerale - Quarzgehalt (SiO <sub>2</sub> ) - Carbonate - Feldspäte - Eisenminerale - Sulfide - CaO - K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O - MgO - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - TiO <sub>2</sub> - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.5 Wasserhaushalt - Feldkapazität - Nutzbare Feldkapazität - Wasserhaltevermögen - Durchlässigkeit, Infiltration - Staunässeneigung
<input checked="" type="checkbox"/> 2.1 <input checked="" type="checkbox"/> 2.3	<input checked="" type="checkbox"/> 2.2 <input checked="" type="checkbox"/> 2.4	<input checked="" type="checkbox"/> 2.1 <input checked="" type="checkbox"/> 2.3 <input checked="" type="checkbox"/> 2.4	<input checked="" type="checkbox"/> 2.1 <input checked="" type="checkbox"/> 2.2 <input checked="" type="checkbox"/> 2.3 <input checked="" type="checkbox"/> 2.4 <input checked="" type="checkbox"/> 2.5	<input checked="" type="checkbox"/> 2.1 <input checked="" type="checkbox"/> 2.3
<b>3. Chemisch-physikalische Parameter</b>				
3.1 Standardparameter - pH-Wert - Elektrische Leitfähigkeit - Redoxpotenzial - Säure-/Basepotenzial - Pufferkapazität - Kationenaustauschkapazität	3.2 Korrosive Spezies, Salze und Kohlenstoff - Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) - Chlorid (Cl <sup>-</sup> ) - Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) - Carbonat/Hydrogencarbonat (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) - DOC, TOC, Gesamtkohlenstoff - Wasserlösliche Salze	3.3 Sonstige Parameter - Glühverlust (LOI) - Huminstoffe - Öl-/Fettgehalt - Metall(oid)bindung		
<input checked="" type="checkbox"/> 3.1 <input checked="" type="checkbox"/> 3.2	<input checked="" type="checkbox"/> 3.1 <input checked="" type="checkbox"/> 3.2 Optional 3.3	<input checked="" type="checkbox"/> 3.2	<input checked="" type="checkbox"/> 3.1 <input checked="" type="checkbox"/> 3.2	<input checked="" type="checkbox"/> 3.1 <input checked="" type="checkbox"/> 3.2
<b>4. Prozesstechnische Parameter</b>				
4.1 Alkali-Kieselsäure-Reaktion - Reaktive Kieselsäure - Petrographische Analyse - Mörtelstabtest	4.2 Bindemittelreaktivität - Erstarrungszeit - Früh- und Endfestigkeit - Wasseranspruch - Adsorption von Zusatzmitteln	4.3 Thermische Parameter - Wassergehalt (Trocknungsenergie) - Entwässerbarkeit - Schwindung - Brennwert (Organik) - Emissionen (Staub, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , HF, HCl, Hg, ggf. auch As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) - Ascheverhalten		
Optional 4.2	<input checked="" type="checkbox"/> 4.1 <input checked="" type="checkbox"/> 4.2 <input checked="" type="checkbox"/> 4.3	<input checked="" type="checkbox"/> 4.3		
<b>5. Biologische und ökologische Parameter und Umweltverhalten</b>				
5.1 Biologische Parameter - Humusgehalt - N, P, K, Mg, Ca, S, Mikronährstoffe - S <sup>2-</sup> , FeS, FeS <sub>2</sub> - Mikrobiol. Aktivität, ggf. Methanbildung	5.2 Ökologische/ökotoxikolog. Parameter - Phytotoxizität, ggf. akute Toxizität im Rahmen von Sedimentkontakttests - Keimversuche, Wuchstests - Salz- und Metall(oid)toleranz	5.3 Recyclingfähigkeit - Cradle to cradle [58]		
Optional 5.1	<input checked="" type="checkbox"/> 5.3	<input checked="" type="checkbox"/> 5.3	<input checked="" type="checkbox"/> 5.1 <input checked="" type="checkbox"/> 5.2	

#### 4.2.2.2 Anforderungen an die Analytik

Die Aussagekraft der verwertungsspezifischen Analyseparameter hängt neben der Qualität der Probenahme (Kap. 4.2.1) auch von der Qualität der Analytik (inkl. Probenaufbereitung, Messverfahren, Normenbezug und Qualitätssicherung) ab. Die präzise und reproduzierbare Analytik von Baggergut gewährleistet die fundierte Bewertung der Umwelt- und Verwertungseignung entsprechend der (1) schadstoffbezogenen, (2) stofflichen, (3) chemisch-physikalischen, (4) prozesstechnischen sowie (5) biologischen und ökologischen Parameterklassen. Die analytische Bestimmung selbst muss nach validierten Verfahren erfolgen, wobei Laboratorien i. d. R. nach DIN EN ISO/IEC 17025 <sup>[60]</sup> akkreditiert sind. Diese Norm fordert u. a. die Bestimmung von Messunsicherheiten, regelmäßige Kalibrierungen, interne Qualitätskontrollen sowie die Teilnahme an Ringversuchen. Die Präzision wird durch Wiederhol- und Vergleichsmessungen quantifiziert, während die Richtigkeit durch Referenzmaterialien und methodische Validierungen abgesichert wird. Einen Kurzüberblick zu den bei der Analytik zu beachtenden Anforderungen in Verordnungen, Normen und Regelwerken gibt Tabelle 7.

**1. Schadstoffbezogene Parameter:** Für die Feststoff- und Elutionsanalyse werden Metall(oid)e nach ISO- und DIN-EN-Methoden überwiegend mit der Atomabsorptionsspektroskopie oder der induktiv gekoppeltem Plasmaspektroskopie (optische Emissionsspektrometrie oder Massenspektrometrie) bestimmt. Organische Schadstoffe lassen sich mittels Gas- oder Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit jeweils geeigneter Detektion analysieren. Die dabei zu berücksichtigenden Normen sind in Anlage 5 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, Anlage 3 und 4 BBodSchV <sup>[4]</sup> sowie Anhang 4 DepV <sup>[32]</sup> zu finden.

**2. Stoffliche Parameter:** Die Reproduzierbarkeit und Homogenisierung von Baggergutproben sind i. d. R. der kritischste Part, da die Sedimente horizontal und schichtabhängig heterogen strukturiert sein können. Die Probenaufarbeitungs- und Analysenprozeduren erfolgen weitestgehend über standardisierte Methoden. Beispielhaft seien die Gesteinskornanalysen aus der DIN-EN-933er-Serie <sup>[47]-[54]</sup> genannt.

**3. Chemisch-physikalische Parameter:** Die wichtigsten chemisch-physikalischen Analyseparameter bei der Verwertung von Baggergut sind beispielsweise das Auslaugverhalten, der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit bzw. der Salzgehalt, die Kationenaustauschkapazität sowie das Redoxpotenzial. Die Qualität der Bewertung hängt von der normgerechten Probenahme, der standardisierten Probenvorbereitung, der richtigen und präzisen Gerätekalibrierung und der Berücksichtigung von Messunsicherheiten und Vergleichsmessungen ab. Wichtige Normen sind beispielsweise: DIN EN 12457-2:2003-01 <sup>[56]</sup> /-4:2003-01 <sup>[57]</sup> (Elutionsverhalten), DIN EN ISO 10390:2022-08 <sup>[61]</sup> (pH-Wert), DIN EN 27888:1993-11 <sup>[62]</sup> (elektrische Leitfähigkeit), DIN EN ISO 11260:2018-11 <sup>[63]</sup> (Kationenaustauschkapazität) oder DIN ISO 11271:2023-11 <sup>[64]</sup> (Redoxpotenzial). DIN 19731:2023-10 <sup>[65]</sup> konkretisiert dabei den Umgang mit Baggergut.

**4. Prozesstechnische Parameter:** Diese betreffen die Verarbeitungseigenschaften des Materials, z. B. Wassergehalt, Trockenrückstand, Plastizität, Verdichtbarkeit oder Korngrößenklassierung für die Einbindung in Beton oder Ziegel. Die Analytik erfordert standardisierte Prüfverfahren, die reproduzierbare Vergleichswerte liefern, wie beispielsweise DIN EN 206:2021-06 <sup>[10]</sup> für Beton oder DIN EN 771-1:2015-11 <sup>[55]</sup> für Hintermauerziegel. Für mineralische Ersatzbaustoffe sind auch Regelwerke der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen relevant <sup>[66],[67]</sup>. Neben der Analytik ist die Herstellung der Chargenhomogenität das wichtigste Kriterium für eine verlässliche Bewertung des Materials.

**5. Biologische und ökologische Parameter, Umweltverhalten:** Die Parameter sind überwiegend für bodennahe Anwendungen von Bedeutung. Übergeordnet werden dazu in DIN 19639:2019-09 <sup>[68]</sup> bzw. DIN 18915:2018-06 <sup>[69]</sup> Handlungsanleitungen und Anforderungen formuliert. Die Bestimmung relevanter Einzelparameter ist ebenfalls normiert, z. B. die Bestimmung der mikrobiologischen Aktivität (DIN EN ISO 14240-1:2011-09 <sup>[70]</sup>), das Wurzelwachstum (DIN EN ISO 11269-1:2013-03 <sup>[71]</sup>) oder toxikologische Effekte auf Bodenorganismen (DIN EN ISO 11268-1:2015-11 <sup>[72]</sup>). Einige weitere Normen sind noch im Entwurfsstadium <sup>[73]</sup>. Diese betreffen v. a. methodische Weiterentwicklungen und Harmonisierung. Für die Bestimmung des Umweltverhaltens im Sinne des Cradle-to-Cradle-Designkonzepts gibt es eine

privatwirtschaftliche Zertifizierung [58], aber keine eigenständige Norm. Grundlagen sind aber zum Teil genormte Bausteine, wie z. B. die Ökobilanzierung (DIN EN ISO 14040:2021-02 [74]) und Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte (DIN EN 15804:2022-03 [75]).

**Tabelle 7.** Verwertungsspezifische rechtliche Grundlagen, Normen und Regelwerke (Auszug)

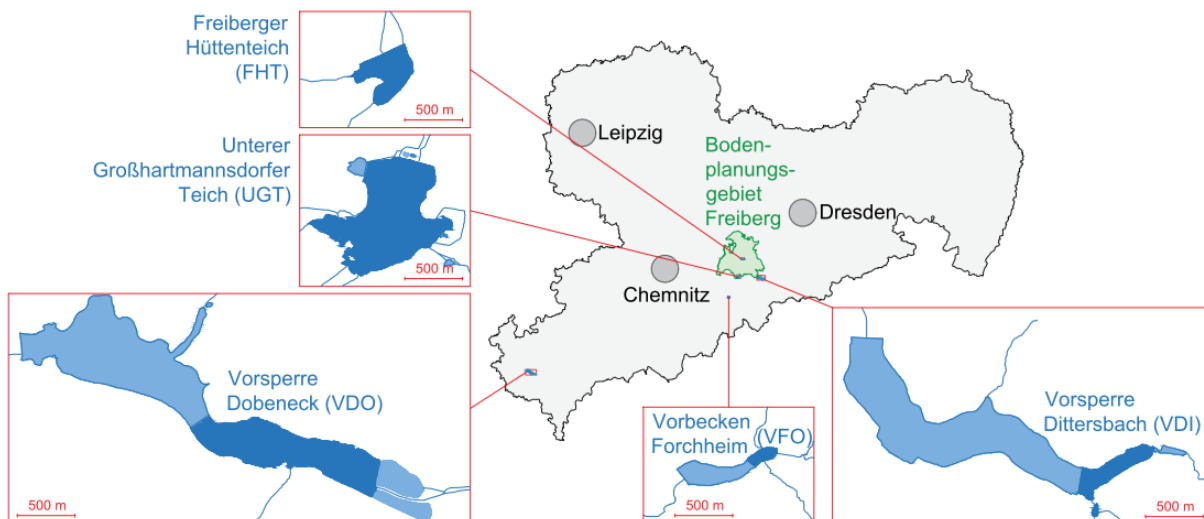
<i>Mineralischer Ersatzbaustoff</i>	
Anlage 5 ErsatzbaustoffV [3]	- Analytische Normen
DIN 19528:2023-07 [76]	- Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen (Schad-)Stoffen (Anlage 4, Tab. 2 ErsatzbaustoffV [3])
DIN EN 13286-47:2022-01 [77]	- Bodenmechanische Prüfung der Tragfähigkeit und Festigkeit (CBR-Versuche)
DIN EN 933-1:2012-03 [47]	- Prüfverfahren aus Waschen und Trockensiebung, Korngrößenverteilung
DIN 19731:2023-10 [65]	- Untersuchung, Eignungsprüfung, Bewertung und Verarbeitung von Bodenmaterial und Baggergut für Verwertungsmaßnahmen - Anforderungen an physikalische und chemische Eigenschaften
DIN 18196:2023-02 [78]	- Klassifizierung von Bodenproben - Bodenarten, Korngrößen - plastische Eigenschaften, Scherfestigkeit, Zusammendrückbarkeit, Erosionsempfindlichkeit usw. - Beurteilung bautechnische Eignung
RAL-GZ 507:2023-04 [79]	- Güte- und Prüfbestimmungen für die Herstellung, Transport und den Einbau aus Flüssigboden, der aus natürlichem Boden, Baggergut oder anderen Recyclingmaterialien und Zuschlagstoffen produziert wird
FGSV-Regelwerke: TL BuB E-StB [66] (→ Stoffliche Beschreibung der Lieferung) ZTV E-StB 17 [67] (→Ausführung)	- Definiert technische Kriterien bzw. bautechnische Anforderungen an Materialien für den Erd- und Dammbau, bei Verfüllungen, Geländemodellierung, Straßenbau (z. B. Verdichtbarkeit, Tragfähigkeit, Körnung, Einbaugrenzen) - Prüfungen und Prüfverfahren für Materialien im Erdbau, Nachweisführung - Qualitätssicherungsvorgaben, Eigen- und Fremdüberwachung, Eignungs- und Konformitätsnachweise, Liefernachweise, Dokumentationspflichten
<i>Bauproduktherstellung</i>	
DIN EN-933-1:2012-03 [47]	- Siehe mineralischer Ersatzbaustoff
DIN EN 933-3:2012-04 [48] DIN EN 933-4:2015-01 [49] DIN EN 933-5:2023-01 [50] DIN EN 933-6:2023-03 [51] DIN EN 933-8:2015-07 [52] DIN EN 933-9:2022-04 [53] DIN EN 933-11:2011-05 [54]	- Bestimmung der Kornform, Anteil gebrochene/runde Körner, Fließkoeffizient, Feinanteile, Sandäquivalentwert, Methylenblauverfahren, Anteil rezyklierter Gesteinskörnungen - Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften und Beeinflussung der Verarbeitbarkeit des Materials
DIN EN 12620:2008-07 [11]	- Anforderungen an rezyklierte Gesteinskörnungen als Betonzuschlagstoff
DIN EN 206:2021-06 [10] DIN 1045-2:2023-08 [80] DAFStB-Richtlinie [81]	- Anforderungen an Betonausgangsstoffe, Einschränkungen für Betonzusammensetzung, Eigenschaften von Beton, Produktionskontrolle, Prüfverfahren, Konformitätskriterien
DIN EN 197-1:2011-11 [82]	- Mechanische, physikalische und chemische Eigenschaften und Anforderungen an Bestandteile unterschiedlicher Zementarten, Konformitätskriterien, Anforderungen an Dauerhaftigkeit
DIN EN 998-1:2017-02 [83] DIN EN 998-2:2017-02 [84]	- Anwendungseigenschaften und Leistungsanforderungen an Mörtel im Putz-/Mauerwerksbau, Verweise auf Prüfverfahren
DIN EN 15804:2022-03 [75] (EU) Nr. 305/2011 [12]	- Produktkategorieeregeln für Typ-III-Umweltdeklarationen für Bauprodukte - Verordnung zum Inverkehrbringen und zur Vermarktung von Bauprodukten - Regelung der Leistungsbeschreibung von Bauprodukten (Declaration of Performance), wesentliche Merkmale, Grundanforderungen, verpflichtende CE-Kennzeichen, Verantwortlichkeiten von Herstellern und Händlern
<i>Hintermauerziegelherstellung</i>	
DIN EN 771-1:2015-11 [55] DIN 20000-401:2017-01 [85]	- Leistungsanforderungen an tonbasierte Mauersteine und Prüfverfahren: u. a. Beständigkeit, Druckfestigkeit, lösliche Salze und gefährliche Stoffe
DIN EN 15804:2022-03 [75] (EU) Nr. 305/2011 [12]	- Siehe Bauproduktherstellung - Siehe Bauproduktherstellung
<i>Bodennahe Anwendungen</i>	
Anlage 3, Tab. 1 bis 7 BBodSchV [4]	- Analytische Verfahren zur Bestimmung der Schadstoffgehalte in Feststoff- und Elutionsphase, Bestimmung chemisch-physikalischer Parameter, Bestimmung der Bodenart, verschiedenen Bodenparametern usw.
DIN 19731:2023-10 [65]	- Siehe mineralischer Ersatzbaustoff
DIN 19639:2019-09 [68]	- Handlungsanleitungen zu Bodenschutzkonzept bei größeren Bauvorhaben - Enthält u. a. Maßnahmen zur Rekultivierung (Neuaufbau von Böden)
DIN 18915:2018-06 [69]	- Parameter, Untersuchungen und Anforderungen an Bodenfunktionen im Rahmen von Bodenverbesserungs- und Rekultivierungsmaßnahmen (u. a.)
Normentwürfe [73]	- Zahlreiche Normentwürfe zu Bodenverbesserern und Kultursubstraten - DIN EN 13037..13039, DIN EN 13040-1 und -2, DIN EN 13651, DIN EN 13654-1 und -2, DIN EN 15761, DIN EN 16087-1 und -2, DIN EN 17728..17733, DIN EN 18229, DIN EN 18250..18255, DIN EN 18257..18259, DIN EN 18278..18280, DIN EN 18300
<i>Entsorgung</i>	
Anhang 4 DepV [32]	- Vorgaben zur Beprobung, Probenvorbereitung und Untersuchung von Abfällen

**Zusammenfassend** ist festzustellen, dass die harmonisierten europäischen Normen eine hohe methodische Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit gewährleisten, jedoch teilweise konservative Prüfbedingungen verwenden, die reale Einbausituationen nur bedingt abbilden. Nationale Verordnungen definieren Grenzwerte auf Grundlage von Schutzgutbetrachtungen, wobei wissenschaftliche Unsicherheiten häufig durch Sicherheitszuschläge kompensiert werden. Aktuelle Forschungsansätze zielen darauf ab, realitätsnähere Auslaugtests, gekoppelte chemisch-biologische Bewertungsverfahren und modellgestützte Langzeitprognosen zu entwickeln, um sowohl Über- als auch Unterschätzungen von Risiken zu vermeiden und gleichzeitig eine nachhaltige Nutzung von Baggergut zu ermöglichen.

**Meilenstein 1:** Die verwertungsspezifischen Kenngrößen konnten identifiziert werden.

### 4.3 Evaluierung von Verwertungsoptionen mit erforderlicher Aufbereitung (AS 2.2)

Im Rahmen des Projektes wurden subhydrischen Sedimente von fünf Stauhaltungen im Freistaat Sachsen beprobt und nach den Schadstoffkriterien der ErsatzbaustoffV [3], BBodSchV [4] und DepV [32] analysiert (Abbildung 1). Zu den untersuchten Objekten zählten der Freiburger Hüttenteich (FHT) und der Untere Großhartmannsdorfer Teich (UGT), die beide zur Freiburger Revierwasserlaufanstalt gehören [86]. Des Weiteren wurden die Sedimente der Vorsperre Dittersbach (VDI) der Talsperre Lichtenberg, die des Vorbeckens Forchheim (VFO) der Vorsperre Forchheim sowie die Sedimente der Vorsperre Dobeneck (VDO) der Talsperre Pirk in die Evaluierung für mögliche Verwertungsoptionen einbezogen.



**Abbildung 1.** Lage und Namen (und Abkürzungen) der beprobten Stauhaltungen (dunkelblau) und Lage des Bodenplanungsgebiets Freiberg im Freistaat Sachsen

Die analytischen Befunde zu den Feststoffgehalten (Konzentration in Relation zur Trockenmasse TM) und zu den eluierbaren Schadstoffanteilen sind für die fünf Gewässer auszugsweise (unter Auslassung irrelevanter Analyten) in Tabelle 8 aufgeführt [87]. Darauf aufbauend erfolgte eine Klassifizierung des Materials nach ErsatzbaustoffV [3], BBodSchV [4] und DepV [32] sowie eine Einordnung des Abfallschlüssels nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV) [59] entsprechend der Herkunft, Kategorie und Gefährlichkeit (basierend auf der Richtlinie 2008/98/EG [88] und den Verordnungen (EU) Nr. 1357/2014 [89] und (EG) Nr. 1272/2008 [90]).

Aufgrund von geogen und montanindustriell bedingt flächenhaft erhöhten Schadstoffgehalten im Freiburger Raum gelten auf Basis einer im Jahr 2011 von der Landesdirektion Chemnitz erlassenen Verordnung im Bodenplanungsgebiet Freiberg [38] (BPG FB) gesonderte Regeln. Hiernach dürfen innerhalb der festgelegten Grenzen (Abbildung 1) Bodenmaterial (Baggergut) mit erhöhten Schadstoffgehalten unter Einhaltung definierter Belastungsklassen (Referenz = As-, Cd-

und Pb-Feststoffgehalte und statistische Quantile) und Beachtung verschiedener Wirkungspfade in vier ausgewiesenen Teilflächen (TF) mit definierter Vorbelastung ohne umfangreiche Einzeluntersuchung verbraucht werden. Innerhalb des ausgewiesenen Gebiets befindet sich nur der Freiburger Hüttenteich (FHT). Zu Vergleichszwecken wurden auch für die nahegelegenen Gewässer Unterer Großhartmannsdorfer Teich (UGT), Vorbecken Forchheim (VFO) und Vorsperre Dittersbach (VDI) aufgrund einer ähnlich gelagerten Hintergrundbelastung des Gebiets <sup>[91]</sup> die formale Einstufung des Materials nach den Belastungskennwerten der vier ausgewiesenen Teilflächengebiete (TF) vorgenommen.

**Tabelle 8.** Auszug aus den analytischen Befunden von den subhydrischen Sedimenten der in Abbildung 1 aufgeführten beprobten Stauanlagen (FHT, UGT, VFO, VDI und VDO) von 2024 bzw. 2019 <sup>[87]</sup> und Vergleich der Befunde mit den Materialwerten der Tab. 3 in Anhang 1 der ErsatzbaustoffV (EBV BG-F0 bis BG-F3) <sup>[3]</sup> und den Beurteilungswerten für Materialien nach Tab. 4 BBodSchV <sup>[4]</sup> (BW) und Einordnung der Befunde der vier Stauhaltungen in oder in räumlicher Nähe zum Bodenplanungsgebiet Freiberg (BPG FB) <sup>[38]</sup> zu den dort vier ausgewiesenen Teilflächen (TF) auf Basis der Feststoffgehalte der Parameter As, Cd und Pb (\*) und Abfallklassifizierung nach AVV <sup>[59]</sup> sowie Einordnung nach Deponieklasse (DK) auf Basis der kritischsten Parameter nach den Zuordnungswerten von Anhang 3, Tab. 2 DepV <sup>[32]</sup>

Par.	FHT			UGT			VFO			VDI			VDO		
	mg kg	EBV BG-	BW	mg kg	EBV BG-	BW	mg kg	EBV BG-	BW	mg kg	EBV BG-	BW	mg kg	EBV BG-	BW
Cr <sub>ges</sub>	35	F0	☑	35	F0	☑	39	F0	☑	42	F0	☑	74	F0	☑
Ni	28	F0	☑	27	F0	☑	32	F0	☑	33	F0	☑	72	F0	☑
Cu	115	F3	☒	29	F0	☑	38	F0	☑	40	F0	☑	181	F3	☒
Zn	1560	☒	☒	310	F3	☒	269	F0	☑	451	F3	☒	407	F3	☒
As*	115	F3	☒	19	F0	☑	37	F0	☑	110	F3	☒	27	F0	☑
Cd*	23	☒	☒	3,6	F3	☒	3,4	F3	☒	9,2	F3	☒	1,7	F0	☑
Hg	0,15	F0	☑	0,21	F0	☑	0,15	F0	☑	0,17	F0	☑	0,45	F0	☑
Tl	0,37	F0	☑	0,37	F0	☑	0,40	F0	☑	0,29	F0	☑	n.n.	F0	☑
Pb*	1360	☒	☒	125	F0	☑	94	F0	☑	160	F3	☒	67	F0	☑
PAK <sub>16</sub>	0,26	F0	☑	4,6	F0	☑	2,0	F0	☑	1,7	F0	☑	5,3	F0	☑
	BPG FB → TF4			BPG FB → TF2 <sup>b)</sup>			BPG FB → TF2 <sup>b)</sup>			BPG FB → TF4 <sup>b)</sup>					
	AVV 170505* a)			AVV 170506			AVV 170506			AVV 170506			AVV 170506		
	%			%			%			%			%		
TOC	4,5	F0	---	8,3	☒	---	6,4	☒	---	9,9	☒	---	3,5	F0	---
Eluat 2:1	µg l	EBV BG-	BW	µg l	EBV BG-	BW	µg l	EBV BG-	BW	µg l	EBV BG-	BW	µg l	EBV BG-	BW
Cr <sub>ges</sub>	1,7	F0	☑	n.n.	F0	☑	n.n.	F0	☑	n.n.	F0	☑	5,9	F0	☑
Ni	54	F2	☒	20	F0	☑	30	F0	☑	29	F0	☑	84	F2	☒
Cu	5,9	F0	☑	n.n.	F0	☑	4,8	F0	☑	4,9	F0	☑	13	F0	☑
Zn	4000	☒	☒	320	F2	☒	190	F2	☒	180	F2	☒	985	F3	☒
As	64	F2	☒	11	F0	☑	6,5	F0	☑	17	F1	☒	21	F2	☒
Cd	15	F3	☒	n.n.	F0	☑	4,4	F2	☒	2,6	F0	☑	3,7	F2	☒
Hg	n.n.	F0	☑	n.n.	F0	☑	n.n.	F0	☑	n.n.	F0	☑	n.n.	F0	☑
Tl	0,7	---	☒	0,48	---	☒	0,48	---	☒	0,58	---	☒	n.n.	---	☑
Pb	54	F1	☒	1,5	F0	☑	n.n.	F0	☑	4,0	F0	☑	3,6	F0	☑
PAK <sub>16</sub>	n.n.	F0	☑	0,12	F0	☑	0,05	F0	☑	0,10	F0	☑	n.b.		
	mg l			mg l			mg l			mg l			mg l		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	460	F3	☒	530	F3	☒	510	F3	☒	520	F3	☒	51	F0	☑
	DK II (→Zn)			DK I (→SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )			DK I (→Cd, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )			DK I (→SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )			DK I (→Ni, Zn)		

n.n. = nicht nachweisbar | n.b. = nicht bestimmt | ☑ zulässiger Materialwert | ☒ unzulässiger Materialwert | --- kein Materialwert definiert  
 a) Einstufung auf Basis des HP-14-Kriteriums in Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG <sup>[88]</sup> bzw. auf Basis der Novellierung in der Verordnung (EU) Nr. 1357/2014 <sup>[89]</sup> und der CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 <sup>[90]</sup> (→ kritische Feststoffparameter Zn, Cd, Pb), b) Herkunft des Materials außerhalb des Bodenplanungsgebiets Freiberg <sup>[38]</sup> (vgl. Abbildung 1)

**Freiburger Hüttenteich:** Das subhydrische Sediment des Freiburger Hüttenteichs ist im Vergleich zu den Sedimenten aller beprobter Stauhaltungen am stärksten belastet. Die Hauptkontaminanten sind Zn mit 1.560 mg/kg, Cd mit 23 mg/kg und Pb mit 1.360 mg/kg Feststoffgehalt <sup>[87]</sup>. Hinsichtlich der Mobilität ist Zn mit 4.000 µg/l im Eluat der Analyt mit der höchsten Massenkonzentration <sup>[87]</sup>. Damit werden selbst für die Materialklasse mit der niedrigsten Materialqualität (BG-F3) die in Anlage 1 Tab. 3 der Ersatzbaustoffverordnung <sup>[3]</sup> genannten zulässigen Materialwerte um den Faktor 1,3 bis 2,5 überschritten. Eine direkte Verwendung als mineralischer Ersatzbaustoff (nach der in Tabelle 4 vorgenommenen Clusterung Verbringungswege A) ist unzulässig. Mit Bezug auf die strengeren Anforderungen der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung für das Aufbringen innerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht (Anlage 1, Tab. 1 BBodSchV <sup>[4]</sup>) oder unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht

(Anlage 1, Tab. 4 BBodSchV <sup>[4]</sup>) ist die bodennahe Verwendung ohne Minderung des Schadstoffgehalts (Verbringungswege B, F1) gleichsam als unzulässig einzustufen. Im Bodenplanungsgebiet Freiberg erfüllt das Material auf Basis der Feststoffwerte für As, Cd und Pb nur die Kriterien der höchstbelasteten Teilfläche 4 <sup>[38]</sup>. Vor dem Hintergrund der dort geltenden Maßnahmenpflicht zur Unterbrechung des Wirkungspfades Boden-Mensch nach § 8 der Verordnung der Landesdirektion Chemnitz zur Festlegung des Bodenplanungsgebietes „Raum Freiberg“ <sup>[38]</sup> ist auch die bodenbezogene Verwertung innerhalb dieses Gebietes als nicht durchführbar einzuschätzen (Verbringungswege F3).

Eine Verwertung der Sedimente muss deshalb über eine wirksame Aufbereitungsprozedur verlaufen. Da das Material aufgrund der Befunde zu Zn, Cd und Pb und des HP 14-Kriteriums <sup>[88]</sup>-<sup>[90]</sup> nach AVV <sup>[59]</sup> als gefährlicher Abfall einzustufen ist (Abfallschlüssel 170505\*), wäre die Aufbereitung inklusive der dahinterstehenden Logistik mit umfangreichen Aufwendungen in der Nachweis- und Registerführung und Mehrkosten verbunden (vgl. Tabelle 15 bis Tabelle 17).

Unter Umständen kann eine mechanische Abtrennung der Kornfraktionen teilweise genügen, indem die (hypothetisch gering belastete) Kiesfraktion abgetrennt und zur Herstellung eines Bauproduktes eingesetzt werden würde (Verbringungswege D). Über alle beprobten Gewässerabschnitte und -horizonte gemittelt, entfallen etwa 5 bis 10 Masse% der Sedimente auf diese Fraktion <sup>[92]</sup>. Dieser Verwertungsweg kommt dabei nur in Betracht, wenn die abgetrennte Fraktion eigenständig und nachweislich die einschlägigen materiellen Anforderungen erfüllen sollte (Tabelle 7).

Die bzgl. vieler Metall(oid)e hochbelastete, aber quecksilberarme, tonhaltige Feinkornfraktion (< 63 µm) <sup>[87]</sup> wäre prinzipiell als Zuschlagstoff für die Herstellung von Hintermauerziegeln denkbar - vorbehaltlich einer ggf. zur Senkung des Schwefelgehalts durchzuführenden Materialwäsche (Verbringungswege E). Im Durchschnitt ist etwa ein Drittel der subhydrischen Sedimente des Freiburger Hüttenteichs in diese Kategorie einzuordnen <sup>[92]</sup>.

Für die Verwertung als mineralischer Ersatzbaustoff müsste eine schadstoffmindernde Aufbereitung für die Kornfraktionen > 63 µm (≙ ca. 2/3 der Baggergutmasse <sup>[92]</sup>), beispielsweise auf Basis einer Zudosierung eines schadstoffmobilisierenden Komplexbildners, auf ihre Extraktionseffizienz und Kostenfolge geprüft werden (→ durchgeführt durch die Projektpartner Technische Universität Bergakademie Freiberg und Veolia Klärschlammverwertung Deutschland). Bei dieser Vorgehensweise werden neben den relevanten Schadstoffen nach Tabelle 8 (stoffmengenbezogen kumulativ ca. 0,035 mol/kg TM <sup>[87]</sup>) wahrscheinlich auch toxikologisch irrelevante Elemente wie Al, Fe, Ca und Mg (stoffmengenbezogen kumulativ ca. 3,534 mol/kg TM <sup>[93]</sup>) mobilisiert. Citronensäure - als preisgünstige und in großen Mengen verfügbare Chemikalie - komplexiert zwei- und dreiwertige Kationen überwiegend im stöchiometrischen Verhältnis von 1:1 (n:n) <sup>[94]</sup>-<sup>[96]</sup>. Das bedeutet, dass für die kumulative Mobilisierung der Schadstoffe und der toxikologisch irrelevanten Elemente formal, d. h. ohne Betrachtung der Bindungsformen und Extraktionseffizienz, ca. 3,569 mol bzw. ca. 686 g Citronensäure pro kg Baggergut (TM) eingesetzt werden müssten. Der preisgünstigsten Anbieter offeriert Citronensäure für 2,82 €/kg <sup>[97]</sup>. Hochgerechnet erfordert damit allein der Chemikalieneinsatz Kosten von ca. 1.900 € pro t Baggergut (TM). Im Verhältnis dazu würde die Extraktion der Elemente mit Königswasser bei stöchiometrischer Zugabe etwa 6.000 € pro t Baggergut (TM) kosten. In der Konsequenz sind damit die Verwertungswege als mineralischer Ersatzbaustoff (Verbringungswege C) und auch die bodennahe Verwertung (Verbringungswege F2) als unrentabel einzustufen.

Ausgehend von den in Tabelle 8 aufgelisteten Eluat-Befunden mit Zn als kritischstem Parameter <sup>[87]</sup> ist zumindest die Entsorgung ohne weitere Aufbereitung auf einer Deponie der Klasse DK II <sup>[32]</sup> realistisch (Verbringungswege G).

Zulässigkeit/Möglichkeit verschiedener Verbringungswege (Clusterung nach Tabelle 4)						
A	B	C	D	E	F	G
☒	☒	☒	☑	☑	☒	☑

**Unterer Großhartmannsdorfer Teich:** Das Sediment ist deutlich geringer belastet als das des Freiburger Hüttenteichs (Tabelle 8) und würde ohne Betrachtung des Parameters TOC die Anforderungen an die Materialklasse BG-F3 nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup> erfüllen. Der Parameter

TOC überschreitet den zulässigen Grenzwert um den Faktor 1,7 <sup>[3],[87]</sup>. Die für die Einstufung kritischsten anorganischen Parameter sind Zn (Feststoff), Cd (Feststoff) und Sulfat (Eluat) <sup>[3],[87]</sup>. Die Anforderungen an eine bodennahe Nutzung des Materials nach BBodSchV <sup>[4]</sup> werden aufgrund dieser Parameter zzgl. Tl (Eluat) <sup>[87]</sup> nicht erfüllt. Die direkte Verwendung im Sinne der Verbringungswege A und B nach Tabelle 4 ist daher unzulässig. Die bodennahe Verwertung ist auch unter dem Aspekt der erhöhten Metall(oid)-Hintergrundwerte im Oberboden im unmittelbaren Umfeld des Gewässers laut der geochemischen Bodenübersichtskarte von Sachsen <sup>[91]</sup> nicht in Betracht zu ziehen, da das Sediment im Vergleich dazu etwa fünffach überhöhte Cd- und Zn-Feststoffwerte <sup>[87]</sup> enthält (Verbringungsweg F3). Mit Verweis auf § 3 (2) BBodSchV <sup>[4]</sup> ist daher von der Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung auszugehen. Das Material würde aber theoretisch die Kriterien der Teilfläche 2 im Bodenplanungsgebiet Freiberg <sup>[38]</sup> erfüllen und wäre unter der Voraussetzung eines nachweisbaren Nutzens für mindestens eine Bodenfunktion zur Ausbringung auf/in den Boden innerhalb dieses Gebietes zulässig.

Eine technische Verwertung als mineralischer Ersatzbaustoff (Verbringungsweg C) in abgedichteten Konstruktionen (BG-F3 <sup>[3]</sup>) ist in Teilen nach einer mechanischen Abtrennung der i. d. R. nicht nutzbaren Feinkornfraktion (ca. 80 % < 63 µm) und einer ggf. nachzuschaltenden biologischen Behandlung zur Senkung des TOC auf maximal 5 Masse% <sup>[3]</sup> theoretisch möglich. Abfallrechtlich wäre der Umgang mit dem Material im Rahmen der Aufbereitung aufgrund der Einstufung in den Abfallschlüssel 170506 <sup>[59],[88]-[90]</sup> weniger herausfordernd als beim Material aus dem Freiburger Hüttenteich.

Als Zuschlagstoff für Bauprodukte (z. B. Beton oder Zement) sollte nach den einschlägigen bautechnischen Normen (Tabelle 7) der Organikanteil von rezyklierten Gesteinskörnungen zur Vermeidung der Beeinträchtigung von Erhärtung, Festigkeit und Dauerhaftigkeit deutlich niedriger angesetzt werden. Daher ist dieser Verwertungsweg hinsichtlich der Erfolgsaussichten als gering wahrscheinlich einzuschätzen (Verbringungsweg D).

Für die Herstellung von Hintermauerziegeln (Verbringungsweg E) ist hingegen der hohe Feinkornanteil <sup>[98]</sup> und der hohe TOC-Gehalt des Sediments <sup>[87]</sup> als Porosierungsmittel im Prozess vorteilhaft. Allerdings müsste der Schwefelgehalt von derzeit ca. 0,65 Masse% auf unter 0,1 Masse% <sup>[93]</sup> gesenkt werden, da die zulässigen SO<sub>2</sub>-Emissionen im Abgas der Ziegeleianlage <sup>[7],[8]</sup> sonst wahrscheinlich überschritten würden. Dieses Ziel könnte beispielsweise durch eine Wäsche des Materials erreicht werden.

Eine bodennahe Verwertung nach einer mechanischen Aufbereitung (Verbringungsweg F1) ist hinsichtlich der Senkung der Schadstoffgehalte wenig erfolgversprechend, weil das Material weitestgehend aus Feinkornmaterial <sup>[98]</sup> besteht. Der hohe Feinkornanteil macht dabei auch eine Verwertung des Materials außerhalb des durchwurzelbaren Bodenbereichs <sup>[4]</sup> aufgrund der möglichen Staunässebildung unwahrscheinlich. Zum Einbringen des Materials in den Oberboden müssten die Vorsorgewerte gemäß Anlage 1, Tab. 1 BBodSchV <sup>[4]</sup> erreicht werden. Dazu wären im Rahmen einer chemisch-physikalischen Aufbereitung die Feststoffwerte von Zn etwa um den Faktor 2 und Cd etwa um den Faktor 4 zu senken (Referenz Vorsorgewerte Lehm/Schluff) <sup>[4],[87]</sup> (Verbringungsweg F2). Analog zur Diskussion über das Sediment des Freiburger Hüttenteichs ist auch hier davon auszugehen, dass der Einsatz von schadstoffmobilisierenden Chemikalien aufgrund der unvermeidbaren Co-Elution nichttoxischer Elemente unwirtschaftlich ist.

Wenn eine Verwertung des Sediments nicht durchgeführt werden würde, wäre aufgrund der Eluatbefunde mit Sulfat als kritischstem Parameter <sup>[87]</sup> die Deponierung des Materials ohne Aufbereitung auf einer Deponie der Deponieklasse DK I <sup>[32]</sup> möglich (Verbringungsweg G).

Zulässigkeit/Möglichkeit verschiedener Verbringungswege (Clusterung nach Tabelle 4)						
A	B	C	D	E	F	G
❌	❌	✅	❌	✅	❌	✅

**Vorbecken Forchheim:** Das Sediment aus dem Vorbecken Forchheim ähnelt dem des Unteren Großhartmannsdorfer Teichs. Das Material erfüllt ebenso mit Ausnahme des Parameters TOC die Anforderungen der Materialklasse BG-F3 der Ersatzbaustoffverordnung <sup>[3]</sup>. Die für diese Einstufung kritischsten Parameter sind Cd (Feststoff) und Sulfat (Eluat). Da der TOC mit 6,4 Masse% <sup>[87]</sup> nur geringfügig oberhalb des Grenzwertes <sup>[3]</sup> liegt, könnte u. U. eine Belüftung

des Materials im Zuge der Entwässerung ausreichend sein, dass aerobe mikrobiologische Abbauprozesse zu einer Absenkung des Parameters auf das zulässige Niveau von 5 Masse% [3] führen. Sollte diese Maßnahme ausreichend sein, ist formal eine direkte Verwendung als mineralischer Ersatzbaustoff in begrenzter zugelassener Einbauweise [3] möglich (Verbringungsweg A2, Tabelle 4). Eine bodennahe Verwendung innerhalb oder außerhalb der durchwurzelbaren Zone wäre im Vergleich zu den Vorsorgewerten nach Anlage 1, Tab. 1 BBodSchV [4] oder zu den Materialwerten nach Anlage 1, Tab. 4 BBodSchV [4] (Verbringungsweg B) ausgeschlossen, da hierfür die Parameter Cd (Feststoff), As (Feststoff), Cd (Eluat), Tl (Eluat) und Sulfat (Eluat) [87] etwa um den Faktor 2 zu hoch sind. Nach dem Kriterium der Hintergrundbelastung am Ausbringungsort in räumlicher Nähe [91] sind die Feststoffgehalte an As und Cd im Sediment [87] um den Faktor 2 bzw. 10 überhöht. Damit ist eine bodennahe Verwertung vor Ort nicht möglich (Verbringungsweg F3). Innerhalb des Geltungsbereichs des Bodenplanungsgebiets Freiberg [38] würde das Material die Kriterien der Hintergrundbelastung der Teilfläche 2 erfüllen und damit prinzipiell aufbringungsfähig sein.

Für die hochwertigere Verwertung als mineralischer Ersatzbaustoff (Verbringungsweg C) müsste die Feinkornfraktion abgetrennt und der TOC (falls noch notwendig) durch eine biologische Behandlung (Belüftung) gesenkt werden. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Feststoffwerte und der relativ hohen Mobilisierbarkeit von Cd, Zn, Tl und Sulfat (Eluat) [87], besteht grundsätzlich die Möglichkeit, mit einer Wäsche das Material in eine qualitativ bessere Materialklasse als BG-F3 [3] zu überführen, zumal alle anderen Parameter die Kriterien der Materialklasse BG-F0 [3] erfüllen (vgl. Tabelle 8).

Gegebenenfalls könnten durch eine derartige Behandlung auch die Anforderungen für eine bodennahe Verwertung außerhalb der durchwurzelbaren Zone [4] erreicht werden (Verbringungsweg F1). Für eine Nutzung des gesamten Materials inklusive des Feinkornanteils im Oberboden müsste eine teure chemisch-physikalische Behandlung zur Schadstoffmobilisierung (v. a. in Bezug auf As und Cd) und anschließend eine Anpassung der Organik- und Nährstoffgehalte durch Verschnitt mit Kompost und/oder mineralischem Dünger erfolgen. Das ist theoretisch möglich, aber wahrscheinlich zu teuer (Verbringungsweg F2).

Die Verwertung als Zuschlagstoff für Bauprodukte ist unter der Abtrennung der wahrscheinlich kohlenstoffhaltigeren Feinkornfraktion möglich (Verbringungsweg D). Diese Kornfraktion kann, vorbehaltlich einer Senkung des Schwefelgehalts, als Sekundärrohstoff für die Hintermauerziegel genutzt werden (Verbringungsweg E).

Nach den Kriterien der DepV [32] ist auch die Entsorgung auf einer Deponie der Klasse I möglich (Verbringungsweg G).

Zulässigkeit/Möglichkeit verschiedener Verbringungswege (Clusterung nach Tabelle 4)						
A	B	C	D	E	F	G
☑	☒	☑	☑	☑	☑	☑

**Vorsperre Dittersbach:** Für dieses Sediment ergibt sich ein ähnliches Bild wie für die Sedimente aus dem Unteren Großhartmannsdorfer Teich und dem Vorbecken Forchheim. Trotz der vergleichsweise höheren Metall(oid)-Belastung (Tabelle 8) verhindert lediglich der Parameter TOC die Einstufung in die Materialklasse BG-F3 nach ErsatzbaustoffV [3]. Da der Organikgehalt etwa um den Faktor 2 höher als der Grenzwert ist [3],[87], erscheint eine hinreichende Verminderung des TOC durch mikrobielle Abbauprozesse im Rahmen der Entwässerung und damit die direkte Verwendung gering wahrscheinlich (Verbringungsweg A2, Tabelle 4). Eine bodenbezogene direkte Verwendung innerhalb oder außerhalb der durchwurzelbaren Zone [4] scheidet wegen der viel zu hohen Zn-, As-, Cd- und Pb-Feststoffgehalte [87] aus (Verbringungsweg B). Im Vergleich zu den Hintergrundwerten im Oberboden in räumlicher Nähe [91] sind der As-Gehalt im Sediment etwa 2fach, der Zn-Gehalt etwa 2,5fach und der Cd-Gehalt etwa zehnfach überhöht [87]. Nur Pb wäre noch im Rahmen [87],[91]. Im Hinblick auf die Referenzwerte des Bodenplanungsgebiets Freiberg [38] würde das Material nur die Parameter der Teilfläche 4 erfüllen. Damit ist eine Verbringung im Oberboden in jedem Falle auszuschließen (Verbringungsweg F3). Die Verwertung zu einem qualitativ minderwertigen Ersatzbaustoff (BG-F3 [3]) durch Abtrennung der Feinkornfraktion und einer biologischen Behandlung zur Senkung des TOC sind

theoretisch möglich (Verbringungsweg C). Die relativ hohen Metall(oid)-Feststoffwerte, v. a. von Cd und As <sup>[87]</sup>, lassen eine höherwertige Verwertung durch eine schadstoffsenkende chemisch-physikalische Behandlung kostenseitig nicht zu. Das gilt ebenso für die bodenbezogene Verwertung (Verbringungsweg F1, F2).

Der hohe TOC-Gehalt <sup>[87]</sup> ist für die Verwertung zu einem Zuschlagstoff für die Mörtel-, Zement- oder Betonproduktion problematisch (Verbringungsweg D), jedoch für die Verwertung als Sekundärrohstoff für Herstellung von Hintermauerziegeln vorteilhaft (Verbringungsweg E).

Nach den Kriterien der DepV <sup>[32]</sup> ist die Entsorgung des Materials ohne eine Vorbehandlung aufgrund der niedrigen Eluatwerte <sup>[87]</sup> auf einer Deponie der Klasse I möglich (Verbringungsweg G).

Zulässigkeit/Möglichkeit verschiedener Verbringungswege (Clusterung nach Tabelle 4)						
A	B	C	D	E	F	G
☒	☒	☑	☒	☑	☒	☑

**Vorsperre Dobeneck:** Das Sediment erfüllt auf Basis der Schadstoffanalysen <sup>[87]</sup> alle Kriterien der Materialklasse BG-F3 der ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup> (Verbringungsweg A2). Die kritischsten Parameter sind dabei Cu und Zn im Feststoff und Zn im Eluat (Tabelle 8). Eine direkte bodenbezogene Verwendung scheidet aufgrund höherer Anforderungen nach BBodSchV <sup>[4]</sup> und den Befunden zu diesen Parametern, zzgl. der Analysedaten zu As und Cd im Feststoff und den Befunden zu Ni und As im Eluat <sup>[87]</sup> aus (Verbringungsweg B). Im Vergleich zu den Hintergrundwerten des Oberbodens im Umfeld des Gewässers <sup>[91]</sup> sind die Feststoffgehalte von Cu, Zn, As und Cd <sup>[87]</sup> im Sediment etwa zwei- bis vierfach überhöht und damit unzulässig für eine Verwertung ohne schadstoffsenkenden Aufbereitungsschritt (Verbringungsweg F1, F3). Die Kosten für eine chemisch-physikalische Behandlung zur Schadstoffmobilisierung sind aus den vorgenannten Gründen wahrscheinlich unverhältnismäßig hoch (Verbringungsweg F2)

Die Verwertung zu einem qualitativ höherwertigen mineralischen Ersatzbaustoff ( $\leq$  BG-F2 <sup>[3]</sup>) ist aufgrund des hohen Cu-Feststoffgehalts und der niedrigen Mobilisierbarkeit <sup>[87]</sup> (Tabelle 8) durch eine einfache Wäsche eher unwahrscheinlich (Verbringungsweg C).

Die Eignung als Zuschlagstoff für die Mörtel-, Zement- oder Betonproduktion ist vor dem Hintergrund der ermittelten Schadstoffbefunde <sup>[87]</sup> möglich (Verbringungsweg D). Auch die vergleichsweise hohen Zn-Gehalte im Eluat <sup>[87]</sup> wären selbst bei einem ähnlich hohen Niveau im Porenwasser während des Herstellungsprozesses hinsichtlich der Hydratationsreaktion von Portlandzement wahrscheinlich unkritisch.

Proben dieses Sediments wurden einer Ziegelei zur analytischen Prüfung zur Verfügung gestellt. Wegen des erhöhten Befunds zu Hg im Feststoff <sup>[87]</sup> (Tabelle 8) ist ein Probebrand unter Zumi-schung des Materials seitens der Werksleitung abgelehnt worden <sup>[99]</sup> (Baggerguttyp E).

Die Entsorgung des Materials auf einer Deponie der Klasse I sind trotz der vergleichsweise hohen Eluatbefunde von Ni und Zn <sup>[87]</sup> (Tabelle 8) nach DepV <sup>[32]</sup> zulässig (Baggerguttyp E).

Zulässigkeit/Möglichkeit verschiedener Verbringungswege (Clusterung nach Tabelle 4)						
A	B	C	D	E	F	G
☑	☒	☒	☑	☒	☒	☑

**Zusammenfassend** erfüllen alle untersuchten Sedimente mindestens die Anforderungen der Deponieklassen DK I oder DK II nach DepV <sup>[32]</sup> und könnten zur Entsorgung deponiert werden. Nur die Sedimente des Freiburger Hüttenteichs sind aufgrund der erheblichen Metall(oid)belas-tung als gefährlicher Abfall (170505\* <sup>[59]</sup>) einzustufen, während die übrigen Materialien dem nicht gefährlichen Abfallschlüssel 170506 <sup>[59]</sup> zugeordnet werden können. Aus der Evaluierung der analytischen Befunde <sup>[87]</sup> ergibt sich, dass eine bodenbezogene Verwertung nur im Ausnah-mefall für das Sediment aus dem Vorbecken Forchheim möglich sein könnte und für alle anderen Varianten nicht in Betracht kommt, da die BBodSchV-Werte <sup>[4]</sup> regelmäßig überschritten werden und schadstoffmindernde Aufbereitungsschritte zu teuer sind. Technische Verwertungsoptionen nach Ersatzbaustoffrecht sind differenziert zu prüfen und erscheinen mit Ausnahme der Sedi-mente aus dem Freiburger Hüttenteich größtenteils unter restriktiven Einbaubedingungen mög-lich. Der Verwertungsweg in Richtung eines Zuschlagstoffs für Baustoffe ist durch die

Abtrennung kohlenstoffreicher Feinkornfraktionen und/oder durch einen TOC-senkenden biologischen Aufbereitungsschritt in fast allen Fällen denkbar. Die Verwertung als Sekundärrohstoff in der Hintermauerziegelproduktion ist bei niedrigen Schwefel- ( $< 0,1$  Masse% <sup>[93]</sup>) und sehr niedrigen Quecksilberfeststoffgehalten ( $< 0,45$  mg/kg <sup>[87],[99]</sup>) und einer Abtrennung der Grobkornanteile ( $> 63$   $\mu\text{m}$ ) und einer ggf. erforderlichen Aussortierung von Fremd- und Störstoffen (z. B. Pflanzenreste, Pflanzenfasern) ebenfalls realistisch.

#### 4.3.1 Erstellung eines Lastenheftes für verschiedene Verwertungsoptionen (A 2.2.1)

Ein Lastenheft definiert die Anforderungen eines Auftraggebers – in diesem Fall des Abfallerzeugers von Baggergut – an die Leistungen eines Auftragnehmers – in diesem Fall des Abfallverwerterers bzw. der Hersteller eines Produktes. Es bildet die rechtsverbindliche Grundlage für Ausschreibungen, auf denen verschiedene Anbieter vergleichbare Angebote abgeben können. In erster Linie muss das Lastenheft den Ist- und Sollzustand und die Ziele des Verwertungsweges herausstellen. Im Wesentlichen bedeutet das für die Verwertung von Baggergut, dass ein zu Beginn als Abfall eingestuftes Material einen Aufbereitungsprozess zu durchlaufen hat, wodurch ein Ende seiner Abfalleigenschaft herbeigeführt und idealerweise ein marktfähiges Produkt hergestellt wird. Das Lastenheft definiert dabei grundlegend

- Funktionale, d. h. technische Leistungsparameter an das Produkt
- Nicht-funktionale Anforderungen, d. h. Rechts-/Normkonformität des Produkts, Beachtung ökologischer Parameter, Langzeitstabilität des Produkts, Qualitätssicherung in der Herstellung, Sicherheit in der Handhabung usw.
- Logistische Kriterien, wie z. B. Lieferzuverlässigkeit, Transport- und Lagerfähigkeit des Produkts, evtl. Kompatibilität mit anderen Produkten oder Prozessen usw. und
- Wirtschaftliche Merkmale, wie z. B. Marktgängigkeit, bestehende Nachfrage und Wettbewerbsfähigkeit des Produkts.

Es enthält im Weiteren den rechtlichen Rahmen, die einzuhaltenden Qualitätsstandards, Normen und Umweltrichtlinien, die Verantwortlichkeiten und die Abnahmekriterien, wonach die Leistung erfolgreich erbracht wurde. Gleichzeitig muss das Lastenheft den Anbietern die Möglichkeit geben, im Einklang mit den genannten Vorgaben einen eigenständigen Lösungsweg zu entwickeln. In der folgenden Tabelle 9a und 9b wird das Grundgerüst eines Lastenheftes für die drei Verwertungswege

- **Mineralischer Ersatzbaustoff**
- Produkt zur **bodennahen Verwertung** (Bodenverbesserer) und
- Zuschlagstoff für **Hintermauerziegel**

beispielhaft präsentiert. Das Lastenheft ist dabei wie folgt gegliedert:

**1. Ausgangssituation und Zielstellung:** Hier wird die Herkunft, Menge und Beschaffenheit des Baggerguts beschrieben. In Abhängigkeit des Verwertungsweges sind mögliche Besonderheiten des Materials, die für den Anbieter und v. a. für den Erfolg der Prozessierung des Materials sowie für die Rechtskonformität wichtig sein könnten, gesondert herauszustellen. Darauf folgt die Formulierung einer konkreten Zielstellung der Verwertung, z. B.:

- Herstellung eines güteüberwachten mineralischen Ersatzbaustoffs aus Baggergut zur Verwendung im Erd- und Straßenbau, etwa als Tragschicht- oder Verfüllmaterial
- Herstellung eines feinkörnigen, nährstoffhaltigen, unbelasteten bodenähnlichen Materials, das zur Verbesserung landwirtschaftlicher oder rekultivierter Böden genutzt werden kann und dabei v. a. das Wasserspeichervermögen und den Nährstoffhaushalt im Boden am Ausbringungsort optimiert
- Ziel ist die teilweise Substitution natürlicher Tone bei gleichbleibender Produktqualität der Hintermauerziegel.

Das Lastenheft muss im Weiteren die Sicherstellung technischer Eignung bei gleichzeitiger Einhaltung umweltrechtlicher Anforderungen definieren.

**2. Zielanwendungen und grundsätzliche Produkthanforderungen:** In diesem Kapitel werden die Zielanwendungen mit den funktionellen, i. d. R. rechtlich und normativ geregelten Leistungsparametern unterlegt:

- Mineralischer Ersatzbaustoff: Elutionsverhalten und Schadstoffgehalte konform zu definierter Materialklasse der ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, ausreichende Tragfähigkeit, Frost-Tausalz-Beständigkeit, hinreichende Verdichtbarkeit, definierte Kornverteilung, verbindliche Vorgaben zu mechanischen Kennwerten wie z. B. Proctordichte
- Bodenverbesserer: Materialwerte konform zu BBodSchV <sup>[4]</sup>, Pflanzenverträglichkeit des Produkts, hinreichende Strukturstabilität des Materials, keine enthaltenen phytotoxischen Stoffe, Salzgehalt darf nicht zur Beeinträchtigung empfindlicher Kulturen führen
- Hintermauerziegel: mineralogische Eignung des Zuschlagstoffs (hoher SiO<sub>2</sub>- und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Anteil), darf nur geringe Anteile störender Salze enthalten (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), soll eine ausreichende Plastizität im Formgebungsprozess gewährleisten, Druckfestigkeit, Rohdichte und Frostbeständigkeit der fertigen Hintermauerziegel müssen den bauaufsichtlichen Anforderungen entsprechen bzw. CE-konform sein

**3. Anforderungen an die Behandlung des Materials:** Grundsätzlich ist hierbei der Nachweis der Fach- und Sachkunde des Anlagenbetreibers (Zertifikate), die technische Zulässigkeit der Anlage, der Eignungsnachweis der Anlage, die rechtliche Genehmigung der Anlage (oftmals kumulativ über immissionsrechtliche Genehmigung), die Rechtskonformität der angewandten Prozesse und der rechtskonforme Betrieb der Anlage einzufordern. Für die Behandlung des Materials selbst sollten grundlegende Verfahren genannt und wichtige Kriterien definiert werden:

- Mineralischer Ersatzbaustoff: Verfahren: z. B. Entwässerung, Klassierung, Siebung, Stabilisierung, Verminderung organischer Anteile. Kriterien: z. B. zulässige Additive, maximale Restfeuchte, maximal zulässiger Schadstoffgehalt und Schadstoffmobilität
- Bodenverbesserer: Verfahren: z. B. Entwässerung, Hygienisierung, Kompostierung oder Mischung mit strukturgebenden Zuschlagstoffen. Kriterien: z. B. definierte Mischungsverhältnisse von Baggergut/Kompost, spezifische Rottezeiten, Zudosierung an Makronährstoffen, wie z. B. K<sub>2</sub>O, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- Hintermauerziegel: Verfahren: z. B. Aussortieren von pflanzlichen Resten und anderen Störstoffen, Trocknung, Mahlung und Homogenisierung. Kriterien: Adaptierung des Brennprozesses, z. B. zur Optimierung der Porosität des Produkts oder zur Minimierung der Emissionen bspw. von Metall(oid)en mit Siede- oder Sublimationspunkt im Fahrbereich des Brennofens, wie z. B. As, Cd, Hg.

**4. Qualitätssicherung und Nachweispflichten:** Das eingehende Material ist regelmäßig bei der Annahme, bei der Prozessierung und am Ende des Behandlungsprozesses im Rahmen einer werkseigenen Prozesskontrolle chargenbezogen zu prüfen und die Ergebnisse zu dokumentieren und für eine externe Kontrolle vorzuhalten. Dabei sind jegliche zu- und abgehende Prozessströme zu erfassen und zu überwachen (abfall- und umweltrechtlich). Die Rückverfolgbarkeit sollte jederzeit gewährleistet sein. Der Anlagenbetreiber muss sich außerdem dazu verpflichten, die Anlage, den Prozess und die betriebliche Organisation regelmäßig einer Fremdüberwachung durch zugelassene Prüfstellen zu unterziehen. Verwertungsspezifisch beinhaltet eine Prozesskontrolle beispielsweise

- Mineralischer Ersatzbaustoff: Schadstoffgehalt -und Eluatuntersuchungen nach dem in der Anlage 4, Tab. 1 der Ersatzbaustoffverordnung <sup>[3]</sup> geforderten Turnus
- Bodenverbesserer: Metall(oid)- und Nährstoffgehaltsanalysen sowie Boden- und Pflanzenverträglichkeitsprüfungen
- Hintermauerziegel: Bei der Herstellung eines Bauproduktes mit dahinterliegenden europaweit harmonisierter Normen ist i. d. R. eine Leistungserklärung (z. B. zur Maßhaltigkeit und Festigkeit) und Bescheinigung der CE-Konformität beizubringen.

**5. Umwelt- und Sicherheitsanforderungen, normativer Rahmen:** In diesem Kapitel werden die Kriterien für die Abfallprozessierung auf der Grundlage von Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien festgelegt. Diese betreffen im Wesentlichen einen sicheren Anlagenbetrieb, einzuhaltende Arbeits- und Betriebsvorschriften sowie die Vermeidung von Umweltschäden.

Hinsichtlich der Herstellung und/oder Anwendung des Produktes können detaillierte Vorgaben gemacht werden, z. B.

- Mineralischer Ersatzbaustoff: Bei erhöhten Schadstoffgehalten (z. B. Materialklasse BG-F3 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>) technische Sicherungsmaßnahmen im Sinne eines Einbaus des Materials in hydraulisch abgedichteter Bauweise zum Schutz vor einer Schadstoffverlagerung in Boden und Grundwasser
- Bodenverbesserer: Vorgaben zum Mindestabstand des Einbaus zu Oberflächengewässern, z. B. zum Schutz vor Eutrophierung oder Vorgaben zum Nährstofffreisetzungverhalten zum Schutz des Grundwassers
- Hintermauerziegel: Vollständige Immobilisierung von toxischen Metall(oid)en und Nachweis durch Eluatanalysen.

**6. Logistik und Organisation:** In erster Linie wird hier definiert, welches Material, wie das Material und welche Mengen über welche Transportwege in welchen Zeiträumen an den Verwerter gelangen soll. Hierzu ist auch die Methodik zur Chargenkennzeichnung festzulegen, um jederzeit die Rückverfolgbarkeit zu ermöglichen. Im Lastenheft können auch Vorgaben gemacht werden, inwieweit eine Lagerhaltung zu erfolgen hat und wie dabei unterschiedliche Materialqualitätsklassen voneinander zu trennen sind, um in der Prozesskette Vermischungen von unterschiedlichen Materialklassen, Rohstoffen, Reststoffen sowie Vermischungen von Edukten und Produkten ausschließen zu können. Sollte der Auftraggeber auch der Abnehmer des Produktes sein, sind Regelungen zur Freigabe bzw. zum Nachweis des Abfallendes zu treffen, der Auslieferungsort zu benennen und konkrete Liefermengen, Lieferzeiten und Lieferqualitäten zu vereinbaren.

**7. Schnittstellen und Verantwortlichkeiten:** Festzulegen sind die Verantwortlichkeiten und die Koordination zwischen dem Gewässerunterhaltungspflichtigem/Abfallerzeuger/Abfallbesitzer, dem Baggergut-/Abfallbeförderer, dem Abfallverwerter bzw. Ziegelhersteller, den zuständigen Behörden, ggf. den Gutachtern, den Prüflaboren/Prüfstellen, ggf. dem Händler, dem Lieferanten und ggf. dem Bauausführenden und dem Grundstückseigentümer/-pächter. Wichtige Schnittstellen betreffen insbesondere die Übergabe des Baggerguts an den Verwerter, die Qualitätskontrollen in der Verwertung/Herstellung und die Freigabe des Produktes. Zur Abwicklung des Vorhabens ist ein leitender Projektverantwortlicher zu bestimmen.

**8. Wirtschaftliche und terminliche Rahmenbedingungen:** Die Zielkosten der Aufbereitung (absolut oder pro Masse- oder Volumeneinheit) sind so zu definieren, dass der Anbieter auf dieser Grundlage eine wirtschaftlich sinnvolle Lösung planen kann. Unter Umständen ist dabei auch ein Rahmen für die Investitionskosten der Aufbereitungstechnik oder für eventuell entstehende Anpassungskosten für die Adaptierung der Aufbereitungstechnik oder der Produktionslinie auszuweisen. Andererseits sind die Zielkosten so anzusetzen, dass für den Abfallerzeuger ein hinreichender Anreiz besteht, das Baggergut nicht zu entsorgen. Bei der Umsetzung des Vorhabens sind konkrete Zeitpläne, Fristen und v. a. auch definierte Meilensteine zu vereinbaren, beispielsweise die Länge einer Pilotphase, der Übergang zum Regelbetrieb und der Projektabschluss.

**9. Abnahmekriterien:** Die Abnahmekriterien legen fest, wann die Leistung des Anbieters als vollständig erbracht gilt. Bei der Verwertung von Baggergut sollte das in erster Linie das Erreichen des Abfallendes durch den Nachweis und die lückenlose Dokumentation der Einhaltung aller rechtlichen und normativen Grenz- und Zielwerte des Outputs sowie eine bestandene Eignungsprüfung des Produkts, z. B. in einer Testumgebung sein. Wenn der Abfallerzeuger auch der Abnehmer des Produkts ist, kann die Auslieferung des Produkts oder der bestimmungsgemäße Einbau des Produkts entsprechend der ausgewiesenen Zielstellung und des benannten Einbauortes das finale Abnahmekriterium darstellen.

**10. Schlussbestimmung:** Die Schlussbestimmung regelt die rechtliche Verbindlichkeit des Dokuments als Vertragsbestandteil, stellt die fortwährende Gültigkeit des Lastenhefts sicher - auch im Falle, dass sich die Anforderungen in der Projektlaufzeit als technisch und/oder rechtlich nicht umsetzbar herausstellen sollten und definiert einen Änderungsvorbehalt.

**Tabelle 9a.** Lastenheft für drei beispielhafte Verwertungsoptionen für Baggergut

Verwertungsweg Ersatzbaustoff	Bodennahe Verwertung	Verwertungsweg Hintermauerziegel
<b>1. Ausgangssituation und Zielstellung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baggergut aus einer in Abbildung 1 genannten Stauanlage; Anfall von [... m<sup>3</sup>] aufgrund einer Unterhaltungsmaßnahme</li> <li>- Baggergut mit Abfallschlüssel 17 05 06 (UGT, VFO, VDI, VDO) oder 17 05 05* (FHT) gemäß AVV <sup>[59]</sup></li> <li>- Überwiegend feinkörniges Material (&gt; 10 Masse% Schluff, Ton) mit hohem Wassergehalt und variablem org. Anteil (TOC)</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ziel: Aufbereitung zur stofflichen Verwertung als mineralischer Ersatzbaustoff mindestens bis zur Materialklasse BG-F1 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ziel: Herstellung eines bodenähnlichen Materials mit definierten Eigenschaften für bodennahe Anwendungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ziel: Herstellung von nutzbaren Hintermauerziegeln unter Beimischung von Baggergut mit geeigneter Aufbereitung (≤ 10 Vol%) und thermischer Prozessierung (Brennvorgang)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problem: Mindestens ein Parameter überschreitet das Kriterium BG-F3 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> <li>→ direkte Verwendung unzulässig (eingeschränkte Ausnahme Baggergut aus VDO mit Kriterium BG-F3), Feinkornanteil (&lt; 63 µm) deutlich &gt; 5 Masse% <sup>[98]</sup> → u. a. ungeeignet für Betonherstellung <sup>[100]</sup> und problematisch für die Frostwiderstandsfähigkeit von Baustoffgemischen <sup>[101]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problem: Verschiedene anorganische und organische Parameter erfüllen nicht die Vorsorge-, Prüf-, Material- oder Maßnahmenwerte der BBodSchV <sup>[4]</sup> → direkte Verwendung unzulässig, Nährstoffgehalt an P und K ist zu gering und an den Pflanzenbedarf anzupassen (§ 7 (5) BBodSchV <sup>[4]</sup> in Verbindung mit DIN 18919:2016-12 <sup>[102]</sup>), Material teilweise aufgrund des hohen Feinkornanteils nicht unterhalb/außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht einsetzbar (§ 8 (1) BBodSchV <sup>[4]</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problem: Sehr hoher Wassergehalt des Baggerguts, möglicherweise enthaltene Pflanzenreste (Wurzeln, lange Fasern) ungünstig für Walzwerke, relativ hoher Sulfat-/Schwefel-Gehalt ggf. kritisch für Ausblühungen und Abluftbehandlung, teilweise hohe anorganische Belastung mit Metall(oiden), insbesondere Pb, erfordert stoffliche Untersuchungen zum Nachweis der Immobilisierung und zur hinreichenden Abluftbehandlung, geringer Karbonatgehalt (ggf. Auswirkung auf Porosität und Festigkeit)</li> </ul>
<b>2. Zielanwendungen und grundsätzliche Produktanforderungen</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anwendung als mineralischer Ersatzbaustoff mit zulässiger Einbauweise nach Anlage 2, Tab. 6 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> <li>- Einsatz u. a. im <ul style="list-style-type: none"> <li>- Straßenunterbau (Unterbau, Tragschicht, Frostschutz usw.)</li> <li>- Erd- und Dammbau</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anwendung als Bodenverbesserer, zur Rekultivierung und Renaturierung von Flächen, zum Landschaftsbau/zur Geländemodellierung, Herstellung von Vegetationstragschichten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung von Hintermauerziegeln aus gebranntem Ton, der teilweise aus aufbereitetem Baggergut hergestellt wird</li> <li>- Verwendung als Hintermauerwerk mit und ohne zusätzliche Bekleidung</li> <li>- Tragendes oder nicht tragendes Mauerwerk im Hochbau</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufbereitetes Produkt erfüllt mindestens die Kriterien der Materialklasse BG-F1 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> <li>- Produkt erfüllt die geotechnischen Anforderungen für den Einsatz im Erd-/Verkehrsbau (vgl. Tabelle 6 Nr. 2 und Tabelle 7)</li> <li>- Produkt bewirkt keine schädlichen Boden- und Grundwasserveränderungen (BBodSchG <sup>[33]</sup>, BBodSchV <sup>[4]</sup>, WHG <sup>[34]</sup> und Ländergesetze <sup>[35]</sup>, BImSchG <sup>[6]</sup> usw.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufbereitetes Produkt erfüllt die Anforderungen der BBodSchV <sup>[4]</sup> für das Auf- oder Einbringen in oder auf den Boden</li> <li>- Standortangepasste bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften (Schadstoffgehalt gemäß BBodSchV <sup>[4]</sup>, pH-Wert, TOC, Korngrößenverteilung und Bodenart, Nährstoffgehalte und Salzgehalt, vgl. Tabelle 6 und Tabelle 7)</li> <li>- Anwendung verursacht keine schädlichen Bodenveränderungen und ist nicht phytotoxisch</li> <li>- Anwendung bewirkt die Verbesserung mindestens eines Bodenparameters (z. B. verbesserte Nährstoffversorgung, bessere Wasserspeicherung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produkt erfüllt die Anforderungen der DIN EN 771-1:2015-11 <sup>[55]</sup> und ggf. weitergehend der DIN 20000-401:2017-01 <sup>[85]</sup>, wie z. B. Druckfestigkeitsklasse, Rohdichteklasse, Wärmeleitfähigkeit, Frostwiderstand (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 7)</li> <li>- Produkt ist mit Verwendbarkeitsnachweis nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) oder ggf. mit allgemeiner Bauartgenehmigung (aBG) als bauaufsichtlich verwendbar gekennzeichnet <sup>[103]</sup></li> <li>- Nachweis ökologischer Unbedenklichkeit im Rahmen werkseigener Produktionskontrolle (z. B. durch Elutionstests)</li> </ul>
<b>3. Anforderungen an die Behandlung des Materials (Teil 1)</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Betreiber der mobilen oder stationären Behandlungs-/Aufbereitungsanlage muss über die erforderlichen immissionsrechtlichen Genehmigungen für die Annahme und Behandlung von Baggergut verfügen.</li> <li>- Die angewandten Prozesse und Betriebsmittel sind rechtskonform</li> <li>- Im Rahmen der Behandlung sind zusätzliche Umweltbelastungen zu vermeiden</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anlage muss über immissionsrechtliche Genehmigung verfügen</li> <li>- Wesentliche Änderungen in der Prozessierung sind der Immissionsschutzbehörde anzuzeigen, ggf. genehmigen zu lassen</li> <li>- Minimierung der Emissionen auf ein nach 4. BImSchV <sup>[7],[8]</sup> zulässiges Maß (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Hg und ggf. andere flüchtige Metall(oxide) usw.)</li> <li>- Herstellung einer für die Hintermauerziegelproduktion geeigneten Rohstoffmischung</li> <li>- Zerstörung oder Immobilisierung der im Baggergut enthaltenen Schadstoffe durch den Brennvorgang</li> <li>- Sicherstellung einer homogenen und reproduzierbaren Materialqualität</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zielgerichtete Verminderung der Feststoffgehalte und Immobilisierung relevanter Schadstoffe mindestens bis zu den Kriterien der Materialklasse BG-F1 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> <li>- Sicherstellung ausreichender geotechnischer Eigenschaften für den Einsatzzweck</li> <li>- Erhalt der Dauerhaftigkeit und Standortsicherheit</li> <li>- Einhaltung der technischen Parameter nach den technischen Normen und Regelwerken (vgl. Tabelle 7)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zielgerichtete Verminderung, Abtrennung oder Immobilisierung relevanter Schadstoffe nach BBodSchV <sup>[4]</sup> und ggf. weiterer Verordnungen und Normen</li> <li>- Verbesserung bodenphysikalischer Eigenschaften</li> <li>- Herstellung eines natürlichen, standortkonformen Bodenmaterials</li> </ul>	

**Tabelle 9b.** Lastenheft für drei beispielhafte Verwertungsoptionen für Baggergut

Verwertungsweg Ersatzbaustoff	Bodennahe Verwertung	Verwertungsweg Hintermauerziegel
<b>3. Anforderungen an die Behandlung des Materials (Teil 2)</b>		
<p>Zulässige Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mechanische Aufbereitung (Entwässern, Sieben, Klassieren, Waschen)</li> <li>– Abtrennung stark belasteter Feinkorn-/Organikfraktionen</li> <li>– Bodenwäsche zur chemisch-physikalische Mobilisierung von Schadstoffen</li> <li>– Chemisch-physikalische Stabilisierung bzw. Immobilisierung</li> <li>– Verfahrenskombinationen</li> <li>– Die Auswahl und Auslegung des/der Verfahren sind anhand der Schadstoff- und Kornparameter zu begründen</li> </ul>	<p>Zulässige Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mechanische Aufbereitung (Entwässern, Sieben, Klassieren, Waschen)</li> <li>– Abtrennung stark belasteter Feinkorn-/Organikfraktionen</li> <li>– Biologische Behandlungsverfahren (z. B. Rotte-, Kompostierungs- oder Bioremediationstechniken)</li> <li>– Chemisch-physikalische Stabilisierung bzw. Immobilisierung</li> <li>– Mischung mit zugelassenen, unbelasteten Zuschlagstoffen zur Herstellung bodentypischer Eigenschaften</li> <li>– Die Verfahrensauswahl ist fachlich zu begründen und mit dem Auftraggeber und der Unteren Bodenschutzbehörde abzustimmen</li> </ul>	<p>Zulässige Verfahrensschritte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Mechanische Aufbereitung (Entwässern, Sieben, Zerkleinern, Homogenisieren)</li> <li>– Entfernung von Störstoffen (Wurzeln und andere Pflanzenbestandteile, Kies, Steine, sonstige Fremdstoffe)</li> <li>– Opt. Einstellung/Modifikation der erforderlichen mineralogischen und plastischen Eigenschaften</li> <li>– Mischung mit Primär- und/oder Sekundärrohstoffen</li> <li>– Formgebung (Strangpressverfahren)</li> <li>– Kontrollierte Trocknung zur Vermeidung einer Rissbildung</li> <li>– Adaption der Brenntemperatur und Brennzeit unter Beachtung der Energieeffizienz des Brennprozesses</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abgetrennte und nicht verwertbare Fraktionen sind ordnungsgemäß zu entsorgen</li> <li>– Entsorgungswege, Abfallschlüssel und Mengen von Reststoffen sind nachzuweisen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verwertung oder Entsorgung von Ausschussmaterial</li> <li>– Behandlung von Filterstäuben, Schlacken oder anderen Rückständen</li> </ul>
<b>4. Qualitätssicherung und Nachweispflichten</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Annahmeuntersuchung des Rohmaterials zur Verifikation und Sicherstellung der Eignung des Behandlungs-/Aufbereitungsverfahrens</li> <li>– Kontinuierliche werkseigene Produktionskontrolle zur Nachweisführung der Einhaltung der Zielwerte, Analysen durch akkreditierte Labore</li> <li>– Fremdüberwachung durch akkreditierte Prüfstelle</li> <li>– Wirksamkeitsnachweis des Verfahrens vor Inverkehrbringen des Produkts</li> <li>– Lückenlose Dokumentation der Stoffströme sowie der Prüf- und Analyseberichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nachweise zur bodenschutzrechtlichen Zulässigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Analytische Charakterisierung des Baggerguts, vollständige Dokumentation der Rohstoffherkunft und -zusammensetzung</li> <li>– Prozess-Qualitätskontrollen</li> <li>– Produktprüfung gemäß DIN EN 771-1:2015-11<sup>[55]</sup> und Kategorisierung nach DIN EN 15804:2022-03<sup>[75]</sup></li> <li>– Eluatuntersuchungen zur Bewertung der Umweltverträglichkeit</li> <li>– Prüf- und Zertifikatsunterlagen, Zusammenarbeit mit anerkannten Prüf- und Überwachungsstellen</li> <li>– Leistungserklärung für das Produkt</li> <li>– Konformität zur BauPVO (EU) Nr. 305/2011<sup>[12]</sup> mit CE-Kennzeichnung</li> </ul>
<b>5. Umwelt- und Sicherheitsanforderungen, normativer Rahmen</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Prozessanforderungen: Verminderung der Emissionen der Abfallbehandlungsanlage/Aufbereitungsanlage/Produktionsanlage gemäß 4. BImSchV<sup>[7]</sup> (Staub, Schadstoffe, Lärm usw.) und sonstiger Bestimmungen<sup>[8]</sup>; Schutz vor Schadstoffverlagerungen in Boden, Wasser und Luft; ordnungsgemäßer Umgang mit belasteten Stoffen, Sickerwässern, Emissionen; Einhaltung aller arbeitsschutz- und gefahrstoffrechtlicher Vorgaben; Schutz-/Schulungsmaßnahmen für Personal bei Umgang mit kontaminiertem Material; Einhaltung aller sonstigen einschlägigen/zutreffenden gesetzlichen und technischen Regelwerke</li> <li>– Produktanforderungen: Einbau des Produktes nach zugelassenen, genormten Kriterien, Sicherstellung, dass in der Handhabung und beim Einsatz des Produktes keine Schutzgüter beeinträchtigt werden</li> </ul>		
<b>6. Logistik und Organisation</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transportkonzept für das Ausgangsmaterial und das Zielprodukt ggf. mit eANV (elektron. Abfallnachweisverfahren)<sup>[104]</sup></li> <li>– Optional Zwischenlagerung unter geeigneten Bedingungen (ggf. Abdeckung, Entwässerung)</li> <li>– Rückverfolgbarkeit von Baggergutchargen (Herkunft, Zulauf-, Zentrum-, Ablaufbereich, Datum der Entnahme)</li> <li>– Konkretisierung des Verwendungsortes des Produktes = Ende der Abfalleigenschaft</li> </ul>		
<b>7. Schnittstellen und Verantwortlichkeiten</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Definition der Verantwortlichkeiten zwischen Auftraggeber, Auftragnehmer, Behörden u. a. Beteiligten</li> <li>– Benennung eines fachlich qualifizierten Projektverantwortlichen</li> </ul>		
<b>8. Wirtschaftliche und terminliche Rahmenbedingungen</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Entwicklung einer wirtschaftlich sinnvollen und nachhaltigen Lösung</li> <li>– Transparente Darstellung der Kostenstrukturen (Transport, Zwischenlager, Behandlung, Analytik, Entsorgung)</li> <li>– Einhaltung definierter Zeitpläne und Fristen</li> </ul>		
<b>9. Abnahmekriterien</b>		
<p>Abnahme erfolgt, wenn das Ende der Abfalleigenschaft begründet und</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– alle normativen, rechtlichen und ggf. bauaufsichtlichen Anforderungen erfüllt sind</li> <li>– die definierten Qualitäts- und Umweltkriterien sowie technischen Kennwerte eingehalten werden und</li> <li>– die vollständige Dokumentation vorliegt</li> </ul>		
<b>10. Schlussbestimmung</b>		
<p>Das Lastenheft ist verbindlich. Änderungen bedürfen der Zustimmung des Auftraggebers und der eingebundenen Behörden.</p>		

#### 4.3.2 Erstellung eines Pflichtenheftes für verschiedene Verwertungsoptionen (A 2.2.2)

Die Erstellung eines Pflichtenheftes zur Verwertung von Baggergut konkretisiert die im Lastenheft formulierten Anforderungen des Auftraggebers (Kap. 4.3.1) und beschreibt verbindlich, mit welchen technischen, organisatorischen und rechtlichen Maßnahmen der Verwerter als Auftragnehmer die Behandlung des Baggerguts durchführen und das geforderte Zielprodukt herstellen will. Das Pflichtenheft ist der Projektleitfaden mit einer detaillierten Leistungsbeschreibung, auf dem die rechtliche Genehmigungs- und technische Realisierungsfähigkeit des Vorhabens beruht. Es dient als detaillierter Bauplan und Vertragswerk und regelt:

- Die Verbindlichkeit:  
Das Pflichtenheft ist die vertragliche Grundlage für die Abnahme bzw. Freigabe. Was in diesem Vertragsbestandteil enthalten ist, wird wie beschrieben ausgeliefert.
- Das Technische Design der Behandlung und die Fertigung des Produkts:  
Das Pflichtenheft transkribiert die fachlichen Anforderungen in technische Spezifikationen.
- Die Planungssicherheit:  
Das Pflichtenheft dient dem Auftragnehmer zur internen Ressourcenplanung und Kalkulation von Personal, Zeit und Kosten. Die Aufschlüsselung der Kostenarten ist aber Bestandteil des Angebots und des Projektvertrags.
- Den Schutz vor Leistungsausweitung:  
Das Pflichtenheft grenzt den Leistungsumfang ab, damit während des Projektes vom Auftraggeber keine neuen, unbezahlten Zusatzleistungen gefordert werden können.

In den folgenden Tabelle 10a bis d werden die grundlegenden Anforderungen an ein Pflichtenheft für die drei Verwertungswege

- **Mineralischer Ersatzbaustoff**
- Produkt zur **bodennahen Verwertung** (Bodenverbesserer) und
- Zuschlagstoff für **Hintermauerziegel**

systematisch dargestellt. Das skizzierte Pflichtenheft beschreibt, wie der Auftragnehmer die im Lastenheft definierten Anforderungen technisch und organisatorisch umsetzt muss. Es konkretisiert Materialannahme, Genehmigungsmanagement, Anlagenbetrieb, Qualitätssicherung und Projektsteuerung und schafft damit die verbindliche Grundlage für eine rechtssichere, umweltverträgliche und wirtschaftlich tragfähige Verwertung von Baggergut. Das Muster-Pflichtenheft gliedert sich in folgende Kapitel:

**1. Ausgangssituation und Materialherkunft:** Das Pflichtenheft beschreibt die Herkunft des Baggerguts (z. B. eine der in Abbildung 1 genannten Stauhaltung) einschließlich geogener und nutzungsbedingter Vorbelastungen. Art, Menge, zeitliche Anfallstruktur (einmalige oder intervallmäßige Sedimentberäumungsmaßnahme) und zu erwartende Materialcharakteristika (Schadstoffe, Nährstoffe, Organik, Mineralogie, Korngrößen usw.) sind darzustellen. Ggf. muss auch auf standortbezogenen Besonderheiten eingegangen werden. Grundlage sind die vom Auftraggeber beigebrachten historischen Analysen, Sedimentgutachten und sonstige Vorkundungen.

**2. Projektabgrenzung und Verantwortlichkeiten:** Der Auftragnehmer verantwortet die technische Umsetzung, Genehmigungscoordination, Eigenüberwachung und Dokumentation. Schnittstellen bestehen zum Abfallerzeuger und Abfallbeförderer (Probenahme, Deklaration), zu Genehmigungsbehörden und Überwachungsstellen, zu akkreditierten Prüflaboren, sowie zum Abnehmer des Produktes (ggf. Händler/Inverkehrbringer). Verantwortlichkeiten für Freigabeentscheidungen und Chargenklassifizierung sind eindeutig festzulegen.

- Mineralischer Ersatzbaustoff: Die Projektgrenzen des Verwerterers umfassen die Annahme, die Aufbereitung, die Qualitätsprüfung und Auslieferung des Ersatzbaustoffs.
- Bodenverbesserer: Der Verwerter übernimmt die Aufbereitung, Hygienisierung, Qualitätssicherung und Logistik bis zur Ausbringung. Schnittstellen bestehen zu Landwirten,

Bodengutachtern und Behörden. Verantwortlichkeiten für Flächenauswahl und Nährstoffbilanzierung sind eindeutig zuzuordnen.

- Hintermauerziegel: Der Auftragnehmer verantwortet die Aussortierung von Pflanzenteilen u. a. Störstoffen, die Trocknung, Aufmahlung und Homogenisierung sowie die Integration des Materials in die Rezeptur und den anschließenden Brandprozess unter Beteiligung von Prüfinstituten (Materialtests).

**3. Beschreibung des Ausgangsmaterials:** Das Pflichtenheft definiert die Annahmekriterien (z. B. maximale Schadstoffgehalte, organische Bestandteile, Carbonatgehalt, Korngrößenverteilung, Fremdstoffanteil, Wassergehalt, Salzgehalt, hygienische Parameter). Eine Eingangskontrolle umfasst visuelle Prüfung, Feuchtemessung, repräsentative Probenahme nach einschlägigen Normen sowie mineralogische und chemische Analytik (Feststoffgehalte und Eluatverhalten), ggf. auch mikrobiologische Untersuchungen. Chargen werden eindeutig gekennzeichnet und rückverfolgbar dokumentiert.

**4. Rechtlicher Rahmen:** Die Abfallbehandlung unterliegt i. d. R. einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nach BImSchG <sup>[6]</sup> bzw. 4. BImSchV <sup>[7]</sup>, sofern relevante Emissionen (Schadstoffe, Staub, Geruch, Lärm usw.), Anlagengrößen und umgeschlagene Abfallmengen erreicht werden. Abfallrechtliche Zulassungen betreffen die Lagerung und Behandlung bis zum Erreichen des Abfallendes. Bei Prozesswasseranfall sind wasserrechtliche Erlaubnisse und Anforderungen an die Einleitung in Gewässer oder Kanalisation zu beachten. Zusätzlich sind (abhängig vom Verwertungsweg) Fachverordnungen wie die Ersatzbaustoffverordnung <sup>[3]</sup> oder bodenschutz- und düngerechtliche Vorgaben oder Bauproduktregelwerke einzuhalten. Tangierende Rechtsbereiche umfassen Arbeitsschutz-, Gefahrstoff-, Naturschutz- und Bodenschutzrecht.

**5. Zielprodukt und Einsatzbereiche:** Das Pflichtenheft beschreibt den konkreten Einsatzzweck und die dabei einzuhaltenden technischen und umweltrelevanten Kennwerte entsprechend dem vorgesehenen Einsatzbereich.

- Mineralischer Ersatzbaustoff: Das Zielprodukt ist ein güteüberwachter mineralischer Ersatzbaustoff gemäß den Vorgaben des Auftraggebers (Materialklasse, Einbauweise). Einsatzbereiche können Tragschichten, Verfüllungen oder Lärmschutzbauwerke sein.
- Bodenverbesserer: Das Zielprodukt ist ein definierter Bodenverbesserer mit spezifizierter Trockenmasse, organischem Anteil und Nährstoffgehalt. Einsatzbereiche sind landwirtschaftliche Flächen oder Rekultivierungsstandorte gemäß Vorgabe des Auftraggebers.
- Hintermauerziegel: Zielprodukt ist ein Hintermauerziegel mit definierten Festigkeits- und Rohdichteklassen gemäß Vorgabe des Auftraggebers. Einsatzbereich ist der nicht sichtbare Mauerwerksbereich im Hochbau.

**6. Behandlungskonzept:** Der Verwerter beschreibt die geplanten Aufbereitungsschritte und deren Parametrisierung:

- Mineralischer Ersatzbaustoff: Vorgesehen sind mechanische Entwässerung, Klassierung, Siebung, Stabilisierung/Immobilisierung. Die Prozessparameter (z. B. Dosierung von Bindemitteln, Aktivatoren, Zielrestfeuchte) werden verbindlich festgelegt, um die geforderte mechanische Tragfähigkeit und Umweltverträglichkeit zu erreichen.
- Bodenverbesserer: Maßnahmen können Entwässerung, Kompostierung, Mischung mit Strukturmaterial oder Kalkstabilisierung umfassen. Die Prozessparameter wie Rottezeit, Temperaturführung und Mischungsverhältnisse sind konkret festzulegen.
- Hintermauerziegel: Erforderlich sind Sortierung, Trocknung, Mahlung, Siebung und Homogenisierung zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Rohstoffqualität. Nachfolgend wird die Rezepturanpassung im Labor-/Technikumsmaßstab abgestimmt und dokumentiert und Probebrände durchgeführt. Die Modifikation des Herstellungsprozesses erfordert vor dem Start der Serienfertigung eine behördliche Anzeige oder ggf. eine Änderungsgenehmigung.

**7. Behandlungsanlage:** Die Anlagen- und Betriebszulassungen sind nachzuweisen. Es ist eine vollumfängliche Anlagenbeschreibung mit einem Verfahrensschema, der Benennung der

Hauptaggregate, der Energie- und Stoffströme sowie den Schutzeinrichtungen (Staub-, Geruchs-, Schall- und Schadstoffemissionsminderung sowie sonstige technische und organisatorische Arbeitssicherheits- und Umweltschutzmaßnahmen) vorzulegen. Die Kontrollpunkte der Prozessüberwachung sind zu benennen. Das Stoffstrommanagement inkl. der Übergabepunkte ist zu konkretisieren (Annahmehbereich, Zwischenlager, Reststoffe, Produkte, Nebenprodukte). Nicht konforme Chargen sind zu separieren und entweder nachzubehandeln oder mit Nachweis ordnungsgemäß zu entsorgen. Ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess ist zu implementieren. Notfall- und Störfallpläne sind vorzulegen. Diese müssen Maßnahmen bei Anlagenstillstand, Prozessfehlern oder unzulässigen Prozessabweichungen oder Grenzwertüberschreitungen (z. B. Emissionsabweichungen) definieren.

**8. Zeitliche Projektplanung:** Das Pflichtenheft enthält einen Projektstrukturplan von der Genehmigungsphase über Pilotbetrieb und den Eignungsnachweis bis zum Regelbetrieb. Meilensteine umfassen Genehmigungserteilung, Inbetriebnahme, Fremdüberwachung und Abnahme bzw. Freigabeentscheidung durch den Auftraggeber und/oder Behörde. Unter Umständen kann auch ein mehrjähriges Erfolgskontrollprogramm vorgesehen sein.

**Tabelle 10a.** Pflichtenheft für drei beispielhafte Verwertungsoptionen für Baggergut

Verwertungsweg Ersatzbaustoff	Bodennahe Verwertung	Verwertungsweg Hintermauerziegel
<b>1. Ausgangssituation und Materialherkunft</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- [X] m<sup>3</sup> Baggergut aus Stauhaltung (UGT, VFO, VDI, FTH, VDO)</li> <li>- Baggergut anorganisch und teilweise organisch (TOC) kontaminiert <sup>[87]</sup> und erfüllt nicht die Anforderungen der Materialklasse BG-F3 der ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> <li>- Überwiegend hoher Feinkornanteil <sup>[92], [98], [105]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- [X] m<sup>3</sup> Baggergut aus Stauhaltung (VFO, bedingt UGT)</li> <li>- Baggergut enthält im Hinblick auf die zulässigen Materialwerte der BBodSchV <sup>[4]</sup> zu hohe Zn- und Cd- und teilweise zu hohe As-Feststoffkonzentrationen und zu hohe Sulfatwerte im Eluat <sup>[87]</sup></li> <li>- Baggergut hat nach § 8 (1) BBodSchV <sup>[4]</sup> einen für die Verwertung außerhalb/unterhalb der durchwurzelbaren Zone zu hohen Feinkornanteil (z. B. UGT: Kornanteil &lt; 63 µm ca. 80 ± 10 % <sup>[98]</sup>)</li> <li>- Nährstoffgehalt des Baggerguts (u. a. ca. 1,5 g/kg P und ca. 6 g/kg K <sup>[106]</sup>) müsste optimiert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- [X] m<sup>3</sup> Baggergut aus Stauhaltung (UGT, VFO, VDI, FTH, VDO)</li> <li>- Baggergut ist sehr feinkörnig (d<sub>90%</sub> zwischen 40 und 63 µm) <sup>[105]</sup></li> <li>- Mineralogisch besteht das Material aus ca. 10 % Orthoglas/Plagioklas, ca. 30 % Quarz, ca. 5 % Zweischicht-, ca. 25 % Dreischicht- und ca. 10 % Vierschichttonminerale sowie ca. 20 % anderen Mineralphasen <sup>[105]</sup></li> <li>- Baggergut enthält je nach Herkunft zwischen 3,5 und 9,9 Masse% TOC <sup>[87], [105]</sup>, davon ca. 70 bis 75 % biogener C <sup>[105]</sup> (nach DIN EN ISO 21644:2021-07 <sup>[107]</sup>)</li> <li>- Baggergut hat einen hohen Wassergehalt zwischen 70 und 80% (Originalsubstanz) <sup>[87]</sup></li> <li>- S-Gehalt zwischen 0,3 und 0,7 Masse% und Pb-Gehalt zwischen 0,04 und 0,24 Masse% <sup>[105]</sup></li> </ul>
<b>2. Projektabgrenzung und Verantwortlichkeiten</b>		
<b>2.1 Akteure und Schnittstellen</b>		
Auftraggeber: Bereitstellung der Ausgangsdaten, Zieldefinition und Beauftragung Auftragnehmer: Benennung eines Projektleiters, technische Umsetzung, Qualitätssicherung und Nachweisführung Behörden und Prüf-/Überwachungsstellen: Kontrolle, Überwachung und Freigabe		
<b>2.2 Aufgaben des Auftragnehmers</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Annahme, Behandlung und Aufbereitung und Klassifizierung des Baggerguts</li> <li>- Qualitätssicherung und Dokumentation</li> <li>- Abstimmung mit Genehmigungsbehörde(n) und Prüf-/Überwachungsstellen im vereinbarten Umfang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Annahme, Aufbereitung und Bewertung des Baggerguts als Hintermauerziegelrohstoff</li> <li>- Sicherstellung der Produkt- und Umweltkonformität</li> <li>- Mitwirkung bei Genehmigungs- und Abstimmungsprozessen mit Behörden</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung eines ErsatzbaustoffV-konformen <sup>[3]</sup> mineralischen Ersatzbaustoff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung eines BBodSchV-konformen <sup>[4]</sup> bodenähnlichen Materials</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integration des Baggerguts in den Herstellungsprozess für Hintermauerziegel (ca. 5-10 Masse% Zuschlag <sup>[108], [109]</sup> bei ca. 20 t Tagesbedarf <sup>[110]</sup>)</li> </ul>
<b>3. Beschreibung des Ausgangsmaterials</b>		
<b>3.1 Annahmekriterien</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dokumentierte Herkunft aus den in 1. genannten Stauhaltungen</li> <li>- Vorliegen einer mindestens orientierenden Materialcharakterisierung</li> </ul>		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überwiegend mineralische, feinkörnige Zusammensetzung des Materials (Ton und Schluff) mit möglichst geringem Pflanzen(rest)anteil <sup>[111]</sup></li> <li>- Hinreichendes Rohstoffvolumen für mindestens zwei Jahre <sup>[110]</sup></li> <li>- Entwässertes Material mit Wassergehalt &lt; 50 % <sup>[111]</sup></li> <li>- S-Zielwert &lt; 0,1 Masse% <sup>[93]</sup>, Hg-Zielwert &lt; 0,45 mg/kg <sup>[87], [99]</sup>, opt. Pb-Zielwert &lt; 0,03 Masse% <sup>[93]</sup></li> </ul>
<b>3.2 Eingangskontrolle</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung des Herkunftsnachweises und Sicht- bzw. Identitätsprüfung des angelieferten Materials</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durchführung der Eingangsklassifizierung nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup> (BG-F0..BG-F3 oder Überschreitung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eingangsbeprobung und Analyse des Materials nach BBodSchV <sup>[4]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eingangskontrolle, dass Baggergut als Sekundärrohstoff die Produktanforderungen nach DIN 771-1:2015-11 <sup>[55]</sup> nicht gefährdet und keine unzulässigen Schadstoffgehalte, v. a. im Hinblick auf die genehmigten Emissionswerte, enthalten sind</li> <li>- Bestimmung des biogenen C aufgrund der Befreiung von der CO<sub>2</sub>-Abgabepflicht (§ 7 (4) BEHG <sup>[112]</sup>)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optional Abtrennung von unverwertbaren Chargen</li> </ul>		

**Tabelle 10b.** Pflichtenheft für drei beispielhafte Verwertungsoptionen für Baggergut

4. Rechtlicher Rahmen einer Behandlung/Aufbereitung		
4.1 Immissionsschutzrechtliche Genehmigung nach BImSchG <sup>[6]</sup>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorlage einer Genehmigung für eine ortsfeste Anlage oder mobile Anlage, die länger als zwölf Monate betrieben wird (§ 1 4. BImSchV <sup>[7]</sup>), die zur Behandlung und Lagerung von Abfällen dient (soweit zutreffend Anlage 8.1, 8.6, 8.7, 8.8, 8.12 oder 8.14, Anhang 1 der 4. BImSchV <sup>[7]</sup>)</li> <li>- Unter Umständen Bestellung eines Immissionsschutzbeauftragten nach §§ 53-55 BImSchG <sup>[6]</sup> und § 1 ff. 5. BImSchV <sup>[113]</sup> in Verbindung mit Anhang 1 der 4. BImSchV (Anlagentyp 8.7 und 8.8) <sup>[7]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anlagen zur Herstellung von Ziegeln mit Einsatz von Brennöfen sind nach § 4 BImSchG <sup>[6]</sup> als Anlage 2.10, Anhang 1 der 4. BImSchV <sup>[7]</sup> genehmigungsbedürftig (Vorgaben zu Emissionsgrenzwerten, Rohstoffen, Betriebsbedingungen, Überwachungs- und Messpflichten, Dokumentations- und Berichtspflichten), Beachtung der Emissionsgrenzwerte und Anforderungen an die Abgasreinigung, sowie diffusen Emissionen (Rohstofflager) nach TA Luft <sup>[8]</sup></li> <li>- Nutzung von Baggergut ist nach § 15 BImSchG <sup>[6]</sup> anzeigepflichtig, kann aber auch nach § 16 BImSchG <sup>[6]</sup> als wesentliche Änderung gewertet werden und genehmigungspflichtig sein</li> </ul>	
4.2 Abfallrechtliche Zulassung nach KrWG <sup>[2]</sup>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zertifizierung des Betreibers als Entsorgungsfachbetrieb auf Basis von §§ 56 und 57 KrWG <sup>[2]</sup> und Anlage 3 zu § 25 EfbV <sup>[114]</sup></li> <li>- Optional Benennung eines Abfallbeauftragten (§§ 2 (1), 23, 59 KrWG <sup>[2]</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachweis einer stofflichen Verwertung von Baggergut und Übergang von Baggergut als Abfall zu einem Produkt</li> <li>- Begründung der Rohstoffsubstitution, Nachweis der Stoffströme und Produktqualität</li> </ul>	
4.3 Wasserrechtliche Erlaubnis nach WHG <sup>[34]</sup> , Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer – AbwV <sup>[115]</sup>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorlage der wasserrechtlichen Erlaubnis im Falle des Abwasseranfalls bei der Behandlung/Aufbereitung oder sonstigen potenziellen Auswirkungen auf das Grundwasser im Rahmen des Anlagenbetriebs und sowie Niederschlagswassereinleitung von Lagerstätten in die Kanalisation</li> <li>- Anforderungen an Anlagen im Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und Lagern von festen Stoffen oberhalb von 1000 t nach § 13 AwSV anzeigepflichtig <sup>[116]</sup></li> <li>- Abwasseranforderungen in Anhang 26, ggf. Anhang 51 AbwV <sup>[115]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sofern die Genehmigung nach BImSchG <sup>[6]</sup> die wasserrechtliche Erlaubnis nicht einschließen sollte (nach immissionsschutzrechtlicher Konzentrationswirkung), ist sie im Rahmen des Lagerbetriebs i. d. R. erforderlich; größere Lager sind nach § 13 AwSV anzeigepflichtig <sup>[116]</sup>, Abwasseranforderungen in Anhang 17 AbwV <sup>[115]</sup></li> </ul>	
4.4 Konformität mit Fachverordnungen		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachweisbare Umsetzung der Anforderungen der Ersatzbaustoffverordnung <sup>[3]</sup> (Zuordnung der Materialklasse, Untersuchungsumfang und Dokumentation, Einhaltung der zulässigen Einbauweisen/Einbaubedingungen, Berücksichtigung landesspezifischer Vollzugshinweise)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachweisbare Umsetzung der Anforderungen des BBodSchG <sup>[33]</sup> und der BBodSchV <sup>[4]</sup> (Einhaltung der Vorsorge-, Prüf- und ggf. Maßnahmenwerte, Untersuchungsumfang und Dokumentation, Berücksichtigung landesspezifischer Vollzugshinweise)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CE-Kennzeichnung für marktfähige Ziegel, Leistungserklärung, an das Baggergut angepasste werkseigene Produktionskontrolle (WPK) nach Bauproduktenverordnung <sup>[12]</sup></li> <li>- Im Falle einer Abweichung des Produktes von DIN 771-1:2015-11 <sup>[55]</sup> und eines nicht normgeregelten Einsatzes (Sonderbau, neue Systemlösungen o. Ä.) ist eine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) und/oder allgemeine Bauartgenehmigung (aBG) erforderlich <sup>[103]</sup></li> </ul>
4.5 Beachtung weiterer tangierender Rechtsbereiche		
- Wasser-Landesgesetze <sup>[35]</sup> , Arbeitsschutz- <sup>[117]</sup> , Gefahrstoff- <sup>[118]</sup> , Bodenschutzrecht (→Rohstofflager) <sup>[33]</sup> u. a.		
5. Zielprodukt und Einsatzbereiche		
5.1 Zielprodukt nach Vorgabe des Auftraggebers		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung eines ErsatzbaustoffV-konformen mineralischen Ersatzbaustoffs der BG-F1-Klasse (Material erfüllt alle Feststoff- und Eluatgrenzwerte nach Anlage 1, Tab. 3 und ggf. Tab. 4) <sup>[3]</sup> und Sicherstellung der Eignung des aufbereiteten Materials für den vorgesehenen Einsatz und die zulässigen Einbauweisen nach Anlage 2, Tab. 6 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung eines bodenähnlichen Materials, das die Anforderungen der BBodSchV <sup>[4]</sup> für das Auf- oder Einbringen auf/in den Boden erfüllt sowie standortangepasste bodenphysikalische, -chemische und -biologische Eigenschaften aufweist (gemäß Auftragsvorgabe in Form einer Parameter-Zielwerttabelle) und keine schädlichen Bodenveränderungen verursacht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung von Hintermauerziegeln, die die normativen (DIN 771-1:2015-11 <sup>[55]</sup>) und bauaufsichtlichen Anforderungen (CE-Kennzeichnung) erfüllen (→ Druckfestigkeit, Rohdichte, Maßhaltigkeit, Wärmeleitfähigkeit), die anteilig aus aufbereitetem Baggergut bestehen und keine schädlichen Emissionen verursachen oder eine umweltrelevante Schadstoffmobilisierbarkeit durch Elution aufweisen</li> </ul>
5.2 Einsatzbereiche nach Vorgabe des Auftraggebers		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Straßenunterbau (Tragschicht, Frostschuttschicht usw.)</li> <li>- Erd- und Ingenieurbauwerke (Dämme, Lärmschutzwälle usw.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenverbesserer</li> <li>- Rekultivierung/Renaturierung von Flächen, Landschaftsbau</li> <li>- Vegetationstragschichten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tragendes oder nicht tragendes Mauerwerk</li> </ul>

**Tabelle 10c.** Pflichtenheft für drei beispielhafte Verwertungsoptionen für Baggergut

6. Behandlungskonzept		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mechanische Aufbereitung (Entwässern, Sieben, Waschen, Klassieren, Abtrennung von Fremdstoffen)</li> <li>- Ggf. Abtrennung der unbelasteten Grobstofffraktion (&gt; 2 mm, Kies) zur direkten Verwendung</li> <li>- Schadstoffmobilisierung in der Feinkornfraktion mit Säure-/Komplexbildner-Behandlung oder ggf. oxidative oder thermische Behandlung</li> <li>- Optional Einsatz von Zuschlagstoffen zur Immobilisierung der verbliebenen Schadstoffe in der Feststoffmatrix</li> <li>- Kornbandoptimierung (Partikelgrößenoptimierung für verbesserte Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit)</li> <li>- Nachweis Tragfähigkeit und Verformbarkeit nach DIN 18134:2012-04 [119], Verdichtungsgrad [120], Frostbeständigkeit [121]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mechanische Aufbereitung (Entwässern, Sieben, Waschen, Klassieren, Abtrennung von Fremdstoffen)</li> <li>- Abtrennung von hochbelasteten [Korn-]Fraktionen und Entsorgung oder Behandlung/Aufbereitung und Verwertung als Ersatzbaustoff</li> <li>- Biologische Verfahren (Mietenbehandlung, Rotte, Bioremediation)</li> <li>- Optional Einsatz von Zuschlagstoffen zur Immobilisierung der verbliebenen Schadstoffe in der Feststoffmatrix</li> <li>- Mischung mit unbelastetem Bodenmaterial und/oder Kompost und sonstigen Zuschlagstoffen bzw. Nährstoffen zur Einstellung der standortspezifischen Zielparameter (mit fachlicher Begründung und Abstimmung mit dem Auftraggeber und der Unteren Bodenschutzbehörde)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Separate Voraufbereitung, analog zum Behandlungs- und Aufbereitungskonzept für Ersatzbaustoffe, um S- und Hg- und ggf. Pb-, Zn-, As- und Cd-Gehalte zu senken</li> <li>- Mechanische Aufbereitung (Entwässern, Sieben, Waschen, Klassieren, Abtrennung von Fremd- und Störstoffen)</li> <li>- Mischen von Primär- und Sekundärrohstoffen und Einstellung des Wassergehalts und der Plastizität</li> <li>- Versuchsreihen im Technikumsmaßstab zur Rezepturentwicklung</li> <li>- Bemessung der Emissionsrisiken und Immobilisierung von Schadstoffen</li> <li>- Rezepturfreigabe und Anzeige/Änderungsgenehmigung nach §§ 15 oder 16 BImSchG [6]</li> <li>- Herstellung in Serienfertigung:               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Aufbereitung (Kollergang, Walze)</li> <li>(2) Formgebung (Strangpresse)</li> <li>(3) Trocknung (Trockenkammer)</li> <li>(4) Brennprozess (950-1.050°C) [109]</li> </ol> </li> </ul>
7. Behandlungsanlage		
7.1 Anlagenbeschreibung		
- Art der Abfallaufbereitungsanlage (stationär oder mobil)		- Anlage dient der Herstellung von Hintermauerziegeln (≠Abfallbehandlungsanlage)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durchsatzleistung (maximale Stunden- und Jahresdurchsatzleistung)</li> <li>- Technische Hauptaggregate der Anlage und Funktionen</li> <li>- Stoffliche und räumliche Trennung von Annahme-, Behandlungs- und Produktbereich (getrennte Kennzeichnungssysteme, getrennte Lager- und Förderwege und Übergabepunkte, Freigaberegeln, Vermeidung von Kreuzkontaminationen, Rückverfolgbarkeit von Chargen, kontrollierbare Stoffströme, Maßnahmen zur Begrenzung von Störfällen)</li> </ul>		
7.2 Anlagen- und Betriebszulassung		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genehmigungsstatus der Anlage, vorliegende Genehmigungen (siehe 4.1 bis 4.3) und Vollständigkeit über alle Verfahrensschritte/-teile, relevante Nebenbestimmungen und Auflagen sowie Genehmigungsstatus des Einsatzes von Baggergut</li> <li>- Vorliegende Anzeigen nach Landesabfallrecht (z. B. SächsKrWBodSchG [122]), wasserrechtliche Erlaubnis nach WHG [34], Anzeige nach AWSV [116], evtl. erforderliche baurechtliche Genehmigungen</li> <li>- Erklärung zur Sicherstellung der Genehmigungskonformität im Betrieb, Erklärung zum Umgang mit Änderungen</li> <li>- Benennung der zuständigen Genehmigungs-/Aufsichts- und Fachbehörden</li> <li>- Benennung eines Projektverantwortlichen</li> <li>- Erklärung, dass qualifiziertes bzw. fachkundiges Personal eingesetzt wird, Betriebsanweisungen vorliegen und die Anlage nur im Rahmen der genehmigten Betriebsparameter gefahren wird</li> </ul>		
- Eignungsnachweis nach § 5 ErsatzbaustoffV [3]		- Genehmigte Rohstoffe: Baggergut ist zur Nutzung anzuzeigen oder im Falle einer genehmigungspflichtigen Änderung zu genehmigen (→ 4.1)
7.3 Prozessüberwachung und Qualitätssicherung		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung der relevanten Prozessparameter und Dokumentation</li> <li>- Eingangs-, Prozess- und Abschlussanalysen, Probenahmen gemäß § 8 ErsatzbaustoffV [3] nach LAGA PN 98 [123] und ergänzend nach DIN 19698-1:2014-05 [124] und DIN 19698-2:2016-12 [125] bzw. nach DIN ISO 18400-101:2020-11 [126], DIN ISO 18400-104:2020-11 [127] und DIN 18400-107:2020-11 [128]</li> <li>- Werkseigene Produktionskontrolle (WPK) und Fremdüberwachung (FÜ) nach §§ 6, 7 und Anlage 4 ErsatzbaustoffV [3]</li> <li>- Einsatz akkreditierter Prüflabore für die Analytik, Bestimmungsverfahren nach Anlage 5 ErsatzbaustoffV [3]</li> <li>- Zusammenarbeit mit anerkannten Prüf- und Überwachungsstellen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prozessbegleitende Qualitätssicherung durch Überwachung der relevanten Prozessparameter und Dokumentation der Produktionsbedingungen</li> <li>- Interne (WPK) und externe (FÜ) Produktprüfung gemäß DIN 771-1:2015-11 [55] und Eluat- und Emissionsuntersuchungen</li> <li>- Berichte zur Umwelt- und Emissionsüberwachung</li> <li>- Abfallrechtliche Dokumentation</li> <li>- Zusammenarbeit mit anerkannten Prüf- und Überwachungsstellen</li> </ul>

**Table 10d.** Pflichtenheft für drei beispielhafte Verwertungsoptionen für Baggergut

<b>7.4 Stoffstrommanagement</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Annahmekontrolle, Chargenbildung, Chargenkennzeichnung</li> <li>- Räumlich getrennte Lagerung und Materialführung unterschiedlicher Chargen</li> <li>- Rückverfolgbarkeit jeder Materialbewegung in der Anlage</li> <li>- Unterbinden von Vermischungen nicht freigegebener Materialien</li> <li>- Behandlung des Materials als Abfall bis zur Erfüllung der Verwertungsvoraussetzungen</li> <li>- Separierung von Chargen, die nicht die Anforderungskriterien erfüllen (→ 7.5)</li> <li>- Entsorgung von Reststoffen mit Entsorgungsnachweis, sofern keine weitere Verwertung möglich oder wirtschaftlich sinnvoll ist</li> <li>- Zuordnung des aufbereiteten Materials zu den in 5.2 genannten Anwendungen</li> <li>- Abgabe nach Vorlegen der Freigabeanalytik und Transport zum Einbauort</li> <li>- Dokumentation der Abgabemengen und Einbauorte</li> <li>- Lieferscheine, konform zu § 25 bzw. Anlage 7 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> <li>- Vollständige Dokumentation der Stoff- bzw. Chargenströme sowie aller Analysen-, Prüf- und Klassifizierungsberichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rohstoff-, Chargen- und Stoffstromdokumentation</li> <li>- Separierung von Chargen, die nicht die Anforderungskriterien erfüllen (→ 7.5)</li> <li>- Analysen- und Prüfberichte</li> <li>- Konformitätserklärungen und CE-Unterlagen</li> </ul>
<b>7.5 Umgang mit Chargen, die die Anforderungen nicht erfüllen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition einer Zielwertverfehlung vor der Behandlung/Aufbereitung (→ Referenz nach Anlage 6 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>)</li> <li>- Separierung, Sperrung und Kennzeichnung von Fehl-Chargen</li> <li>- Prozesstechnische und stoffliche Analyse der Zielwertverfehlung</li> <li>- Überprüfung von Prozessparametern und verwendeten Materialien</li> <li>- Anpassung der Prozessparameter und/oder Austausch von Materialien</li> <li>- Nachbehandlung der betroffenen Charge(n) bzw. Aufbereitung nach adaptierten Prozessparametern und/oder neuen Materialien oder Ausschluss der Charge(n) von der vorgesehenen Verwertung mit Einstufung als nicht verwertbar und Zuführung zu einer ordnungsgemäßen Entsorgung mit Entsorgungsnachweis</li> <li>- Vollständige Dokumentation des Vorgangs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition von Abweichungstatbeständen (Prozess- oder Produktqualitätsabweichung)</li> <li>- Separierung, Sperrung und Kennzeichnung nicht konformer Produkte</li> <li>- Ursachenanalyse und Korrekturmaßnahmen</li> <li>- Verwertung oder Entsorgung von Ausschussware gemäß rechtlichen Vorgaben</li> </ul>
<b>7.6 Kontinuierliche Verbesserung</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regelmäßige Bewertung der WPK und FÜ und ggf. Anpassung der Behandlung/Aufbereitung unter Beachtung möglicher Auswirkungen auf die Genehmigungen, Nebenbestimmungen und Betriebszulassung der Anlage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Änderungen in der Rezeptur und/oder Prozessierung anzeige- und ggf. genehmigungspflichtig (→ 4.1)</li> </ul>
<b>7.7 Schutzmaßnahmen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maßnahmen zur Staubminderung und Vermeidung von Emissionen (Befeuchtung, Abdeckung, Kapselung, Abluftfilter)</li> <li>- Maßnahmen zum Schutz von Boden und Grundwasser (befestigte und abgedichtete Lagerstätten, Schutz vor Schadstoffverlagerungen durch Auffangen von Sickerwasser, kontrollierte Entwässerung)</li> <li>- Geregelter Umgang mit Chemikalien (insbesondere Gefahrstoffen), kontaminierten Materialien, Prozesswässern und anderen Stoffströmen</li> <li>- Gefährdungsbeurteilung für die Anlage und die verwendeten Materialien</li> <li>- Vorhalten persönlicher Schutzausrüstung und Hygienemaßnahmen, regelmäßige Schulungen des Personals</li> <li>- Einhaltung genehmigter Emissionswerte nach 4. BImSchV <sup>[7],[8]</sup>, Monitoring emissionsrelevanter Parameter, Lärmschutz</li> </ul>	
<b>7.8 Notfall- und Störfallmanagement</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definition möglicher Störfälle (Prozessstörungen, Havarien, Freisetzung von Staub und Schadstoffen)</li> <li>- Beschreibung der Sofortmaßnahmen (automatische oder manuelle Prozessabschaltung, Separierung von betroffenen Chargen, Sicherung betroffener Bereiche, Schutzmaßnahmen für Personal und Umwelt)</li> <li>- Interne und externe Alarm- und Informationsketten (Kontaktpersonen, Behörden)</li> <li>- Dokumentation und ggf. Nachsorge</li> <li>- Wiederanlauf mit technischer Prüfung, Anpassung von Betriebsprozessen und/oder verwendeter Materialien und Freigabeentscheidung</li> </ul>	
<b>8. Projektplanung</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etappenplan mit Zeitplan, ggf. unter Angabe von möglichen Abweichungen:             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Projektstart: Zusammenstellung aller Ausgangsdaten, Abstimmung mit Auftraggeber und zuständigen Behörden, Festlegung der Zielparame-ter   3 Wo.</li> <li>(2) Transport des Materials zum Aufbereiter mit oder ohne Zwischenlager   fortlaufend über definierten Zeitraum</li> <li>(3) Materialannahme und Eingangskontrolle: Herkunftsnachweis, Sichtprüfung, Probenahme und Eingangsanalyse, Chargenbildung, ggf. Zurückweisung   fortlaufend über definierten Zeitraum</li> <li>(4) Behandlung/Aufbereitung: Prozessüberwachung, WPK, FÜ, prozessbegleitende Analytik   1-12 Wo. (je nach Prozess)</li> <li>(5) Qualitätsprüfung: Abschlussanalytik, Bewertung der Zielwertein- haltung, Dokumentation, Freigabe des Materials zur Verwertung oder Erfordernis einer Nachbehandlung oder Entsorgung   2-4 Wo. (bei Nachbehandlung variabel)</li> <li>(6) Auslieferung des Produkts nach Freigabe durch den Auftraggeber und ggf. durch die zuständige Fachbehörde und Einbau im vorgesehenen Einsatzbereich   2-4 Wo.</li> <li>(7) Projektabschluss mit Schlussbericht und Übergabe aller Nachweise und Dokumente   2-4 Wo.</li> </ol> </li> <li>- Organisationsplan/Akteure:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Auftraggeber (Freigabe und Abnahme), Projektleiter Auftragnehmer (Gesamtkoordinator), Betriebsleiter Anlage (Betrieb und Prozess), Qualitätssicherungsbeauftragter (Analytik, Freigabe), Sachbearbeiter Fachbehörde (Kontrolle, Freigabe), ggf. Umwelt-/Bodenschutzbeauftragter (Fachberatung)</li> </ul> </li> <li>- Kommunikationsstruktur:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Regeltermine, Ad-hoc-Meldung bei Abweichungen/Störfällen, schriftliche Freigaben</li> </ul> </li> <li>- Entscheidungs- und Kontrollpunkte:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Annahmefreigabe, Behandlung/Aufbereitung, ggf. Nachaufbereitung, Freigabe zur Verwertung oder Ausschluss</li> </ul> </li> <li>- Umgang mit Verzögerungen und Abweichungen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentationspflicht, Information an den Auftraggeber und die ggf. eingebundenen Behörde, Anpassung des Zeitplans</li> </ul> </li> </ul>	

**Meilenstein 2:** Die Kriterien zur Verwertung subhydrischer Sedimente sind erfüllbar.

#### 4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Evaluierung von Verwertungsoptionen zur Vermeidung von Beseitigung (AS 3.6)

##### 4.4.1 Evaluierung von Kostenfaktoren (A 3.6.1)

Das Sedimentberäumungsmanagement an Stauanlagen im Rahmen von Gewässerunterhaltungsmaßnahmen umfasst die (1) Erkundung, Beprobung und Materialklassifikation, (2) die Beräumung und Entwässerung und (3) den Abtransport sowie (4) die Behandlung und ggf. (5) Produktherstellung und -zertifizierung oder die Entsorgung. Jede dieser einzelnen Projektphasen ist technisch, rechtlich und kostenseitig eigenständig zu bewerten und auf den nachfolgenden Schritt abzustimmen. Die Komplexität ergibt sich aus der Menge und Beschaffenheit des zu beräumenden und zu verwertenden oder ggf. zu entsorgenden Sediments, den standortspezifischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sowie aus den jeweils zu beachtenden wasser-, abfall-, boden- und ggf. baurechtlichen Anforderungen. Eine systematische Betrachtung der beteiligten Akteure und relevanten Kostenfaktoren entlang der gesamten Prozesskette ist essenziell, um die Verantwortlichkeiten, die Risikoverteilung und Wirtschaftlichkeit zu prüfen und in die Planung einer Sedimentberäumungsmaßnahme einfließen zu lassen. Die nachfolgenden Abschnitte betrachten diese Aspekte differenziert für die einzelnen fünf Projektphasen und unter Berücksichtigung des (6) Risiko- und Haftungsmanagements und (7) sonstiger Kosten. Damit bilden sie die Grundlage für eine ganzheitliche Bewertung technischer und ökonomischer Handlungsoptionen. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 11a bis c zusammenfassend dargestellt.

##### 1. Erkundung, Beprobung und Materialklassifikation:

**Akteure:** Die Erkundung und Beprobung einer Stauanlage erfolgen interdisziplinär unter Beteiligung verschiedener institutioneller, fachlicher und behördlicher Akteure. Der Unterhaltungslastträger (Staatsbetrieb Landestalsperrenverwaltung, Anlagenbetreiber oder ggf. ein kommunaler Träger bzw. Wasserverband) spielt dabei eine zentrale Rolle. Er ist grundsätzlich für die Planung, das Genehmigungsmanagement und die Finanzierung des Vorhabens verantwortlich. Fachplaner und Ingenieurbüros für Wasserbau, Geotechnik und Umweltechnik übernehmen i. d. R. die Konzeption und Umsetzung des Untersuchungsprogramms (Kap. 4.2). Für die chemisch-physikalischen und ggf. ökotoxikologischen Analysen werden akkreditierte Umweltlabore beauftragt. Oftmals werden auch hydrobiologische Sachverständige zur Bewertung des Gewässerzustands, der Sedimentationsdynamik und der potenziellen Schadstoffpfade hinzugezogen. In dieser Phase ist die Untere Wasserbehörde die maßgebliche Aufsichts- und u. U. Genehmigungsbehörde. Weitere Behörden (z. B. die Untere Naturschutzbehörde) sind ins Benehmen oder evtl. ins Einvernehmen zu setzen. Je nach Projektumfang können in dieser Projektphase auch zusätzlich Kampfmittelsondierungsfirmen, Vermessungsbüros sowie Fachgutachter für Altlasten oder Sedimentmanagement beteiligt sein.

**Kostenfaktoren:** Die Kosten der Erkundung und Beprobung werden maßgeblich durch den Maßnahmenumfang der geplanten Beräumung, die räumliche Heterogenität der Sedimentverteilung und -beschaffenheit, den Einstaustatus des Gewässers und auch durch den Kontaminationsgrad der subhydrischen Sedimente bestimmt. Wesentliche Kostentreiber sind die hydrographische Vermessung zur Bestimmung der Sedimentmächtigkeiten und -mengen, die Aufwendungen für die technische Probenahme sowie die Laboranalytik. Letztere ist an den geplanten Verwertungsweg oder die möglichen Verwertungswege anzupassen und verursacht insbesondere bei erweitert zu betrachtenden Schadstoff- und Materialparametern (Metall(oid)e, PAK, PCB, Nährstoffe, organischer Kohlenstoff, Korngrößen usw.) erhebliche finanzielle Belastungen. Weitere Kosten entstehen durch die Qualitätssicherung (Linerproben, Mischproben, Referenzproben), Dokumentation und gutachterliche Bewertung (Materialklasse, Abfallschlüssel). Projektsteuerung, Genehmigungsabstimmungen und ggf. notwendige Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Arbeitsschutz bei belasteten Sedimenten) erhöhen den finanziellen Rahmen zusätzlich. Insgesamt stellen die

Erkundung und die Beprobung einen signifikanten, jedoch unverzichtbaren Anteil der Gesamtkosten eines Sedimentmanagementprojekts dar, da sie die Grundlage für belastbare Massenbilanzen, Risikobewertungen und Verwertungsentscheidungen bilden.

## 2. Sedimentberäumung der Stauanlage und Entwässerung des Baggerguts:

**Akteure:** Fachingenieure planen das Räumkonzept unter Berücksichtigung von Hydrologie, Standsicherheit der Staubauwerke und ökologischen Randbedingungen, ggf. unter umweltgutachterlicher Begleitung (mit Monitoringprogramm). Die Sedimentberäumung wird i. d. R. von beauftragten spezialisierten Wasserbau- und Nassbaufirmen in enger Abstimmung mit dem Unterhaltungslastträger, dem ggf. abweichenden Anlagenbetreiber, Anliegern (u. a.) und unter fachaufsichtlicher Begleitung (ggf. Genehmigung) durch die Untere Wasser-, Natur- und Abfallbehörde durchgeführt. Die Unternehmen verfügen über die technische Ausstattung für Nass- oder Trockenbaggerungen und zumeist auch über logistische Kapazitäten für den Transport und die Zwischenlagerung zur Entwässerung des Baggerguts. Bei der Notwendigkeit einer technischen Entwässerung kommen noch Anbieter von mobilen oder stationären Entwässerungssystemen hinzu. Bei belasteten, nicht umlagerungsfähigen und nicht zu verwendenden oder verwertbaren Sedimenten sind in dieser Projektphase auch die Entsorgungsfachbetriebe bzw. Deponiebetreiber einzubinden.

**Kostenfaktoren:** Die Kosten der Sedimentberäumung werden wesentlich durch das zu entnehmende Volumen, die Zugänglichkeit der Stauanlage (Zuwegungen, Befahrbarkeit oder Einstau), die gewählte Baggertechnologie sowie die Sedimentbeschaffenheit bestimmt. Hohe Wassergehalte und feinkörnige Anteile erhöhen tendenziell den technischen Aufwand und damit die Kosten für Förderung, Transport und Entwässerung. Bei Nassbaggerungen fallen zusätzliche Aufwendungen für Trübungsminderung, Wasserhaltung oder evtl. erforderliche temporäre Umleitungsmaßnahmen an. Falls standortbedingt keine natürliche Entwässerung des Baggerguts durchführbar sein sollte, sind Miet-, Betriebs- und Energiekosten für technische Anlagen oder Investitionen in Geotextilien mit zusätzlichen Aufwendungen für Polymerzusätze oder Flokkungsmittel zur Verbesserung der Entwässerungsleistung oder das Anlegen von Spülfeldern mit Sickerwasserfassung und -aufbereitung erforderlich. Dabei sind auch die Transportentfernungen zu den Zwischenlagerflächen und die Kosten für die Flächensicherung zu berücksichtigen. Bei stark schadstoffbelastetem Baggergut können Arbeitsschutzmaßnahmen und die Einhaltung abfallrechtlicher Vorgaben die Gesamtkosten erheblich steigern. Insgesamt hängen Wirtschaftlichkeit und Verfahrensauswahl stark von einer optimierten Abstimmung zwischen Beräumungsstrategie, Entwässerungstechnologie und geplanter Nachnutzung ab.

## 3. Transport des Baggerguts:

**Akteure:** Der Transport des Baggerguts zum Verwerter/Entsorger wird i. d. R. durch spezialisierte Logistik- und Transportunternehmen durchgeführt, die über geeignete Fahrzeuge und Genehmigungen für Schüttgüter bzw. Abfälle verfügen. Bei der Beräumung von Stauanlagen kommen in den allermeisten Fällen LKW-Transporte zum Einsatz. Unter bestimmten Umständen könnte ein Teil der Logistik auch über die Binnenschifffahrt abgewickelt werden. Bei einer räumlich sehr nahen Distanz zum Verwerter/Entsorger oder zu einer von einem Verwerter betriebenen mobilen Aufbereitungsanlage wären auch Förderbandlösungen oder Pipelinesysteme denkbar. Der Unterhaltungslastträger oder ein von ihm beauftragter Subunternehmer koordiniert gemeinsam mit dem bauausführenden Unternehmen die Transportlogistik und stimmt diese mit den zuständigen Behörden ab. Bei kontaminiertem Material müssen zertifizierte Entsorgungsfachbetriebe beteiligt werden, die die Einhaltung abfallrechtlicher Vorschriften sicherstellen. Die Behörden (Abfall- und Immissionsschutzbehörde) überwachen die Einhaltung von Transportauflagen, etwa hinsichtlich Staubemissionen, Tropfwasser oder Deklarationspflichten. Die nachfolgend in der Logistikkette eintretenden Betreiber von Zwischenlagern, Behandlungsanlagen oder Deponien sind vorab vertraglich zu binden.

**Kostenfaktoren:** Die Transportkosten werden maßgeblich durch Transportdistanz, Materialmenge und Wassergehalt des Baggerguts bestimmt. Ein hoher Wasseranteil reduziert die Nutzlast pro Transporteinheit und erhöht damit die Anzahl erforderlicher Fahrten. Ebenso beeinflussen Sedimentkonsistenz und notwendige Abdichtungsmaßnahmen (z. B. abgedeckte Mulden

oder Spezialcontainer) die Kostenstruktur. Weitere Kostentreiber sind Umschlagvorgänge, Zwischenlagerung sowie Wartezeiten durch logistische Engpässe oder behördliche Auflagen. Bei einem hydraulischen Transport über Förderbänder oder Pipelines entstehen Investitions- und Betriebskosten für die einzusetzende Technik. Bei stark kontaminiertem Material erhöhen die abfallrechtlich erforderliche Begleitdokumentation, Nachweisführung, ggf. das elektronische Begleitscheinverfahren (bei gefährlichem Baggergut, Abfallschlüssel 17 05 05\*) sowie besondere Sicherheitsanforderungen (insbesondere bei ADR-Pflicht <sup>[129]</sup>) die finanziellen Aufwendungen. Darüber hinaus wirken sich infrastrukturelle Rahmenbedingungen (Straßenzustand, Zufahrtsmöglichkeiten, Durchfahrtsbeschränkungen oder evtl. bestehende saisonale Einschränkungen) sowie Energie- und Kraftstoffpreise und evtl. zu berücksichtigende Mautzuschläge direkt auf die Wirtschaftlichkeit des Transports aus. Insgesamt stellt der Transport – insbesondere bei großen Distanzen zwischen Anfallort und Verwertungs- oder Entsorgungsort – einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten des Sedimentmanagements dar.

#### 4. Behandlung des Baggerguts:

**Akteure:** Die Aufbereitung des Baggerguts erfolgt durch spezialisierte Verwertungsunternehmen, die je nach angestrebtem Nutzungspfad (mineralischer Ersatzbaustoff, Bauproduktherstellung, Bodenverbesserer, Sekundärrohstoffaufbereiter, z. B. für die Ziegelindustrie usw.) über entsprechende technische Anlagen verfügen. Hierzu zählen Betreiber von Bodenbehandlungsanlagen, Recyclingzentren und Baustoffproduzenten sowie Betreiber thermischer Behandlungsanlagen. Bei schadstoffbelastetem Material sind zusätzlich Entsorgungsfachbetriebe sowie ggf. Deponiebetreiber einzubinden, falls das Baggergut als Ganzes, Chargen des Baggerguts oder Reststoffe nicht verwertet werden können. Im Fall einer vertraglich konkret vereinbarten Zielstellung einer Verwertung müssen Umwelt- und Verfahrenstechniker auf Grundlage der Vorgaben des Auftraggebers (Lastenheft, Kap. 4.3.1) die mechanischen, physikalischen, chemischen oder thermischen Aufbereitungskonzepte adaptieren und ggf. kombinieren oder erweitern (Pflichtenheft, Kap. 4.3.2). Akkreditierte Labore bzw. Prüfstellen übernehmen die Eingangs-, Prozess- und Ausgangskontrolle zur Qualitätssicherung des Prozesses und des Endprodukts. Genehmigungs- und Überwachungsbehörden (insbesondere aus den Bereichen Abfall-, Boden- und Immissionsschutzrecht) kontrollieren die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben und Produktstandards.

**Kostenfaktoren:** Die Kosten der Aufbereitung hängen wesentlich von der stofflichen Zusammensetzung des Baggerguts, dem Kontaminationsgrad sowie dem angestrebten Qualitätsniveau der Aufbereitung bzw. des angestrebten Endproduktes ab. Mechanische Verfahren wie Siebung, Klassierung oder Entwässerung (ggf. auch Trocknung) oder biologische Verfahren verursachen vergleichsweise geringere Kosten als komplexe chemisch-physikalische oder thermische Behandlungen zur Schadstoffreduktion oder -immobilisierung (z. B. Stabilisierung/Immobilisierung, Bodenwäsche, Pyrolyse usw., vgl. Kap. 4.4.2.2, Tabelle 13). Ein hoher Feinkorn- und/oder Organikanteil kann den technischen Aufwand und den Energie- und Additivbedarf deutlich erhöhen. Weitere wirtschaftliche Einflussgrößen sind die Anlagenverfügbarkeit, der Personalaufwand, die Behandlung abgehender Stoffströme, die Reststoffentsorgung sowie Qualitätsnachweise für das erzeugte Produkt (z. B. bautechnische Prüfungen, Umweltverträglichkeitsnachweise). Die Wirtschaftlichkeit der Aufbereitung ist auch stark davon abhängig, ob das Endprodukt gegenüber einem Produkt mit Primärrohstoffnutzung auf dem Markt akzeptiert wird und falls ja, welchen Erlös es dabei erzielen kann. Eine präzise Eingangsanalyse und eine prozessoptimierte Behandlung sind die wichtigsten Faktoren, um eine gegenüber der Entsorgung kosteneffiziente Verwertung zu erreichen.

#### 5. Produktentwicklung und ggf. Zertifizierung:

**Akteure:** Die Produktentwicklung auf Basis aufbereiteter Sedimente erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen Verwertungsunternehmen, Baustoffherstellern bzw. industriellen Abnehmern sowie spezialisierten Ingenieur- und Prüfinstituten. Werkstoffwissenschaftler und Verfahrenstechniker sind dafür zuständig, die jeweiligen Herstellungsverfahren so zu optimieren, dass die rechtlich und normativ geforderten (oder anderweitig definierten) Produkt- und Umwelteigenschaften erreicht werden. Daneben können auch universitäre oder außeruniversitäre

Gefördert durch:



**wir!** Wandel durch  
Innovation  
in der Region

**ptj** projektträger  
jülich

Forschungseinrichtungen und Institute im Rahmen von Pilotprojekten oder Drittmittelvorhaben in die Entwicklung innovativer Anwendungen eingebunden sein. Für bautechnische und umweltanalytische Prüfung werden i. d. R. akkreditierte Materialprüfanstalten beauftragt. Im Zuge der Markteinführung sind Zertifizierungsstellen sowie zugelassene Überwachungs- und Notifizierungsstellen beteiligt, die Konformitätsbewertungen nach geltenden Normen und Richtlinien durchführen. Zudem begleiten zuständige Behörden (z. B. Bauaufsicht, Abfall- und Umweltbehörden) die Anerkennung des Produkts im regulatorischen Kontext.

**Kostenfaktoren:** Die Kosten der Produktentwicklung werden maßgeblich durch den Forschungs- und Entwicklungsaufwand bestimmt, einschließlich Labor- und Feldversuchen, Pilotanwendungen und Skalierung auf den industriellen Maßstab. Materialprüfungen zur Bestimmung mechanischer bzw. physikalischer Kennwerte, zur Dauerhaftigkeit sowie zum Elutionsverhalten von Schadstoffen u. a. verursachen erhebliche Aufwendungen. Für die Zertifizierung entstehen zusätzliche Kosten durch externe Prüfungen, Auditierungen der Produktionskontrolle und Dokumentationspflichten. Bei Bauprodukten, die von harmonisierten europäischen Normen abweichen, kann die Erlangung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zeit- und kostenintensiv sein. Weitere Kosten können durch Anpassungen bestehender Produktionsanlagen, Mehraufwendungen für Qualitätssicherungsmaßnahmen im laufenden Betrieb sowie durch die Markteinführung (über einen Händler/Inverkehrbringer) entstehen. Insgesamt stellt die Phase der Produktentwicklung und Zertifizierung einen investitionsintensiven, jedoch strategisch entscheidenden Abschnitt dar, um die rechtliche Verkehrsfähigkeit und Marktakzeptanz des baggutbasierten Produkts zu gewährleisten.

## 6. Risiko- und Haftungsmanagement:

**Akteure:** Das Risiko- und Haftungsmanagement im Kontext von Sedimentberäumung, Transport, Aufbereitung, Produktherstellung, Inverkehrbringen und Anwendung erfordert die Einbindung verschiedener institutioneller und fachlicher Akteure. Die primäre Verantwortung liegt beim Abfallerzeuger, der in den meisten Fällen mit dem Unterhaltungslasträger identisch ist. Als Vorhabenträger haftet dieser für die rechtssichere Planung und Durchführung der Sedimentberäumungsmaßnahme bis zur Endverbleibserklärung des Verwerter/Entsorgers. Danach geht die Verantwortlichkeit auf den Verwerter/Entsorger und anschließend auf den Hersteller des Produktes über. Am Ende haftet der Inverkehrbringer des Produktes (Händler) und bedingt auch der Hersteller. Unter Umständen kann auch für den Endanwender ein Haftungsrisiko entstehen, wenn dieser beispielsweise einen mineralischen Ersatzbaustoff in einer dafür nicht zugelassenen Einbauweise verwendet. Entlang der gesamten Prozesskette sind juristische Fachberater mit Schwerpunkt Umwelt-, Bau- und Abfallrecht, Umweltgutachter und sonstige Sachverständige erforderlich, um Genehmigungserfordernisse, Vertragsgestaltung und Haftungsfragen korrekt auszugestalten. Versicherungsunternehmen entwickeln auf dieser Grundlage projektspezifische Deckungskonzepte (z. B. Umwelthaftpflicht- oder Umweltschadensversicherungen). Behörden übernehmen eine regulierende und kontrollierende Rolle, insbesondere im Hinblick auf Gewässerschutz, Bodenschutz und Immissionsschutz. Bei komplexen Projekten können zusätzlich Projektsteuerer oder Risikomanager eingebunden sein, die technische, rechtliche und wirtschaftliche Risiken bewerten.

**Kostenfaktoren:** Die Kosten des Risiko- und Haftungsmanagements ergeben sich aus präventiven, begleitenden und potenziell nachsorgenden Maßnahmen. Präventiv entstehen Aufwendungen für die Schadstoffanalytik (ggf. auch bautechnisch relevante, öko(toxiko)logische Parameter), Gefährdungsbeurteilungen, Monitoringprogramme sowie die Erstellung von Sicherheits-, Stör- und Notfallkonzepten. Vertragliche Absicherungen, Haftungsregelungen und externe Rechtsberatung verursachen weitere Kosten. Versicherungsprämien hängen von Projektvolumen, Schadstoffbelastung, Standortbedingungen und sonstigen wirtschaftlichen Risikoprofilen ab. Während der Durchführung können zusätzliche Kosten durch umweltfachliche Baubegleitung, Emissionsüberwachung oder logistische oder technische Anpassungen infolge behördlicher Auflagen entstehen. Im Schadensfall, z. B. bei einer Schadstofffreisetzung in das Gewässer, einer Setzung/Rutschung des Untergrunds oder bei einer Beschädigung einer wasserwirtschaftlichen Anlage, können erhebliche Folgekosten durch Sanierungsmaßnahmen,

Nutzungsausfälle oder Regressforderungen auftreten. Auch langfristige Nachsorge- und Monitoringverpflichtungen sind finanziell zu berücksichtigen. Ein systematisches Risiko- und Haftungsmanagement dient daher nicht nur der rechtlichen Absicherung, sondern trägt wesentlich zur wirtschaftlichen Stabilität und Planbarkeit des Gesamtprojekts bei.

## 7. Sonstige Kosten:

**Akteure:** Neben den technisch-operativen Prozessschritten sind im Rahmen eines Sedimentmanagementprojekts weitere organisatorische und wirtschaftliche Akteure eingebunden. Das Projektmanagement wird i. d. R. durch den Vorhabenträger oder durch ein von ihm beauftragtes Ingenieurbüro bzw. Beratungsunternehmen wahrgenommen und umfasst hauptsächlich die Termin-, Qualitäts-, Risiko- und Schnittstellenkoordination. Finanzierungsfragen müssen, sofern sie nicht durch die operative Budgetierung wie bei der Landestalsperrenverwaltung gedeckt sind, mit Banken, öffentlichen Fördermittelgebern oder externen Investoren geklärt werden. Das betrifft insbesondere die Prozesskette von der innovativen Aufbereitung über die Produktherstellung bis hin zum Markteintritt. Im Bereich Vermarktung und Vertrieb sind Geschäftsführung, Vertriebsabteilungen, Marketingfachleute sowie ggf. strategische Industriepartner beteiligt, Absatzmärkte für rezyklatbasierende Produkte zu erschließen. Darüber hinaus können Verbände, Normungsgremien und Brancheninitiativen eine wichtige Rolle bei der Marktfähigkeit und Akzeptanz neuer Produkte spielen.

**Kostenfaktoren:** Die projektbezogenen Managementkosten umfassen Personalaufwand für Koordination, Dokumentation, Controlling sowie Berichtswesen gegenüber Behörden und evtl. beteiligten Finanzierungspartnern. Hinzu kommen Kosten für externe Beratung, Projektsteuerung und ggf. Moderations- oder Beteiligungsformate im Rahmen von Öffentlichkeitsarbeit und eingebundenen Unternehmen. Auf der Finanzierungsseite entstehen bei Krediten Aufwendungen durch Tilgung, Zinszahlungen, Bereitstellungsprovisionen und Sicherheiten. Bei der Erstellung von Förderanträgen oder Investitionskonzepten ist ein erhöhter Personalaufwand erforderlich. Markt- und vertriebsbezogene Kosten betreffen die Produktpositionierung, evtl. notwendige Marktforschung, Messeauftritte, die Erstellung technischer Datenblätter, die Erlangung von Zertifikaten oder ggf. Patenten. Es können außerdem zusätzliche Aufwendungen zur Akzeptanzbildung, bspw. über Pilotprojekte zur Demonstration der Leistungsfähigkeit des Produktes erforderlich sein. Insgesamt stellen diese Kosten einen erheblichen wirtschaftlichen Faktor dar, da sie vornehmlich über die Implementierung und Wirtschaftlichkeit der Verwertungslösung entscheiden.

**Tabelle 11a.** Beteiligte Akteure und Aufgaben in den Projektphasen von der Erkundung des Sediments der Stauanlage bis zur Herstellung eines Produkts aus dem Baggergut sowie wesentliche Kostenfaktoren

<i>1. Erkundung, Beprobung und Materialklassifikation</i>
<p><b>Akteure:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Betreiber / Unterhaltungslastträger der Stauanlage (Auftraggeber, Finanzierer des Vorhabens, in Sachsen zumeist Landestalsperrenverwaltung Sachsen als Staatsbetrieb des Freistaates Sachsen)</li> <li>- Planungsbüro (Planung des Erkundungs- und Untersuchungsprogramms)</li> <li>- Geotechnikbüro (Dienstleister für Sedimentbeprobungen)</li> <li>- Akkreditierte Prüf- und Analyselabore (Durchführung der Analysen)</li> <li>- Untere Wasserbehörde (fachliche Abstimmung des Untersuchungsprogramms und Vorabstimmung zur Durchführung der Sedimentberäumung)</li> <li>- Untere Bodenschutz-/Abfallbehörde (Klärung möglicher Verwertungswege, Klassifizierung des Sediments nach Abfallschlüssel, Materialklasse nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, ggf. Eignung für bodennahe Verwertung oder Entsorgung)</li> </ul>
<p><b>Kostenfaktoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Planung des Untersuchungskonzeptes (Beauftragung, Mengenermittlung, Beprobungen, Analysen)</li> <li>- In-situ-Probenahme (Beauftragung, Personal, Geräte, Anfahrtskosten)</li> <li>- Laboranalysen (Beauftragung, Kosten für Analysen nach relevanten Verordnungen in einem nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03 <sup>[60]</sup> akkreditierten Labor)</li> <li>- Bewertung und Klassifizierung des Materials durch Erzeuger/Besitzer des Baggerguts oder durch einen Sachverständigen/Sachkundigen mit behördlicher Zustimmung (§ 16 (1) ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, § 18 BBodSchG <sup>[33]</sup>)</li> </ul>
<i>2. Sedimentberäumung der Stauanlage und Entwässerung des Baggerguts</i>
<p><b>Akteure:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Betreiber / Unterhaltungslastträger der Stauanlage (Auftraggeber, Finanzierer des Vorhabens)</li> <li>- Planungsbüro (Beauftragung, technische Fachplanung und Bauüberwachung der Maßnahme, Prüfung der Massenbilanzen, Sicherstellung der behördlichen Auflagen)</li> <li>- Optional Umweltbaubegleitung (obligatorisch, wenn Sedimentberäumung u. U. genehmigungspflichtig sein sollte oder wenn es Gründe für den Artenschutz geben sollte oder es Schutzgebiete betrifft, Überwachung der ökologischen Auflagen)</li> <li>- Wasserbauunternehmen (Beauftragung, Durchführung der Sedimententnahme und Maßnahmen zur Entwässerung des Materials)</li> <li>- Akkreditierte Prüf- und Analyselabore (Beauftragung, chemisch-physikalische Kontrollanalysen des Baggerguts)</li> <li>- Untere Wasserbehörde (Bearbeitung der Anzeige der Unterhaltungsmaßnahme / bei Einstufung des Baggerguts als gefährlicher Abfall Maßnahme erlaubnispflichtig, Überwachung der Rahmenbedingungen, Gefahrenabwehr, Bearbeitung der Abschlussmeldung der Maßnahme, ggf. Prüfung des Zustands des Gewässers vor, während und nach der Maßnahme)</li> <li>- Untere Bodenschutz-/Abfallbehörde (kontrolliert und bewertet analytische Befunde des Baggerguts, Bestätigung/Verwerfen des geplanten Verbringungsweges)</li> <li>- Technische Fachaufsicht (in Sachsen LfULG, Abstimmung zur technischen Funktionstüchtigkeit der Stauanlage)</li> <li>- evtl. betroffene Interessenvertreter (z. B. Pächter, Eigentümer, Gemeinden, Fischereien)</li> </ul>
<p><b>Technische Kostenfaktoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bauüberwachung, ggf. Umweltbaubegleitung</li> <li>- Baggergeräte zur Entnahme, z. B. Saugbagger oder mechanische Bagger, Maschinenstunden, Treibstoff, Personalkosten</li> <li>- Ggf. Kostenaufschläge durch Anforderung an emissionsarmer Technik, Sicherheits- und Umweltauflagen</li> <li>- Ggf. Kostenaufschläge für Sicherheitsmaßnahmen bei hochkontaminiertem Material</li> <li>- Entwässerung Variante 1: Natürliche Entwässerung (mehrere Wochen Liegezeit). <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bagger-, Treibstoff- und Personalkosten für das Anlegen von Entwässerungsgräben in trockengelegter Stauanlage oder für Haufwerke neben der Stauanlage (innerhalb der Flurstücksgrenzen des Gewässers)</li> <li>- weitere Kosten für das erforderliche intermittierende Umschichten des Baggerguts zur effektiveren Entwässerung</li> </ul> </li> <li>- Entwässerung Variante 2: Technische Entwässerung. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten für Personal, Miete/Leihe/Anschaffung von Geräten, zzgl. Treibstoff- und Energiekosten für</li> <li>- Errichtung von Spül- bzw. Absatzbecken in räumlicher Nähe zur Stauanlage oder</li> <li>- Geotextilschläuche zzgl. Kosten für Einsatz von Flockungsmitteln und Flockungshilfsmitteln oder</li> <li>- Kammerfilterpresse, Bandfilterpresse oder Zentrifuge zzgl. Kosten für Pumpen, Energie, Abwasserbehandlung</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Weitere Kosten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzeigen der Unterhaltungsmaßnahme bei der Unteren Wasserbehörde (Maßnahmenbeschreibung, Lageplan, Untersuchungsbericht), ggf. sind begleitende Fachgutachten erforderlich (Naturschutz, Boden, Lärm, Verkehr usw.), u. U. sind auch Auflagen (Vogel-/Biotopschutz, Fischschonzeiten, FFH- und andere Naturschutzgebietsbeschränkungen) und ggf. Kompensationsmaßnahmen zu beachten</li> <li>- Maßnahmen oberhalb einer Unterhaltungsmaßnahme (z. B. Gewässerausbau, Neuerrichtung von Bauwerken) benötigen Genehmigungen, ggf. auch Planfeststellungsverfahren, ggf. Umweltverträglichkeitsprüfung uvm.</li> <li>- Ggf. sind baurechtliche Genehmigungen für das (zeitweilige) Errichten von technischen Einrichtungen (z. B. für Spülbecken) erforderlich</li> </ul>

**Tabelle 11b.** Beteiligte Akteure und Aufgaben in den Projektphasen von der Erkundung des Sediments der Stauanlage bis zur Herstellung eines Produkts aus dem Baggergut sowie wesentliche Kostenfaktoren

<i>3. Transport des Baggerguts</i>
<p><u>Akteure:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abfallerzeuger, Abfallbesitzer (≙ i. d. R. Betreiber der Stauanlage ≙ i. d. R. Unterhaltungslasträger, rechtlich für Abfalldeklaration und Verbringungsweg verantwortlich)</li> <li>- Abfallbeförderer (Transportunternehmen, das eine Beförderungsanzeige nach § 53 KrWG <sup>[2]</sup> gegenüber der Bodenschutz-/Abfallbehörde getätigt hat oder eine Beförderungserlaubnis für gefährliche Abfälle (17 05 05*) nach § 54 KrWG <sup>[2]</sup> haben muss, Mitführung von Lieferscheinen bei nicht gefährlichen Abfällen oder Begleitscheinen bei gefährlichen Abfällen)</li> <li>- Planungsbüro (Fachgutachter, Bauüberwachung, dokumentiert Transport von klassifiziertem Material, erstellt Lieferscheine)</li> <li>- Untere Bodenschutz-/Abfallbehörde (Prozessüberwachung, bei gefährlichem Abfall Prüfung der Begleitscheine und elektronische Entsorgungsnachweise im eANV-Verfahren <sup>[104]</sup>, Kontrolle, dass Material in immissionsrechtlich zugelassene Anlage, möglichst bei zertifiziertem Entsorgungsfachbetrieb kommt)</li> </ul>
<p><u>Logistische Kostenfaktoren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ladesysteme (z. B. mechanische Beladung von stichfestem Baggergut bei LKW, Hopper-Ladung auf dem Wasserweg)</li> <li>- Logistischer Aufwand (z. B. Wassergehalt in Baggergut → Auswirkung auf Anzahl der notwendigen Transportfahrten)</li> <li>- Distanz zum Aufbereitungsort und Anzahl an Transporte, verfügbare Transportkapazitäten</li> <li>- Straßenbenutzungsgebühren, Maut, CO<sub>2</sub>-Bepreisung im Verkehr</li> </ul> <p><u>Weitere Kosten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falls das Baggergut gefährlicher Abfall <sup>[59]</sup> sein sollte (17 05 05*), fallen Aufschläge für entsprechend ausgerüstete Transportfahrzeuge und geschulte Fahrer mit ADR-Schein <sup>[129]</sup> an</li> <li>- Ggf. kommen höhere Versicherungskosten aufgrund des höheren Haftungsrisikos bei Unfällen mit gefährlichen Abfällen hinzu</li> </ul>
<i>4. Behandlung des Baggerguts</i>
<p><u>Akteure:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abfallerzeuger / Abfallbesitzer und Verwerter schließen entweder speziellen Verwertungsvertrag (Lasten- und Pflichtenheft sind Vertragsbestandteil, Abfallbesitzer bleibt aber nach § 22 KrWG <sup>[2]</sup> bis zum Ende der Abfalleigenschaft des Baggerguts für die ordnungsgemäße Verwertung verantwortlich, Nachweispflicht gegenüber Unteren Bodenschutz-/Abfallbehörde) oder Entsorgungsvertrag (Entsorger verpflichtet sich ohne spezielle Vorgaben, das Baggergut einer Verwertung oder Beseitigung zuzuführen, § 22 KrWG <sup>[2]</sup> gilt auch hier)</li> <li>- Verwerter = Anlagenbetreiber (abfallrechtlich Einstufung Input/Output, Eignungsnachweis der Anlage, Güteüberwachung im Rahmen werkseigener Produktionskontrolle, Materialklassifizierung z. B. nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, Einhaltung anlagenbezogener Umweltauflagen, ggf. Nachweis der Lagersicherheit)</li> <li>- Verwerter ≠ Anlagenbetreiber (zusätzlich Nachweis von Übernahmechein/Begleitschein, Registerführung nach § 24 NachwV <sup>[130]</sup> im eANV-Verfahren <sup>[104]</sup>, Verwerter verantwortlich für Verbleib, Anlagenbetreiber für Transformation des Abfalls)</li> <li>- Anlagenbauer/Technologieanbieter (Unternehmen, das die Aufbereitungsanlage aufbaut, ggf. in Verbindung mit einem Bauunternehmen)</li> <li>- Güteüberwachungsgemeinschaft (Überwachung der Qualitätsstandards, Einhaltung der Zielwerte)</li> <li>- Akkreditierte Prüf- und Analyselabore (chemische Analysen u. a.)</li> <li>- Immissionsschutzbehörde (Überwachung der Grenzwerte für Staub, Lärm, Abwasser u. a.) unter Einbindung der Unteren Bodenschutz-/Abfallbehörde (Einhaltung der Zielwerte der Aufbereitung) und der Unteren Wasserbehörde (Einbindung in Bezug auf Prozesswasserbehandlung und/oder Abwassereinleitung in Gewässer oder Kanalisation)</li> </ul> <p><u>Technische, materielle und energetische Kostenfaktoren, Begleitkosten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mechanische Aufbereitung: weiteres Entwässern, ggf. Trocknen, Sieben, Waschen, Klassieren, Abtrennen von Fremdstoffen</li> <li>- Chemische Aufbereitung: 1. Schadstoffmobilisierung (Tenside, Komplexbildner, Säuren, organische Lösemittel, Oxidationsmittel, elektrochemische Behandlung), 2. Schadstoffimmobilisierung/Stabilisierung (Zusatz von Kalk, Zement, Flugasche, Wasserglas oder Gips)</li> <li>- Biologische Verfahren: Phyto- bzw. Bioremediation, Mieten-/Rottenbehandlung</li> <li>- Thermisches Verfahren (Ziegelherstellung): Herstellung der Rezeptur, Formgebung, Trocknung, Brennprozess (Energie)</li> <li>- Kosten für Abwasser- und Abflutbehandlung und Entsorgungskosten für Reststoffe und nicht verwertbare Abfälle und Chargen</li> <li>- Begleitende Kosten für werkseigene Qualitätssicherung und Fremdüberwachung (Beprobungen, Analysen, Personalkosten, Dokumentations-/Berichtspflichten)</li> </ul> <p><u>Weitere Kosten:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Immissionsschutzrechtliche Genehmigung nach dem BImSchG <sup>[6]</sup> in Verbindung mit der 4. BImSchV <sup>[7]</sup> im Falle einer thermischen Behandlung (Nr. 8.1) sowie beim Umgang mit gefährl Baggergut (17 05 05*) nach Nr. 8.10 oder 8.11 erforderlich</li> <li>- Einleiten von Abwässern bedarf einer wasserrechtlichen Erlaubnis nach §§ 8 und 9 WHG <sup>[34]</sup></li> <li>- Elektronische Nachweis- und Registerpflicht für gefährliches Baggergut (elektronisches Abfallnachweisverfahren, eANV <sup>[104]</sup>)</li> <li>- Baurechtliche Genehmigung für Anlagen, soweit keine Konzentrationswirkung durch BImSchG-Genehmigung <sup>[6]</sup> eintritt</li> </ul>
<i>5. Produktentwicklung und ggf. Zertifizierung</i>
<p><u>Akteure:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verwerter: Beendigung der Abfalleigenschaft durch das Aufbereitungsverfahren mit einhergehender Güteüberwachung, kann vom Inverkehrbringer in Regress genommen werden, wenn die Aufbereitung mangelhaft war</li> <li>- Inverkehrbringer: Kann mit Verwerter rechtsidentisch sein, bringt das Material mit Produktbezeichnung und Leistungsversprechen auf dem Lieferschein und ggf. mit Zertifizierung und CE-Kennzeichnung in den Wirtschaftskreislauf, haftet gegenüber den belieferten Bauherrn</li> <li>- Forschungseinrichtungen, Universitäten: Entwicklung, Verbesserung von innovativen Verfahren</li> <li>- Anerkennungs- und Prüfinstitute (z. B. RAP-Stra): Prüfstellen zur Untersuchung der bautechnischen Eigenschaften des Produktes</li> <li>- Deutsches Institut für Bautechnik: Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für neuartige Bauprodukte außerhalb bestehender Normen auf Basis der Ergebnisse der Anerkennungs- und Prüfinstitute</li> <li>- Deutsches Patent- und Markenamt: Anmeldung, Bearbeitung und ggf. Erteilung von Patenten (optional unter Beteiligung eines Patentanwalts)</li> <li>- Anwender: Beispielsweise Bauunternehmen, das das Produkt verwendet</li> </ul>

**Tabelle 11c.** Beteiligte Akteure und Aufgaben in den Projektphasen von der Erkundung des Sediments der Stauanlage bis zur Herstellung eines Produkts aus dem Baggergut sowie wesentliche Kostenfaktoren

<p><u>Kostenfaktoren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwickeln, Testen und Verbessern von Verfahren und Rezepturen (z. B. im Rahmen von Aufträgen, Forschungsprojekten)</li> <li>- Langzeittests des Rohstoffs/Produkts (z. B. mechanische Eigenschaften, Frost-Tauwechselbeständigkeit, Auslaugtests)</li> <li>- Zertifizierung und Abnahme durch Prüfinstitute</li> <li>- Erstellung technischer Datenblätter und Konformitätsdokumente (z. B. CE-Kennzeichnung bei Bauprodukten)</li> <li>- Ggf. Patentierungskosten</li> <li>- Transportkosten vom Standort des Inverkehrbringers zum Einbauort der Anwendung</li> </ul> <p><u>Einnahmefaktoren des Inverkehrbringers = Kosten des Anwenders:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkaufserlöse für das Produkt</li> <li>- Lizenzierungserlöse aus Patentierung (Produkt oder das Aufbereitungsverfahren oder beide Teile)</li> </ul>
<p><b>6. Risiko- und Haftungsmanagement</b></p>
<p><u>Akteure:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abfallerzeuger/-besitzer: haftet im Rahmen der Nachhaftung bis Verwerter den endgültigen Verbleib erklärt</li> <li>- Planungsbüro: Berufshaftpflichtversicherung für Planungs- und Beratungsfehler, Fehler in der Bauüberwachung und in der Beweissicherung</li> <li>- Behörden: u. U. Amtshaftung bei Verfahrensfehlern, falschen Rechtsanwendungen, ggf. fehlerhaften behördlichen Auskünften oder Verzugsschäden durch Untätigkeit oder überlange Verfahrensdauer</li> <li>- Abfallbeförderer: Haftpflichtversicherung, ggf. Umweltschadensversicherung für Unfälle während des Transports</li> <li>- Anlagenbetreiber/Verwerter: Risikorückstellungen für Nachbehandlung oder Entsorgung von Chargen, die die Zielwerte verfehlt haben, Betriebshaftpflicht für Umweltschäden, die während der Lagerung oder der Aufbereitung entstehen</li> <li>- Verwerter/Inverkehrbringer: Risikoreserven für Befriedigung von Mängelansprüchen bzw. bei Produktrückrufen, Produkthaftpflichtversicherung für eventuelle Folgeschäden</li> <li>- Endanwender: Anzeigepflicht für Einbau von Ersatzbaustoffen, Rückbau- und Entsorgungspflicht bei nicht zugelassener Einbauweise des Ersatzbaustoffs</li> <li>- Versicherer, Makler: Umweltschadensversicherung (Sanierungskosten für Boden und Grundwasser), Ersatzausbaukosten-Versicherung (Rückbaukosten und Kosten für eine Entsorgung)</li> <li>- Banken, Finanzdienstleister: Zurverfügungstellung von Sicherheitsleistungen</li> </ul>
<p><u>Kostenfaktoren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Versicherung (z. B. bei der Planung, Umweltrisiken über die gesamte Prozesskette, etwaige Entschädigungsansprüche und Produkthaftung)</li> <li>- Zurückstellen von Risikoreserven (z. B. unerwartete Schadstoffbefunde, Umweltrisiken bei Entnahme und Aufbereitung)</li> <li>- Rückbau-/Nachbehandlungskosten, ggf. Entsorgungskosten für kontaminierte Materialien und Fehlgargen</li> <li>- Sicherheitsleistungen: Der Anlagenbetreiber kann bei immissionsrechtlich genehmigten Anlagen auf Verlangen der Behörde zur Hinterlegung einer Sicherheitsleistung (z. B. in Form einer Bankbürgschaft) zur Beseitigung von Abfällen im Fall einer Insolvenz verpflichtet werden</li> </ul>
<p><b>7. Sonstige Kosten</b></p>
<p><u>Akteure:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektmanagement: Häufig Ingenieur-/Planungsbüros als koordinierende Schnittstelle zwischen den Rechtsgebieten (Wasser-, Boden-, Abfall- und Baurecht) und den beteiligten Akteuren, u. U. unter Beteiligung von Abfallbeauftragten und Umweltbaubegleitung</li> <li>- Finanzierung: Öffentliche Hand (z. B. in Sachsen operative Budgetverwaltung durch Landestalsperrenverwaltung Sachsen als Staatsbetrieb des Freistaates Sachsen), Anlagenbetreiber (z. B. Eigenmittel von Energieversorger bei wirtschaftlich genutzten Anlagen), seltener auch Privat-Public-Partnership (PPP)</li> <li>- Markt und Vertrieb: Inverkehrbringer, Zwischenhändler (Baustoffhändler), indirekt Zertifizierungsstellen („Gütesiegel“), öffentliche Hand als Einkäufer von Rezyklaten (§ 45 KrWG <sup>[2]</sup>)</li> </ul>
<p><u>Kostenfaktoren:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektmanagement (Planung, Koordination, Dokumentations-, Nachweis- und Berichtspflichten – Personalkosten, Dokumentationskosten, Genehmigungskosten, Risikomanagement)</li> <li>- Finanzierungskosten (evtl. kreditfinanziert, dann Tilgung, Zinsen, Umlagen, Sicherheiten)</li> <li>- Markt- und Vertriebsaufwand (Suchen nach Abnehmern, Logistik, Werbung, Öffentlichkeitsarbeit und sonstiges Marketing, Verkauf, Steuern/Abgaben)</li> </ul>

#### 4.4.2 Ermittlung von Kosten, Material- und Energieeinsatz für Aufbereitungsverfahren (A 3.6.2)

##### 4.4.2.1 Potentialanalyse zum Rohstoffdargebot und verschiedenen Verwertungswegen

Baggergut stellt eine bedeutende Sekundärrohstoffquelle dar, die im Zuge von Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen in Stauanlagen, Fließgewässern, Kanälen und Hafenbecken anfällt. Allein in Deutschland werden mehrere Millionen Tonnen Baggergut pro Jahr bewegt. Schätzungen zufolge beläuft sich die kumulative Menge an Baggergut, die im Rahmen vieler Einzelmaßnahmen pro Jahr im Binnenland anfällt, auf etwa 5 Mio. t (TM), im Küstenbereich sind es wahrscheinlich ca. 25 bis 35 Mio. t (TM) <sup>[131]</sup>. Im Mittel der Jahre 2014 bis 2023 wurden abfallrechtlich etwa 2 Mio. t (TM) pro Jahr erfasst <sup>[132]</sup> (Abbildung 2). Daraus folgt, dass etwa 95 % des Baggerguts im Gewässer umgelagert oder direkt verwendet werden, während nur etwa 5 %

einen Verwertungs- bzw. Entsorgungsprozess durchlaufen. Im DWA-Themenband T4/2025 sind zu den einzelnen Verbringungsweegen zahlreiche Fallbeispiele dargestellt <sup>[133]</sup>.

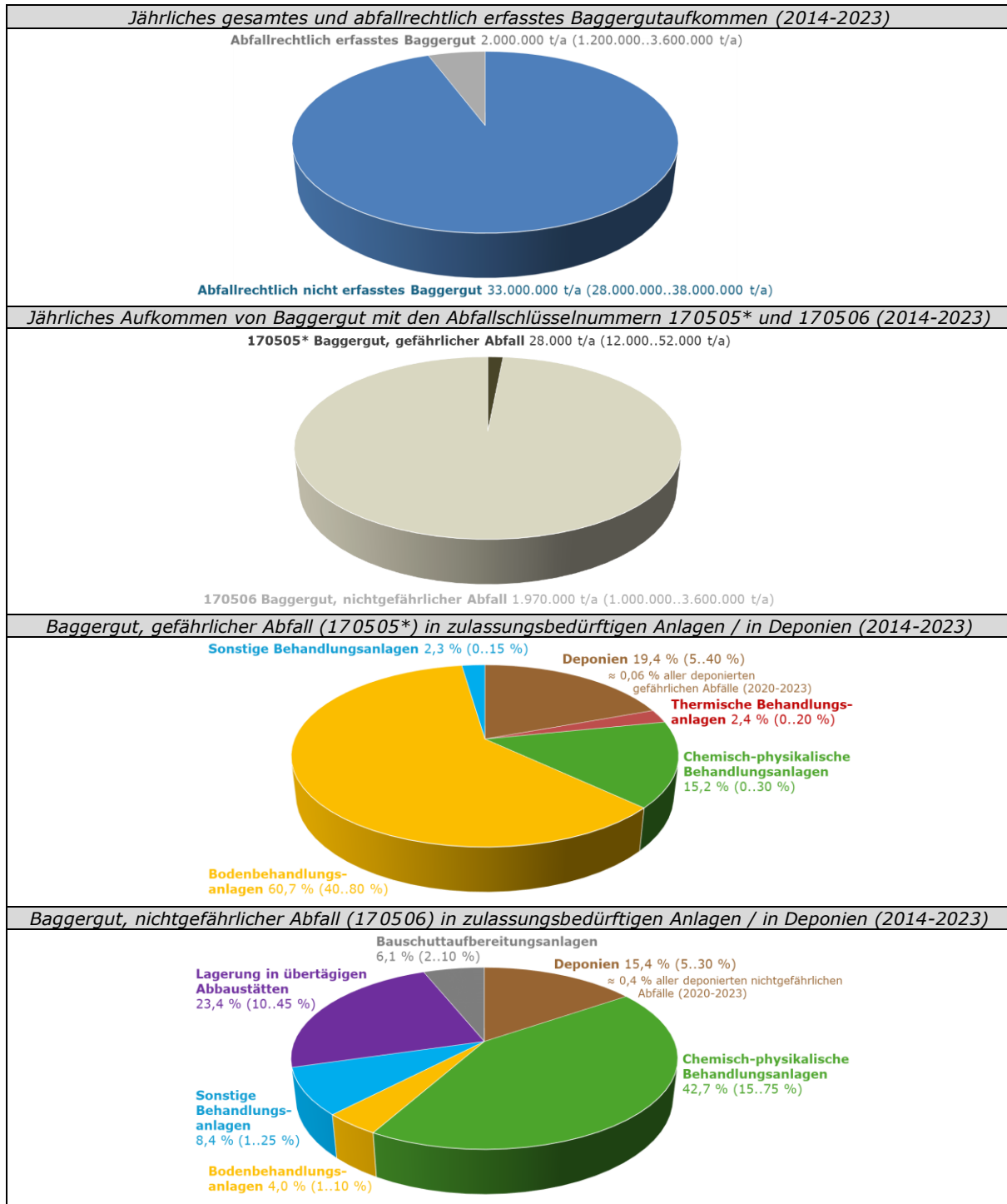
Von den abfallrechtlich erfassten ca. 2 Mio. t (TM) Baggergut pro Jahr entfielen im zehnjährigen Mittel ca. 30.000 t/a (ca. 1,5 %) auf den Abfallschlüssel 170505\* (gefährlicher Abfall) und ca. 1.970.000 t/a (ca. 98,5 %) auf den Abfallschlüssel 170506 (nichtgefährlicher Abfall) <sup>[132]</sup> (Abbildung 2). Von der als gefährlicher Abfall eingestuften Baggergutmenge wurden im Durchschnitt ca. 80 % in einer zulassungsbedürftigen Anlage, davon größtenteils in Bodenbehandlungsanlagen, aufbereitet und ca. 20 % zur Entsorgung deponiert (Abbildung 2) <sup>[134]-[137]</sup>. Bei nicht gefährlichem Baggergut betrug der Anteil der anfallenden Menge, die einen Behandlungsprozess erfuhr, durchschnittlich etwa 85 % (Abbildung 2) <sup>[134]-[137]</sup>. Dabei dominierten die Aufbereitungsprozesse in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen. Rund 15 % dieser Abfallart wurden deponiert (Abbildung 2) <sup>[134]-[137]</sup>. In den Jahren 2014–2023 machte Baggergut kumulativ mit durchschnittlich 300.000 t/a etwa 0,5 % der Gesamtmenge aller deponierten Abfallarten aus <sup>[132]</sup>. In der aggregierten Statistik der nicht verwertbaren Abfälle aus Boden, Steine und Baggergut mit insgesamt ca. 127 Mio. t/a <sup>[138]</sup> spielt Baggergut mit ca. 0,2 % Anteil nur eine sehr kleine Rolle. Trotzdem besteht auch für diese Art Abfall die Erfordernis, den Anteil der Verwertung zu steigern, da etwa ein Drittel der heute bestehenden Deponiekapazitäten noch eine Restlaufzeit von maximal zehn Jahren und etwa die Hälfte noch eine Restlaufzeit von maximal 15 Jahren haben <sup>[137]</sup>.

Die Verwertungswege der rund 1,7 Mio. t/a an behandeltem Baggergut können nicht vollständig aufgeklärt werden. Im Durchschnitt belief sich die Menge, die zur Verfüllung von überfülligen Abbaustätten verwendet konnte, auf etwa 460.000 t/a <sup>[132]</sup> (ca. 23 % der Verwertung, Abbildung 2). Es ist statistisch belegt, dass von den aggregiert betrachteten Abfällen aus Boden, Steinen und Baggergut in den Jahren von 2014 bis 2022 etwa 10 % (mit leicht steigender Tendenz) zu mineralischen Ersatzbaustoffen oder Bauprodukten verwertet wurden <sup>[139]-[143]</sup>. Übertragen auf die abfallrechtlich erfassten durchschnittlichen Baggergutmengen entsprächen dies etwa 200.000 t/a (ca. 12 % der Verwertung). Weitere ca. 80.000 t/a (ca. 5 % der Verwertung) passierten eine Bodenbehandlungsanlage <sup>[132]</sup>. Davon wurde der Großteil wahrscheinlich außerhalb der durchwurzelbaren Zone bodenbezogen verwertet <sup>[144]</sup>. Etwa 20.000 t/a des Baggerguts (ca. 1,2 % der Verwertung) gingen von 2020 bis 2023 schätzungsweise in den Deponeibau <sup>[134]-[137]</sup>. Aus der durchschnittlichen jährlichen Hintermauerziegelfabrikation von ca. 5,9 Mio. m<sup>3</sup> (2007–2023) <sup>[145]</sup> und durchschnittlich 6 % Sekundärrohstoffsubstitution durch die aggregiert betrachteten Abfallarten aus Boden, Steinen und Baggergut <sup>[109]</sup> und einem davon geschätzten Anteil von 0,9 % von Baggergut <sup>[134]-[137]</sup> ergibt sich eine ungefähre jährliche Verwertung von ca. 5.000 t/a (ca. 0,3 % der Verwertung) als Zuschlagstoff. Mithin sind kumulativ fast 60 % der behandelten Baggergutmengen keiner konkreten Nutzung zuzuordnen.

Das Potenzial, den mineralischen, sandig-kiesigen Anteil von Baggergut als mineralischen Ersatzbaustoff, als Füllmaterial oder als Zuschlagstoff für die Herstellung von Bauprodukten rohstoffwirtschaftlich zu nutzen, ist sehr groß (Tabelle 12). Die Eigenschaften von Baggergut sind denen von natürlichen Lockergesteinen sehr ähnlich. Die durchschnittliche Nachfrage und Produktion an Sanden und Kiesen beträgt in Deutschland etwa 250 Mio. t/a <sup>[139]-[143]</sup> (11,5 Mio. t/a in Sachsen <sup>[146]</sup>). Prinzipiell ist das geologische Dargebot nahezu unerschöpflich <sup>[100]</sup>. Jedoch vermindern steigende regulatorische Anforderungen das Erschließen neuer Abbaugelände <sup>[100]</sup> und erfordern somit eine Steigerung der Nutzung von Sekundärrohstoffquellen wie Baggergut.

Wieviel Baggergut insgesamt zur Bodenverbesserung jährlich eingesetzt wird (Verwendung und Verwertung), ist statistisch nicht erfasst. Der Bedarf nach verwertetem Abfall zur bodennahen Anwendung im durchwurzeltem Bodenbereich (Bodenverbesserer o. Ä.) betrug im Jahr 2023 etwa 2 Mio. t <sup>[137]</sup> (Tabelle 12). Eine Studie von Lake et al. (2024) <sup>[147]</sup> ergab, dass Baggergut inklusive seiner Feinkornanteile mit Kompost im Mischungsverhältnis von 80 % : 20 % (v:v) zur Wiederherstellung der Bodenqualität für degradierte landwirtschaftliche Flächen und städtische Böden beitragen und zur Rekultivierung kontaminierter Fläche eingesetzt werden kann. Baggergut ist auch für Verfüllungen von Abgrabungen außerhalb der durchwurzelbaren Zone, soweit es einen geringen Feinkornanteil und keine oder nur eine geringe Schadstoffbelastung

aufweist <sup>[4]</sup>, geeignet. In diesem Kontext (zzgl. Deponiebau) werden aggregiert ca. 95 Mio. t pro Jahr an Boden, Baggergut und Gleisschotter abfallrechtlich verwertet <sup>[139]-[143]</sup> (Tabelle 12).



**Abbildung 2.** Jährliches geschätztes gesamtes und abfallrechtlich erfasstes Baggergutaufkommen <sup>[131],[132]</sup>, Aufkommen von Baggergut mit den Abfallschlüsselnummern 17 0505\* und 17 0506 und relatives Baggergutaufkommen in zulassungsbedürftigen Abfallbehandlungsanlagen bzw. in Deponien für beide Abfallarten in den Jahren 2014 bis 2023 <sup>[132]</sup> sowie durchschnittlicher relativer Anteil der beiden Abfallarten am Gesamtanteil an gefährlichen oder nichtgefährlichen deponierten Abfälle in den Jahren 2020 bis 2023 <sup>[134]-[137]</sup>

In der Herstellung von Hintermauerziegeln werden insgesamt ca. 20 % des Rohstoffbedarfs durch Sekundärrohstoffe - davon ca. ein Drittel durch Bodenaushubmaterial - gedeckt [109] (Tabelle 12). In den kommenden Jahren hat sich die Branche die Zielstellung gesteckt, den Sekundärrohstoffanteil auf 25 % zu steigern, um natürliche Ressourcen zu schonen [109]. Dieser wachsende Bedarf kann theoretisch durch Baggergut (ca. 90.000 t/a) gedeckt werden, sofern dessen mineralogische Zusammensetzung zur jeweiligen Rezeptur [148] und zum Brennprozess passt und keine emissionsrechtlich relevanten Schadstoffbelastungen [8] vorliegen.

**Tabelle 12.** Potenzial von Baggergut in der Verwertung als Ersatzbaustoff, in der bodennahen Verwertung und als Zuschlagstoff in der Hintermauerziegelproduktion

Verwertungsweg Ersatzbaustoff	Bodennahe Verwertung	Verwertungsweg Hintermauerziegel
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nichtverwertete jährliche Masse an Boden, Steine und Baggergut (2014-2023) aggregiert ca. 127 Mio. t/a [138]</li> <li>– 997 Deponien der Deponieklassen 0 bis III (2022) mit einem kumulativen Restvolumen von ca. 426 Mio. m<sup>3</sup> [137]</li> <li>– ≈ 33 1/3 % der Kapazitäten der Deponien mit Restlaufzeit ≤ 10 a, ≈ 50 % mit einer Restlaufzeit von ≤ 15 a [137]</li> </ul>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Schadstoffarme/-freie Baggergutfraktionen (idealerweise BG-F0, Ersatzbaustoffv [13]) mit hohem Sand- und Kiesanteil können natürliche Gesteinskörnungen für die Herstellung von mineralischen Ersatzbaustoffen bzw. Bauprodukten (Mörtel, Zement, Beton) ersetzen</li> <li>– Mittlere Nachfrage bzw. Produktion an Sanden und Kiesen in Deutschland ca. 250 Mio. t/a (2014-2022) [139]-[143] (in Sachsen Förderung von ca. 11,5 Mio. t/a (2021) [146]), davon &gt; 40 % Nutzung im Straßen-, Tief- und Erdbau, &lt; 30 % für Herstellung von Transportbeton, Rest für Herstellung von anderen Bauprodukten und Export [100]</li> <li>– Insgesamt werden im Mittel (2014-2022) ca. 73 Mio. t/a an Recyclingbaustoffen hergestellt, diese decken ca. 13 % des jährlichen Bedarfs an Gesteinskörnungen ab [139]-[143]</li> <li>– Geschätzt 0,2 Mio. t/a Baggergut [132], [139]-[143] werden zu einem mineralischen Ersatzbaustoff verwertet, der Anteil an direkt verwendetem Material wird statistisch nicht erfasst</li> <li>– Erzielbare Erlöse bei Rezyklaten je nach Typ, Körnung und Güteanforderung zwischen 1 und 17 €/t (netto) [149]-[153]</li> <li>– Öffentliche Stellen sind auf Basis von § 45 KrWG [2] zur Bevorzugung von gleichwertigen Rezyklaten verpflichtet</li> <li>– Geologische Vorkommen an Sanden und Kiesen in Deutschland ausreichend, um für Jahrtausende die Nachfrage zu bedienen, allerdings starke Limitation aufgrund konkurrierender Flächennutzung, stetig aufwendiger Erkundungs- und Genehmigungsverfahren für neue Rohstoffgewinnungsgebiete und mangelnde Akzeptanz der Öffentlichkeit für die Erschließung neuer Rohstoffgewinnungsgebiete [100]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Schadstoffarmes/-freies (mit bedingter Ausnahme nach § 3 (2) BBodSchV [4]), feinkörniges Baggergut ohne Potenzial für eine schädliche Bodenveränderung mit adäquaten natürlichen Organik- und Nährstoffanteilen (ggf. anzupassen an Folgevegetation) kann zur Sicherung, Wiederherstellung oder Verbesserung der Bodenfunktionen (z. B. der Feldkapazität) und ggf. der Ertragsfähigkeit des durchwurzelbaren Bereichs von Böden eingesetzt werden (§ 7 (3), (4) und (5) BBodSchV [4]), aber weitestgehender Ausschluss des Auf-/Einbringens von Baggergut in eine bestehende durchwurzelbare Bodenschicht nach § 7 (6) BBodSchV [4] in Wäldern, Wasserschutzgebieten und sonstigen geschützten Flächen</li> <li>– Auftragsmächtigkeit von Bodenverbesserern auf Oberboden i. d. R. maximal 20 cm [154]</li> <li>– Positiver Nachweis der Nutzbarkeit von Baggergut in Mischung mit Kompost zur Wiederherstellung degradierter oder kontaminierter Böden [147]</li> <li>– Ca. 2 Mio. t an verwertetem Abfall zur Bodenverbesserung o. Ä. (2023) eingesetzt [137]</li> <li>– Umsatz (2023) an Rekultivierungs-, Renaturierungs-, Bodenbehandlungs- und Bodenschutzmaßnahmen ca. 238 Mio. € [155]</li> <li>– Bodennahe Verwertung von ca. 80.000 t/a abfallrechtlich erfasstem Baggergut [132] (i. d. R. nicht für durchwurzelbare Zone geeignet [144]), Anteil an verwendetem Baggergut statistisch nicht erfasst</li> <li>– Schadstoffarmes/-freies grobkörniges Baggergut (mit mindestens 90 % Korngrößenanteil &gt; 63 µm) kann unterhalb oder außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht auf-/eingebracht werden (§ 8 (1) BBodSchV [4])</li> <li>– Im Mittel werden ca. 105 Mio. t/a an abfallrechtlich erfassten mineralischen Bauabfällen [139]-[143], davon aggregiert ca. 90 % Boden + Baggergut + Gleisschotter [139]-[143], davon wahrscheinlich ca. 0,5 Mio. t/a Baggergut [132]-[137] für Verfüllungen von Abgrabungen und – außerhalb des Bodenrechts – im Deponiebau genutzt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Baggergut mit hohem Feinkornanteil und einer möglichst ähnlichen mineralogischen Zusammensetzung wie Ton und Lehm kann in der Ziegelherstellung den Primärrohstoff partiell ersetzen (ideal ≈ 20-30 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 50-60 % SiO<sub>2</sub>, 2-5 % CaO und 5-6 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, &lt; 1 % MgO [148])</li> <li>– Baggergut mit hohem natürlichen Organikanteil ist günstig zur Porosierung von Hintermauerziegeln [109] und vorteilhaft im CO<sub>2</sub>-Zerifikatehandel [112]</li> <li>– Baggergut sollte möglichst geringe Anteile an immissionsrechtlich kritischen Elementen (z. B. Hg und S) [8] oder (beton-)korrosiv wirkenden Bestandteilen (z. B. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>) haben [10],[80],[81]</li> <li>– 38 aktive Hintermauerziegeleien in Deutschland (Stand 01/26) [156]</li> <li>– Im Mittel beträgt das Hintermauerziegelproduktionsvolumen in Deutschland ca. 5,9 Mio. m<sup>3</sup>/a (2007-2023) [145]</li> <li>– Ca. 6 Masse% des Gesamtrohstoffeinsatzes zur Hintermauerziegelproduktion wird durch Bodenaushub (o. Ä.) als Sekundärrohstoff abgedeckt [109] (≈ ca. 370.000 t/a)</li> <li>– Verbrauch von Ziegelton in Deutschland ca. 8,4 Mio. t/a (2014-2023) [138]</li> <li>– Kostensenkung für Hintermauerziegler durch Substitution von Ziegelton (Kosten für Ton im Eigenabbau ca. 10-12 €/t, Ton im Einkauf ca. 20-30 €/t [157]) durch kostenpflichtige Annahme eines geeigneten Sekundärrohstoffs (Preis auf Verhandlungsbasis)</li> <li>– Gesamtsekundärrohstoffanteil liegt aktuell bei ca. 20 %, anvisierte Sekundärrohstoffquote im Jahr 2050 = 25 % [109] (≈ ca. 460.000 t/a Bodenaushub und/oder Baggergut)</li> </ul>

#### 4.4.2.2 Wirtschaftlichkeitsanalyse für verschiedene Aufbereitungsverfahren und Verwertungsoptionen

Auf Basis des Wissensstands zu begleiteten Sedimentberäumungsmaßnahmen, Preisanfragen bei Anbietern technischer und logistischer Lösungen, einer Literaturrecherche zu Aufbereitungsverfahren <sup>[158]-[169]</sup> sowie einer Auswertung von publizierten Entsorgungskosten und Anfragen bei Entsorgern <sup>[170]-[177]</sup> wurden Kostenschätzungen zu verschiedenen Etappen des Baggergutmanagements erarbeitet. Diese umfassen (1) die Entwässerung, (2) den Transport zum Verwerter/Entsorger sowie (3) die mechanische Aufbereitung und (4) schadstoffmobilisierende, -immobilisierende und -zerstörende Behandlungsverfahren oder alternativ (5) die Entsorgung. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 mit Bezug zu den im Projekt beprobten Stauhaltungen (Abbildung 1) zur Übersicht zusammengefasst.

**1. Entwässerung:** Frisch entnommene subhydrische Sedimente weisen, insbesondere wenn sie einen hohen Feinkornanteil besitzen, häufig Wassergehalte oberhalb von 50 % (Masse Wasser pro Gesamtmasse) auf. Bei einer fließfähigen Konsistenz sind sie als Schüttgutladung per LKW nicht transportierbar und auch für eine nachfolgende Verwendung nicht einsatzfähig. Die Verminderung des Wassergehalts hat zudem einen nicht unerheblichen wirtschaftlichen Aspekt, in dem durch eine effektive Entwässerung das zu transportierende Volumen reduziert wird, wodurch nachgelagerte Kosten für Transport, Verwertung oder ggf. Deponierung sinken. Der Effekt wird dabei umso bedeutsamer, je weiter die Transportentfernungen sind.

Grundsätzlich kann das Baggergut auf natürliche (passive) oder technische (aktive) Weise entwässert werden. Die beiden Varianten unterscheiden sich in Bezug auf den Investitionsumfang, den Betriebsaufwand, die Flächeninanspruchnahme und den Zeitbedarf.

Die natürliche Entwässerung erfolgt entweder im abgestauten Gewässer mit angelegten Entwässerungsgräben oder am Rand des Gewässers in Form von Haufwerken oder in extern aufgebauten Spülfeldern bzw. Sedimentationsbecken durch Versickerung, Drainage und Verdunstung. Die Kostenstruktur ist dabei durch geringe technische Investitionen, einen evtl. höheren Aufwand durch mehrmaliges Umwenden des Materials bei sehr feinkörnigem Material sowie einen hohen Flächenbedarf und häufig mehrwöchige Verweilzeiten geprägt. Bei hochkontaminiertem Material und hoher Schadstoffmobilität sind ggf. erhebliche Mehraufwendungen durch die Fassung und Behandlung des Sickerwassers und weitere Sicherheitsanforderungen in Abhängigkeit der evtl. vorhandenen Genehmigungsaufgaben und Nebenbestimmungen erforderlich. Im günstigsten Fall, d. h. bei einer Trockenentnahme von grobkörnigem, unbelastetem Material (Sand und Kies), sind die Kosten de facto zu vernachlässigen. Bei höheren Feinkornanteilen und mehrmaligen Umwendearbeiten liegen die Kosten bei bis zu 8 €/t (TM) Baggergut. Am Praxisbeispiel des Freiburger Hüttenteichs könnte das überwiegend grobkörnigere Material aus dem Stauwurzelbereich mit einem durchschnittlichen Wassergehalt von 25 bis 40 % <sup>[178]</sup> bereits nach kurzer Abtropfzeit abtransportiert werden. Das Baggergut aus dem zentralen Bereich bis zum Staubauwerk bei Einstau des Gewässers weist dagegen Wassergehalte von 50 bis 60 % <sup>[178]</sup> auf und müsste beispielsweise durch eine intermediäre Aufhaltung auf Wassergehalte von unter 50 % bis zum Kriterium „stichfest“ entwässert werden.

Wenn keine preiswerten Flächen in der Nähe des Gewässers verfügbar sind, ungünstige Witterungsbedingungen (z. B. viel Niederschlag, niedrige Temperaturen) vorherrschen oder die natürliche Entwässerung aufgrund logistischer (z. B. Transportverfügbarkeit) oder fiskalischer Randbedingungen (z. B. durch Kapitalbindung) zu lange dauert, ist die technische Entwässerung trotz höherer Kosten u. U. die wirtschaftlichere Lösung. Eine technische Entwässerung umfasst mechanische Verfahren wie Siebandpressen, Kammerfilterpressen, Zentrifugen oder Schneckenpressen. Ergänzend könnten auch Geotextilschläuche (Geotubes) hinzugezählt werden, da es sich dabei um technisch zu befüllende technische Gewebe handelt, die ggf. unter Zusatz von Flockungs- und Flockungshilfsmitteln die natürliche Entwässerung beschleunigen. Diese Systeme ermöglichen eine deutliche Verminderung des Wassergehalts innerhalb kurzer Zeit und erreichen Trockensubstanzgehalte von zumeist < 50 %, abhängig von Sedimenttyp und Konditionierung. Die spezifischen Kosten liegen bei hohen technischen Durchsatzraten, Wassergehalten nahe des Zielwertes und geringer Belastung des Materials bei 10 bis

15 €/t (TM). Bei sehr feinkörnigen, wasserreichen oder stark organisch belasteten Sedimenten können die Kosten um schätzungsweise 100 % darüber hinausgehen.

Neben den Investitions- oder Mietkosten für die Anlagen und den hohen Energiepreisen sind insbesondere der Personalaufwand, die Wartung und Instandsetzung, der Einsatz von Flokkungs(hilfs)mitteln und die Restwasserbehandlung kostenrelevant. Der Vorteil liegt in der hohen Prozesskontrolle, dem geringen Flächenbedarf und der schnellen Verfügbarkeit eines transportfähigen Materials. Die Auswahl des Verfahrens sollte nicht isoliert auf den Entwässerungsschritt, sondern auch mit Blick auf die Gesamtkosten der Prozesskette unter Berücksichtigung von Materialeigenschaften, Verwertungsziel und der Genehmigungslage erfolgen.

**2. Transport zur Behandlungsanlage oder zur Deponierung:** Die Transportkosten von entwässertem Baggergut werden maßgeblich durch die Transportentfernung, das gewählte Verkehrsmittel (i. d. R. mehrachsiger LKW), evtl. anfallende Mautgebühren und CO<sub>2</sub>-bezogene Zusatzkosten, das spezifische Gewicht des Materials bzw. die tatsächlich transportierte Trockenmasse an Baggergut (→ Entwässerungsleistung), logistische Rahmenbedingungen (z. B. Be- und Entladezeiten und Wartezeiten) sowie durch rechtliche Anforderungen (z. B. Nachweisführung und evtl. erforderliche zusätzliche Sicherungspflichten) bestimmt.

Die spezifischen Kosten liegen – zusätzlich abhängig von Region, aktuellem Dieselpreis, Auslastung und Entsorgungsklasse – typischerweise im Bereich von etwa 0,15 bis 0,40 € pro Tonne Baggergut (TM) und Kilometer. Bei größeren Distanzen oder größeren Massenströmen können, sofern es grundsätzlich die Möglichkeit gibt, Bahn- oder Binnenschifftransporte wirtschaftlicher sein, da sie geringere spezifische Kosten pro Tonne und Kilometer aufweisen, jedoch höhere Umschlags- und Organisationskosten verursachen.

Bei weiten Entfernungen zu einer geeigneten Verwertungsanlage oder Deponie machen die Transportkosten einen erheblichen Anteil an den Gesamtkosten der Baggergutbewirtschaftung aus. Dies hat einen nachteiligen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit bestimmter Verwertungsoptionen. Eine ökonomisch darstellbare Verwertungsstrategie basiert in jedem Fall auf einer möglichst hohen Entwässerungsrate und einer möglichst standortnahen Verwertung.

**3. Mechanische Aufbereitung:** Die mechanische Aufbereitung von entwässertem Baggergut ist ein etablierter Prozess, der der Fraktionierung mineralischer Bestandteile dient, um definierte Korngrößengemische unter Abtrennung von Fremd- und Störstoffen mit definierten Qualitäten für eine stoffliche oder bautechnische Verwertung zu erzeugen.

Typische Prozessschritte umfassen initial eine Grobsortierung bzw. Vorabscheidung mittels Bagger, Brecher oder Trommelsieb und ggf. Magnetscheider, um Überkorn (> 63 mm) und Störstoffe (z. B. Holz, Pflanzenreste, Kunststoffe, Metalle) auszutragen. Daran schließt sich die Klassierung durch Vibrations- oder Trommelsiebe an, bei der das Material in definierte Kornfraktionen (z. B. > 32 mm, 2–32 mm, < 2 mm) getrennt wird. Weitergehend kann auch eine Nassklassierung oder Sandwäsche erfolgen, bei der durch hydraulische Separation Feinanteile (< 63 µm, d. h. Schluff und Ton) sowie leichte organische Bestandteile abgetrennt werden. Die Aufbereitungseffizienz ist im Allgemeinen von der Kornverteilung des Baggerguts, der Plastizität toniger Bestandteile sowie von der Bindigkeit zwischen den Grob- und Feinfraktionen abhängig.

Die Kosten der mechanischen Aufbereitung setzen sich aus den folgenden Positionen zusammen: Investitionskosten für mobile oder stationäre Anlagen, Energieverbrauch, Personalaufwand, Wartungs- und Reparaturkosten sowie bei Nassverfahren zusätzlich Kosten für Prozesswasser, Wasseraufbereitung und Schlammbehandlung. Die Ausgaben für eine Trockenaufbereitung (Sortieren, Sieben, Klassieren) liegen i. d. R. bei etwa 10 bis 20 €/t (TM) und variieren hauptsächlich in Abhängigkeit zur Durchsatzleistung sowie zu den Materialeigenschaften. Bei einer zusätzlichen Nassaufbereitung (Waschen, hydraulische Klassierung) erhöhen sich die Kosten auf etwa 15 bis 25 €/t (TM). Grund dafür ist der höhere Energiebedarf sowie die Mehraufwendungen für die Wasseraufbereitung und die Reststoffentsorgung. Stark bindige oder heterogene Sedimente können aufgrund erhöhter Maschinenbelastung und geringerer Trennschärfe noch höhere Kosten von bis zu 40 €/t (TM) verursachen.

Die mechanische Aufbereitung ist insbesondere dann wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll, wenn bei geeigneter stofflicher Materialqualität und begrenztem Schadstoffgehalt durch die Fraktionierung in großem Umfang höherwertige mineralische Ersatzbaustoffe oder anderweitig technisch nutzbare Gesteinskörnungen erzeugt werden können und gleichzeitig die Menge des zu entsorgenden Materials (z. B. Störstoffe) stark verringert wird.

#### **4. Schadstoffmobilisierende, -immobilisierende, -zerstörende Behandlungsverfahren:**

Wenn das Baggergut oder die im Rahmen einer mechanischen Aufbereitung erzeugten Materialfraktionen für eine Verwertung zu hoch belastet sind und/oder sich im Eluat zu hohe Schadstoffgehalte nachweisen lassen, muss ein an das Problem angepasstes Behandlungsverfahren oder eine Verfahrenskombination gewählt werden. Grundsätzlich gibt es drei verfahrenstechnische Strategien: schadstoffmobilisierende, schadstoffimmobilisierende oder schadstoffzerstörende Verfahren.

Schadstoffmobilisierende Verfahren zielen darauf ab, gebundene organische und/oder anorganische Kontaminanten aus der Feststoffmatrix in eine flüssige oder gasförmige Phase zu überführen, um sie anschließend abzutrennen. Chemische Extraktionsverfahren arbeiten beispielsweise mit Tensiden (zur Mobilisierung hydrophober organischer Schadstoffe), Komplexbildnern wie z. B. Citronensäure (zur Bindung von Metall(oid)en und Überführung in die gelöste Phase) oder verdünnten Säuren (zur Mobilisierung von Metall(oid)en). Auch eine biologisch induzierte Mobilisierung (z. B. durch säurebildende Mikroorganismen oder durch Pflanzen) kann grundsätzlich Metall(oid)e aus einer Feststoffmatrix herauslösen, wenngleich in sehr langen Behandlungszeiträumen. Die thermische Desorption stellt eine physikalisch-thermische Variante der Schadstoffmobilisierung dar, in der überwiegend niedermolekulare organische Schadstoffe (z. B. monozyklische oder bi- und trizyklisch kondensierte Aromaten) und auch einige Cr-, As-, Hg- und Pb-Oxid- und -salzverbindungen bei Temperaturen von etwa 200 bis 600 °C ausgetrieben und im Gasstrom über Filtereinheiten abgetrennt werden können. Die spezifischen Kosten liegen, abhängig von Schadstoffart, Schadstoffkonzentration, Behandlungsdauer, Anlagenmaßstab und Behandlungsziel, im Bereich von etwa 50 bis weit über 300 €/t (TM) für chemische Waschverfahren, von ca. 20 bis über 100 €/t (TM) für biologische Behandlungsverfahren (Phytoremediation oder Bioleaching) und von ca. 90 bis über 300 €/t (TM) für die thermische Desorption. Kostentreiber sind der Reagenzienverbrauch, der Energieeinsatz, die Abwasser- und/oder Abgasbehandlung sowie die Entsorgung der konzentrierten Reststoffe. Vorteilhaft ist die Möglichkeit, das behandelte mineralische Material einer höherwertigen Verwertung zuzuführen, nachteilig sind die komplexe Prozessführung und der aufwendige und teure Umgang mit den Sekundärabfallströmen.

Schadstoffimmobilisierende Verfahren verfolgen das Ziel, die Mobilität bzw. Eluierbarkeit von Schadstoffen dauerhaft zu vermindern, ohne sie aus dem Material zu entfernen. Typisch sind chemisch-physikalische Stabilisierungsverfahren, bei denen Bindemittel wie Zement, Kalk oder natürliche oder künstliche puzzolanische Zusatzstoffe (z. B. Flugasche) eingemischt werden, um Metall(oid)e in schwerlösliche Bindungsformen zu überführen und zugleich die Permeabilität des Materials zu verringern. Eine weitere Möglichkeit ist die Verglasung (Vitrifikation), bei der im Rahmen einer Hochtemperaturbehandlung (> 1.200 °C) nahezu alle organischen Schadstoffe zerstört und Metall(oid)e in eine glasartige, weitgehend inerte silikatische Matrix überführt werden. Die Kosten für eine konventionelle Stabilisierung liegen meist im Bereich von 40 bis 120 €/t (TM), abhängig vom Bindemittelanteil und Mischaufwand. Bei Zudosierung von Aktivkohle, Zeolithen oder ähnlichen Sorbenzien sind die Aufwendungen etwa doppelt so hoch anzusetzen. Die Verglasung ist aufgrund des hohen Energiebedarfs noch einmal deutlich kostenintensiver und bewegt sich im Bereich von 100 bis 600 €/t (TM) oder ggf. darüber. Schadstoffimmobilisierende Verfahren sind insbesondere dann interessant, wenn eine technische Verwertung des Baggerguts (z. B. im Erdbau) angestrebt wird oder ggf. die Deponierung in einer niedrigeren Deponieklasse ermöglicht werden soll.

Bei schadstoffzerstörenden Verfahren wird eine Transformation organischer Kontaminanten in weniger toxische Verbindungen, idealerweise bis zum Totalabbau ( $\rightarrow$  CO<sub>2</sub>), durch chemische, biologische oder thermisch-oxidative Prozesse erwirkt. Mikrobiologische Verfahren (unter

Zudosierung von abbaubaren Organismen sowie Nähr- und Hilfssubstraten, wie z. B. Kompost) nutzen den enzymatischen Abbau organischer Schadstoffe und sind besonders für niedermolekulare PAK oder Mineralölkohlenwasserstoffe geeignet. Die Kosten liegen in der Größenordnung zwischen 50 und 300 €/t (TM), wobei die zumeist langen Behandlungszeiten (mehrere Monate) und das erforderliche Monitoringprogramm zu berücksichtigen sind. Chemisch-oxidative Verfahren, beispielsweise unter Verwendung von Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), Persulfaten (S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>) oder Ozon (O<sub>3</sub>), ermöglichen eine beschleunigte Zerstörung organischer Substanzen (mitunter aber mit toxischen Intermediaten) und bewegen sich im Bereich von 80 bis über 300 €/t (TM). Die thermische Behandlung in Form einer Hochtemperaturverbrennung (> 850 °C) mit hinreichender Sauerstoffzufuhr gewährleistet eine vollständige Zerstörung organischer Schadstoffe durch Oxidation, ist jedoch v. a. durch den Energieverbrauch und in Abhängigkeit des Heizwerts, einer möglichen Vorbehandlung und den Emissionsanforderungen mit Kosten von etwa 200 bis 600 €/t (TM) verbunden. Schadstoffzerstörende Verfahren sind vor allem dann interessant, wenn eine stoffliche Wiederverwertung mit höherer Qualität überwiegend durch organische Kontaminanten beschränkt wird.

**5. Entsorgung:** Die Entsorgungskosten von Baggergut werden maßgeblich über die Schadstoffgehalte und durch den Wassergehalt sowie ggf. andere stoffliche Materialeigenschaften bestimmt (z. B. Korngrößen und Eignung für Deponiebau oder Deponieabdichtung). Hauptgrundlage ist die chemisch-analytische Charakterisierung, anhand derer das Material gemäß den Bestimmungen der AVV <sup>[59]</sup> den Abfallschlüssel 170506 (nicht gefährliches Baggergut) oder 170505\* (gefährliches Baggergut) erhält und nach den Bestimmungen der DepV <sup>[32]</sup> der Deponieklasse zugewiesen wird. Die dabei entscheidenden Parameter sind die in der DepV <sup>[32]</sup> aufgeführten Metall(oid)e, organischen Schadstoffe und Salzgehalte sowie deren eluierbare Anteile.

Die direkten Entsorgungskosten setzen sich aus den Deponiegebühren, evtl. erforderlichen Vorbehandlungsmaßnahmen (z. B. Entwässerung oder Stabilisierung) sowie administrativen Aufwendungen (Analytik, Nachweisführung) zusammen.

Nach aktuellen Recherchen liegen die Kosten für die Annahme von nicht gefährlichem Baggergut (170506) netto in einer Preisspanne von 37 bis 74 € pro t (Einwaage bei Anlieferung) <sup>[170]-[175]</sup> und die für gefährliches Baggergut (170505\*) im Bereich von 70 bis 120 € pro t (Einwaage bei Anlieferung) <sup>[174]-[177]</sup>.

Neben ökologischen Aspekten und dem abfallrechtlichen Grundsatz, dass die Verwertung Vorrang vor der Beseitigung hat <sup>[2]</sup>, ist es aus wirtschaftlicher Sicht entscheidend, welche Aufbereitungsverfahren eine gegenüber der Entsorgung ökonomisch sinnvolle Verwertung ermöglichen.

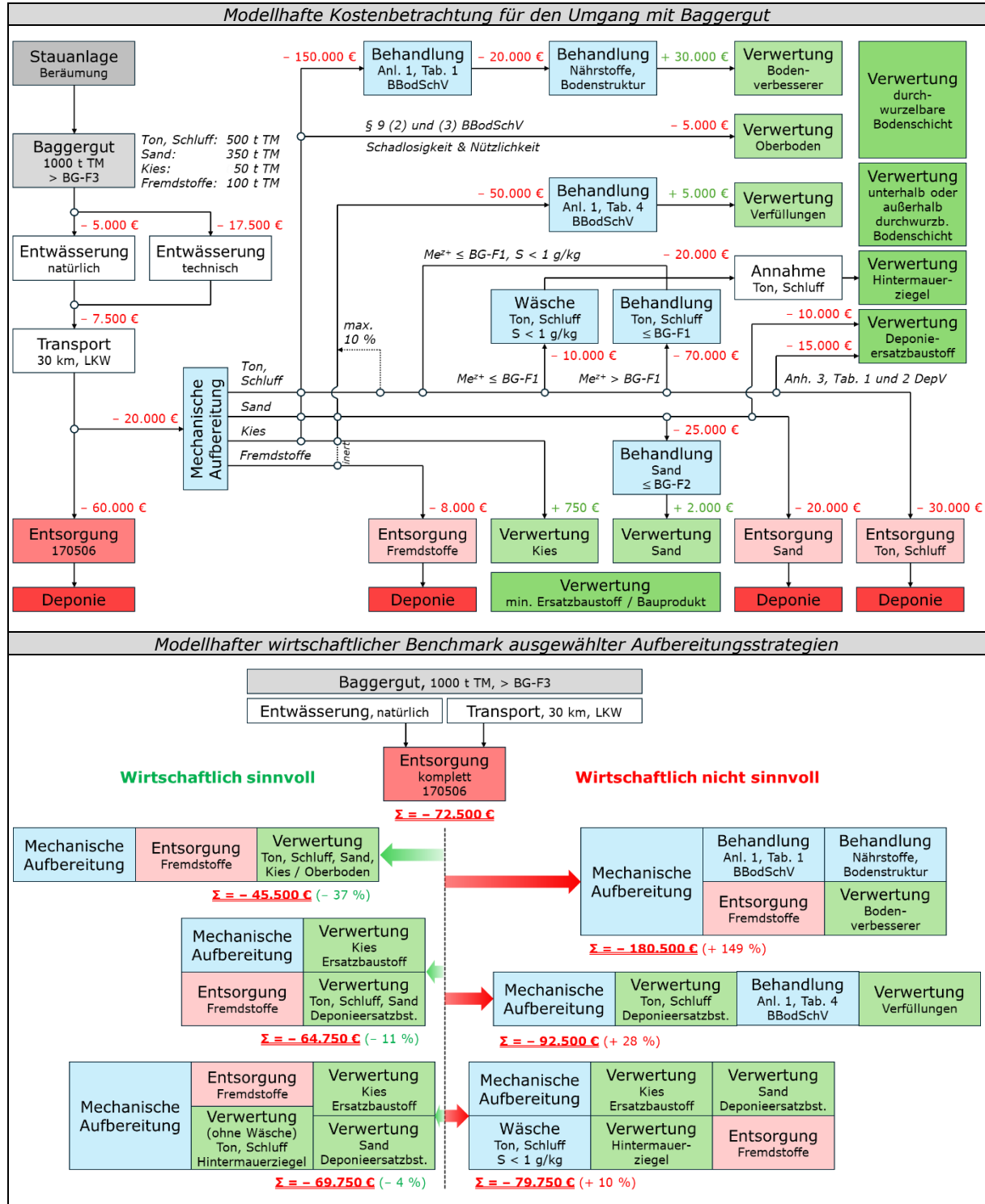
**Tabelle 13a.** Kostenschätzung für verschiedene Aufbereitungs-/Behandlungsverfahren und die Entsorgung

<i>1. Entwässerung → Herstellung der Transportfähigkeit des Baggerguts</i>
<p>Variante 1: <b>natürliche Entwässerung</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Herstellung von Entwässerungsgräben, Bildung von Haufwerken, Errichtung von Spülfeldern o. Ä.</li><li>– Kostenabhängigkeit: Flächeninanspruchnahme, Dauer der Trocknung, Nachbehandlung/Umsetzen/Umschichten, Ziel-Wassergehalt (für den Transport häufig mit dem Prädikat „stichfest“ beschrieben)<ul style="list-style-type: none"><li>– ca. <b>1-3 €/t (TM)</b> bei groben, wenig wasserspeicherndem Material wie Sanden und Kiesen</li><li>– ca. <b>4-8 €/t (TM)</b> bei feinen Sedimenten mit hohem Schluff- und Tonanteil</li></ul></li></ul> <p>Variante 2: <b>technische Entwässerung</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– z. B. Einsatz von Geotextilschläuchen +/- Flockungs(hilfs)mittel, Kammerfilterpressen, hydro-mechanische Anlagen o. Ä.</li><li>– Kostenabhängigkeit: Maschinen, Personal, Durchsatzleistung, Zielwert der Entwässerung, ggf. Flockungsmittel u.a.<ul style="list-style-type: none"><li>– ca. <b>10-15 €/t (TM)</b> bei normalem Nassbaggergut</li><li>– ca. <b>15-25 €/t (TM)</b> bei sehr feinen, organikreichen Sedimenten</li></ul></li></ul>
<i>2. Transport zur Behandlungsanlage oder zur Deponierung</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>– Kostenabhängigkeit: LKW-Größe (Ladungsmenge und LKW-Typ → Anzahl an Achsen), Distanz zum Verbringungs-/Aufbereitungsort und Streckenprofil (Nutzung von Landstraße und Autobahn), Personal, Wassergehalt des Sediments → Anzahl der Fahrten, ggf. ADR-Gefahrtzuschläge, Leerfahrt-Paare, Umschlag bzw. Be- und Entladung, Warte- bzw. Standzeiten<ul style="list-style-type: none"><li>– ca. <b>0,15 €/t (TM) pro km</b> bei Transport von nicht-gefährlichem Abfall, hohem Transportvolumen und kurzen Wegen über die Landstraße</li><li>– ca. <b>0,40 €/t (TM) pro km</b> bei gefährlichem Abfall (ADR), kleinerem Transportvolumen, Transport teilweise über die Autobahn (Maut)</li></ul></li></ul>

**Tabelle 13b.** Kostenschätzung für verschiedene Aufbereitungs-/Behandlungsverfahren und die Entsorgung

<i>3. Mechanische Aufbereitung</i>
– Kostenabhängigkeit: Materialeigenschaften (Feinkorn-/Grobkornanteil, Fremdstoffe, Pflanzenreste usw.), angestrebtes Aufbereitungsziel (Entfernung von Grobstoffen, Zielkornklassen, Wassergehalt), Technische Ausrüstung (Siebe, Trommeln, Hydrozyklone, Trocknungsanlagen), Betriebsbedingungen (Durchsatz, Leistungsanforderung, Personalkosten, Energiekosten, ggf. Chemikalienkosten, Entsorgungskosten, logistische Faktoren)
– ca. <b>10-20 €/t (TM)</b> für ein nicht aufwendiges Sortieren, Klassieren und Sieben (wenig Fremdstoffe, geringer Feinstoffanteil, hoher Anlagendurchsatz)
– ca. <b>15-40 €/t (TM)</b> bei aufwendigeren Verfahrensschritten, z. B. hoher Feinanteil und hoher Sortier- und Waschaufwand, evtl. noch höher bei Entsorgungskosten für nicht verwertbare Feinkornfraktionen und bei erforderlicher Trocknung
<i>4. Schadstoffmobilisierende, -immobilisierende, -zerstörende Behandlungsverfahren</i>
– Schadstoffmobilisierung
– <b>Chemische Lösung</b> aus der mineralischen Fraktion durch Wäsche mit Tensiden, Komplexbildnern, Säuren (anorganische Schadstoffe, hauptsächlich toxische Metall(oid)e) oder mit organischen Lösemitteln (organische Schadstoffe)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochkontaminiertes Baggergut (≙ FHT) → BG-F3 (<b>90-130 €/t (TM)</b>) → BG-F2 (<b>130-190 €/t (TM)</b>) → BG-F1 (<b>190-280 €/t (TM)</b>) → BG-F0 (&gt;&gt; <b>300 €/t (TM)</b>)</li> <li>• Mittelkontaminiertes Baggergut (≙ VDI, VDO) → BG-F3 (<b>55-80 €/t (TM)</b>) → BG-F2 (<b>80-120 €/t (TM)</b>) → BG-F1 (<b>120-170 €/t (TM)</b>) → BG-F0 (<b>170-230 €/t (TM)</b>)</li> <li>• Geringkontaminiertes Baggergut (≙ UGT, VFO) → BG-F2 (<b>50-75 €/t (TM)</b>) → BG-F1 (<b>70-110 €/t (TM)</b>) → BG-F0 (<b>100-150 €/t (TM)</b>)</li> </ul>
– <b>Biologisch induzierte (saure) Mobilisierung</b> durch Mikroorganismen hauptsächlich von Metall(oid)en (Bioleaching) und/oder pflanzeninduzierte Schadstoffaufnahme von organischen oder anorganischen Schadstoffen über das Wurzelsystem und Speicherung in den oberirdischen Pflanzenteilen (Phytoremediation, Phytoextraktion) → wenig Investitionskosten, sehr lange Behandlungsdauer (mehrere Monate bis mehrere Jahre)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochkontam. BG (≙ FHT) → BG-F3 (<b>40-70 €/t (TM)</b>) → BG-F2 (<b>90-140 €/t (TM)</b>) → BG-F1..F0 unerreichbar</li> <li>• Mittelkontam. BG (≙ VDI, VDO) → BG-F2 (<b>30-55 €/t (TM)</b>) → BG-F1 (<b>70-120 €/t (TM)</b>) → BG-F0 unerreichbar</li> <li>• Geringkontaminiertes Baggergut (≙ UGT, VFO) → BG-F1 (<b>20-40 €/t (TM)</b>) → BG-F0 (<b>60-100 €/t (TM)</b>)</li> </ul>
– <b>Thermische Desorption</b> von organischen Schadstoffen und mobilisierbaren Metall(oid)en wie Hg, Cd und As und Abluftbehandlung (hauptsächlich vom Schadstoff- und Wassergehalt abhängig)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochkontaminiertes Baggergut (≙ FHT) → BG-F3 (<b>140-190 €/t (TM)</b>) @ 200-450°C → BG-F2 (<b>280-280 €/t (TM)</b>) @ &gt;850°C → BG-F1 (<b>260-350 €/t (TM)</b>) @ &gt;850°C + Nachwäsche → BG-F0 (unerreichbar)</li> <li>• Mittelkontaminiertes Baggergut (≙ VDI, VDO) → BG-F3 (<b>110-160 €/t (TM)</b>) @ 200-450°C → BG-F2 (<b>150-210 €/t (TM)</b>) @ 450-750°C → BG-F1 (<b>200-270 €/t (TM)</b>) @ &gt;850°C → BG-F0 (<b>260-320 €/t (TM)</b>) @ &gt;850°C + Nachwäsche</li> <li>• Geringkontaminiertes Baggergut (≙ UGT, VFO) → BG-F3 (<b>90-130 €/t (TM)</b>) @ 200-450°C → BG-F2 (<b>110-150 €/t (TM)</b>) @ 200-450°C → BG-F1 (<b>150-200 €/t (TM)</b>) @ 450-750°C → BG-F0 (<b>190-260 €/t (TM)</b>) @ &gt;850°C</li> </ul>
– Schadstoffimmobilisierung
– <b>Chemisch-physikalische Fixierung/Stabilisierung</b> von Metall(oid)en mit (zumeist alkalisch wirkenden) anorganischen Bindemitteln (Zement, Mörtel, Kalk, Gips, Hochofenschlacke, Geopolymere, Flugasche) oder von organischen Schadstoffen durch Einsatz sorptiv wirkender Materialien (z. B. mit Aktivkohle, Zeolithen oder Polymeren, ggf. auch Einsatz von Recyclingstoffen aus Asphalt o. Ä.) → verbessert Eluatwerte → technisch relativ einfach und schnell durchzuführen, aber relativ teure Rohstoffe und teure Nachweisführung (Eluatmessungen)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zement- oder Kalkstabilisierung oder Hochofenschlacke o. Ä. → Zudosierung zzgl. Misch-, Reaktions- und Nachlagerungsaufwand sowie Kosten für Nachweisführung (5-20 Masse% Zusatz → <b>40-120 €/t (TM)</b>)</li> <li>• Aktivkohle (pulverisiert oder granuliert), polymerische Sorbentien o. Ä. (1-10 Masse% → <b>80-220 €/t (TM)</b>)</li> </ul>
– <b>Verglasung/Einschmelzen</b> von Metall(oid)en im Hochtemperaturverfahren (> 1200°C) → praktisch vollständige Immobilisierung der meisten anorganischen Schadstoffe und Zerstörung aller organischen Schadstoffe
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ca. <b>100-600 €/t (TM)</b> in Abhängigkeit der Vortrocknung des Materials, dem Durchsatz, dem Energieeinsatz bzw. Energiekosten (Temperaturbereich), dem Schadstoffinventar und der daraus erforderlichen Abluftbehandlung (Technik- und Genehmigungsaufwand) und ggf. der Entsorgung des Outputs</li> </ul>
– Schadstoffzerstörung/-abbau/-auslaugung
– <b>Mikrobiologischer Abbau</b> von organischen Schadstoffen durch Mikroorganismen, Enzyme, Pilze, Algen → relativ geringe Investitionskosten, aber extrem lange Behandlungsdauer (ggf. mehrere Jahre erforderlich)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Abhängigkeit des methodischen Ansatzes (zzgl. Forschungsinvestition), des Behandlungsziels (BG-F3 bis BG-F0), der Dauer, der erforderlichen Flächen und des begleitenden Monitorings: <b>50-300 €/t (TM)</b></li> </ul>
– <b>Chemischer/oxidativer Abbau</b> von organischen Schadstoffen durch Zusatz von bspw. Wasserstoffperoxid und/oder Ozon oder elektrochemische Behandlungsverfahren mit ggf. einhergehender bedingter Mobilisierung oder Immobilisierung von Metall(oid)en
<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Abhängigkeit des methodischen Ansatzes (am günstigsten Zudosierung von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, am teuersten aufwendige, kombinierte AOP-Verfahren und sehr feinkörniges Material), der Schadstoffbelastung, des Behandlungsziels (BG-F3 bis BG-F0), des Durchsatzes, des Aufwands für die Einmischung der Zusätze, der Zudosierung weiterer Chemikalien (z. B. zur pH-Wert-Stabilisierung oder zur Fixierung von Schadstoffen), der Abwasser- und ggf. Abluftbehandlung und des begleitenden Monitorings: <b>80-400 €/t (TM)</b></li> </ul>
– <b>Verbrennung</b> unter Sauerstoffüberschuss mit Totaloxidation organischer Schadstoffe oder <b>Pyrolyse</b> unter Sauerstoffmangel mit thermochemischer Formierung von koksähnlichen Produkten und Pyrolysegas → hohe Energie- und Betriebskosten und großer Genehmigungsaufwand durch hohe Anforderungen an die Abgasbehandlung, evtl. zzgl. Entsorgungskosten für Verbrennungsrückstände durch verbliebene Metall(oid)e
<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Abhängigkeit der Anlagengröße (hauptsächlich Investitionskosten für on- oder offsite-Anlage), der Abgasreinigung, des Durchsatzes, des Schadstoffinventars, des Wassergehalts (Aufwand für Vortrocknung), des Monitoring- und Dokumentationsaufwands sowie der Entsorgung von Rückständen: ca. <b>200-600 €/t (TM)</b></li> </ul>
<i>5. Entsorgung (Deponiekosten und ggf. erforderliche Vorbehandlung für Baggergut 17 05 05*)</i>
– Kosten für <b>Entsorgung</b> von nichtgefährlichem Baggergut ( <b>17 05 06</b> ): <b>37-74 €/t (Einwaage)</b> <sup>[170]-[175]</sup>
– Kosten für <b>Entsorgung</b> von gefährlichem Baggergut ( <b>17 05 05*</b> ): <b>70-120 €/t (Einwaage)</b> <sup>[174]-[177]</sup>

Vor diesem Hintergrund ist eine Kostenbetrachtung für alle Schritte im Umgang mit Baggergut unter ggf. erforderlicher Betrachtung von Teilstoffströmen sinnvoll, um eine kosteneffiziente Verwertungsstrategie zu evaluieren und eine Beseitigung des Materials zu vermeiden. Abbildung 3 zeigt hierzu ein modellhaftes Szenario für die Verbringung eines belasteten Baggerguts.



**Abbildung 3.** Modellhafte Kostenbetrachtung für den Umgang mit Baggergut (rot = Kosten, grün = Erlös) und modellhafter wirtschaftlicher Benchmark ausgewählter Aufbereitungsstrategien

In der oberen Darstellung sind die Kosten für die einzelnen möglichen Prozessschritte in Anlehnung an die in Tabelle 13 angeführten Relativkosten rot und mit negativem Vorzeichen auf die Masse des Modell-Baggerguts von 1000 t (TM) bzw. der Baggergutfraktionen Ton und Schluff, Sand, Kies und Fremdstoffe aufgeschlüsselt. Die hypothetischen Erlöse durch den Verkauf verkehrsfähiger Produkte (wie z. B. Kies) sind grün und mit positivem Vorzeichen angegeben.

Als wirtschaftlicher Benchmark ist in der unteren Hälfte der Abbildung 3 der Verbringungs- und Entsorgungspfad des Modell-Baggerguts von einer natürlichen Entwässerung (–5.000 €) über einen 30 km weiten Transportweg (–7.500 €) zur Entsorgung (–60.000 €) mit kumulativ 72.500 € Kosten skizziert.

Die Umgehung der Entsorgung, beispielsweise unter den Aufwendungen einer mechanischen Aufbereitung (–20.000 €) und der Entsorgung von 100 kg nicht verwertbarer Fremdstoffe (–8.000 €) und der hypothetischen Möglichkeit einer lokalen bodennahen Verwertung (–5.000 €), soweit durch erhöhte Hintergrundschadstoffgehalte am Verbringungsort und den analytischen Befunden des Materials keine schädliche Bodenveränderung zu besorgen sind, würde Gesamtkosten von 45.500 € zur Folge haben. Gegenüber dem Entsorgungspfad wären in diesem Szenario die Ausgaben um 27.000 € oder um rund 37 % niedriger.

Andere Pfade, v. a. solche, die einen kostenintensiven Aufbereitungsschritt zur Schadstoffanreicherung erfordern, sind trotz erzielter Erlöse aus einem Produkt aus ökonomischer Sicht in den meisten Fällen gegenüber der Entsorgung benachteiligt. Sie sind dann nur in begründeten Fällen, z. B. bei lokal nicht vorhandenen Deponiekapazitäten, in Erwägung zu ziehen.

**Meilenstein 3:** Die Wirtschaftlichkeit der Verwertungsoptionen ist nachgewiesen.

#### **4.5 Dokumentation rechtlicher Kriterien für die genehmigungsfähige Durchführung der Aufbereitung (AS 4.1)**

##### **4.5.1 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Umgang mit Edukten und Produkten des ausgewählten Aufbereitungsverfahrens (A 4.1.1)**

###### **4.5.1.1 Evaluierung rechtlicher Rahmen- und Randbedingungen von der Rohstoffgewinnung bis zur Verwertung zum Produkt**

Die Gewässerunterhaltung und die nachfolgenden Prozessschritte im Umgang mit dem Baggergut von der (1) Sedimentberäumung zur (2) Entwässerung über (3) den Transport und (4) die Annahme sowie Behandlung von Baggergut bis hin zur (5) Produktherstellung und dem Inverkehrbringen bewegen sich in einem durchgängig regulierten Rechtsrahmen. In den einzelnen Phasen überlagern sich zum Teil Wasser-, Umwelt-, Abfall-, Immissionsschutz- und Produktrecht. Dabei muss jede dieser Stufen an die rechts- und normkonforme Erfüllung der vorherigen anknüpfen, um die übergeordneten Zielstellungen – die sinnvolle Verwertung von Baggergut und den Markteintritt eines oder mehrerer baggergutbasierter Produkte – verwirklichen zu können. Die Grundvoraussetzung für die Planungssicherheit ist die interdisziplinäre Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden.

**1. Sedimentberäumung:** Die Sedimentberäumung einer Stauanlage als Unterhaltungsmaßnahme unterliegt in Deutschland einem komplexen Zusammenspiel öffentlich-rechtlicher Vorgaben aus dem Wasser-, Fischerei-, Natur- und Landschaftsschutz-, Abfall- sowie bedingt auch dem Bodenschutzrecht. Eine Übersicht der rechtlichen Rahmenbedingungen ist in Tabelle 14 zusammengestellt.

Zunächst ist das Wasserrecht nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG <sup>[34]</sup>) in Verbindung mit den jeweiligen Landeswassergesetzen <sup>[35]</sup> ausschlaggebend. Die technische Entnahme von Sedimenten aus einer Stauhaltung stellt, sofern die Maßnahme der Gewährleistung der Funktionsfähigkeit des Staugewässers dienlich ist, eine Gewässerunterhaltung dar. In diesem Falle ist das Unternehmen formal genehmigungsfrei. Im Rahmen der Durchführung ist der Grundsatz der europäischen Wasserrahmenrichtlinie <sup>[179]</sup> des Verschlechterungsverbots und des



Verbesserungsgebots hinsichtlich des ökologischen Zustands zu beachten. Bei darüberhinausgehenden Maßnahmen kann ein Benutzungstatbestand oder ein Gewässerausbau abgeleitet werden, der eine wasserrechtliche Zulassung, u. U. in Form einer Planfeststellung oder Plangenehmigung, erfordern würde.

Das Fischereirecht verpflichtet zur Berücksichtigung fischereilicher Belange, insbesondere zum Schutz von Laichplätzen, Jungfischhabitaten und Wanderkorridoren. Eingriffe in das Sediment können erhebliche Auswirkungen auf benthische Organismen und Fischbestände haben. Daher sind bereits in der Planungsphase des Vorhabens zeitliche Beschränkungen der Sedimententnahme (z. B. außerhalb der Laichzeiten) sowie ggf. durchzuführende Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen seitens der Naturschutzbehörde zu berücksichtigen. In vielen Fällen ist dabei auch die Abstimmung mit der zuständigen Fischereibehörde oder dem Fischereiberechtigten erforderlich.

Im Hinblick auf das Natur- und Landschaftsschutzrecht sind insbesondere die Vorschriften des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG <sup>[180]</sup>) relevant. Sedimentberäumungen können erhebliche Eingriffe in Natur und Landschaft darstellen und unterliegen damit der Eingriffsregelung mit Pflicht zur Vermeidung, Minimierung und gegebenenfalls Kompensation. Befindet sich die Stauanlage in oder nahe einem Schutzgebiet (z. B. Natura-2000-Gebiet), ist zusätzlich eine FFH-Verträglichkeitsprüfung verpflichtend, sofern signifikante Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden können.

Vor Durchführung der Maßnahme muss abfallrechtlich geklärt werden, ob das zu entnehmende Sediment als Abfall einzustufen ist. Wenn das Material innerhalb des Gewässers umgelagert oder außerhalb des Gewässers ohne Umweg einer rechtskonformen und zweckdienlichen Verwendung zugeführt wird, handelt es sich bei dem Baggergut nicht um Abfall. Wird es aber einer Verwertung oder Beseitigung außerhalb des Gewässers zugeführt, greift das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG <sup>[2]</sup>) und abfallrechtliche Verordnungen, wie z. B. die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV <sup>[59]</sup>) und Nachweisverordnung (NachwV <sup>[130]</sup>). Unter diesen Umständen setzen in dieser Phase schon die Pflichten zur Deklarationsanalytik und Nachweisführung von Abfällen ein.

Das Bodenschutzrecht gilt formal nicht, solange sich die Sedimente im Gewässerkörper befinden. Es wird erst dann relevant, wenn das Baggergut beispielsweise zur Entwässerung oder zur direkten Verwendung an Land verbracht wird. Nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG <sup>[33]</sup>) sind dann grundsätzlich schädliche Bodenveränderungen zu vermeiden und die in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV <sup>[4]</sup>) definierten Vorsorge- und Prüfwerte einzuhalten. Dies setzt eine stoffliche Charakterisierung des Sediments voraus, insbesondere hinsichtlich toxischer Metall(oid)e und organischer Schadstoffe.

Gefördert durch:



wir! Wandel durch  
Innovation  
in der Region

ptj projektträger  
jülich

**Tabelle 14.** Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für die Gewinnung von Baggergut aus der Sedimentberäumung einer Stauanlage als Unterhaltungsmaßnahme

Wasserrecht	<p><u>Allgemeines</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sedimentberäumung der Stauanlage dient der Gewässerunterhaltung, d. h. der Erhaltung der Funktionsfähigkeit im Sinne der Bewirtschaftungsziele nach § 27 WHG <sup>[34]</sup></li> <li>- Maßnahmen, die vorrangig dem Gewässerausbau i. S. von § 67 (2) WHG <sup>[34]</sup> dienen, sind keine Gewässerunterhaltung (→ Planfeststellung, Plangenehmigung erforderlich)</li> </ul> <p><u>Kostenübernahme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterhaltungslastträger, die für die Unterhaltung des Gewässers verantwortlich sind, sind i. d. R. Eigentümer, Gebietskörperschaften (z. B. Freistaat Sachsen, vertreten durch den Staatsbetrieb Landestalsperrenverwaltung) oder Wasser-, Boden- und Zweckverbände, diese tragen - ggf. in angemessener Verteilung, auch unter Beteiligung von Anliegern - die Kosten der Unterhaltungsmaßnahme</li> </ul> <p><u>Maßnahmenumfang</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maßnahmen zur Unterhaltung sind auf das wasserwirtschaftlich Erforderliche zu beschränken, die zuständige Aufsichtsbehörde (i. d. R. Untere Wasserbehörde) kann Maßnahmen zur Unterhaltung festlegen</li> </ul> <p><u>Genehmigungen, Anzeigepflichten und Fristen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maßnahmen zur Gewässerunterhaltung sind keine Benutzung, daher genehmigungsfrei</li> <li>- Bei hochbelasteten Sedimenten kann u. U. eine Erlaubnis erforderlich sein, wenn bspw. durch die Maßnahme eine Remobilisierung der Schadstoffe und eine (vorübergehende) Verschlechterung des ökologischen Zustands zu besorgen ist</li> <li>- Umfangreiche, erheblich in das Gewässer eingreifende Sedimentberäumungen sind als nachholende Unterhaltungsmaßnahme einzustufen und damit einen Monat vor Maßnahmenbeginn der Aufsichtsbehörde (i. d. R. Untere Wasserbehörde) anzuzeigen</li> <li>- Gewässereigentümer und Anlieger müssen die Gewässerunterhaltung dulden, dafür sind sie rechtzeitig über die Maßnahmen zu informieren → i. d. R. mindestens zwei Wochen vor Maßnahmenbeginn</li> <li>- Ggf. erforderliche Absenkung des Wasserstands ist vom Berechtigten mindestens zehn Tage vor der Maßnahme der zuständigen Wasserbehörde zu melden</li> </ul> <p><u>Beschränkung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterhaltungsmaßnahme darf keine schädliche Gewässerveränderung herbeiführen und ist nach anerkannten Regeln der Technik durchzuführen</li> </ul>	<p>§ 39 (1) und (2) WHG <sup>[34]</sup>, § 31 (1) Nr. 4 SächsWG <sup>[35]</sup></p> <p>§ 40 WHG <sup>[34]</sup>, §§ 27, 32-37, 68 (1), 69 (1), (2), 79, 80 SächsWG <sup>[35]</sup></p> <p>§ 42 WHG <sup>[34]</sup>, § 31 (2), (3) SächsWG <sup>[35]</sup></p> <p>§ 9 (3) WHG <sup>[34]</sup>, § 31 (2) SächsWG <sup>[35]</sup>, § 8 WHG <sup>[34]</sup>, § 41 WHG <sup>[34]</sup>, § 38 SächsWG <sup>[35]</sup>, § 22 SächsWG <sup>[35]</sup></p> <p>§§ 3 Nr. 10, 36 (1) und (2) WHG <sup>[34]</sup>, § 68 (3) SächsWG <sup>[35]</sup></p>
Fischerei	<p><u>Anzeigepflicht und Frist</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterhaltungsmaßnahme ist mindestens 21 Tage vor Maßnahmenbeginn der Fischereibehörde bzw. den Fischereiausübungsberechtigten anzuzeigen</li> </ul> <p><u>Beschränkung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maßnahmen dürfen nicht in der Schonzeit für Fische durchgeführt werden → orientiert sich an Fortpflanzungszyklen der betreffenden Fischarten</li> </ul>	<p>§ 14 (1) SächsFischVO <sup>[181]</sup></p> <p>§ 14 (2), (3) SächsFischVO <sup>[181]</sup></p>
Natur-/Landschaftsschutzrecht	<p><u>Allgemeines</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gewässerunterhaltungsmaßnahmen stellen, sofern sie nicht geeignet sind, die Leistungs-/ Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts zu beeinträchtigen, formal keinen Eingriff in die Natur und Landschaft dar, können aber in besonderen Schutzgebieten genehmigungsrelevant sein</li> <li>- Die Untere Naturschutzbehörde ist als Träger öffentlicher Belange im Rahmen der wasserrechtlichen Anzeige zur Stellungnahme ins Benehmen oder ggf. ins Einvernehmen zu setzen</li> <li>- Maßnahmen sollen Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft auf das Minimum reduzieren, v. a. sind die Regeln des allgemeinen Arten- und Lebensstättenschutzes zu beachten</li> </ul> <p><u>Genehmigungen, Auflagen, Beschränkungen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Im Rahmen des Anzeigeverfahrens bei der Unteren Wasserbehörde und der Verfahrensbeteiligung der Unteren Naturschutzbehörde können zum Biotop- oder Gebietsschutz naturschutzrechtliche Auflagen erteilt, Bedingungen formuliert, zeitliche Beschränkungen der Maßnahme angeordnet, die Einhaltung der Zugriffsverbote geprüft und spezielle technische Vorgaben gemacht werden</li> <li>- Maßnahmen im Bereich eines europäischen Natura-2000-Schutzgebietes (= Fauna-Flora-Habitat, FFH <sup>[182]</sup> und/oder Vogelschutzgebiet <sup>[183]</sup>) erfordern eine Vorprüfung und im Fall der Besorgnis einer Beeinträchtigung eine Verträglichkeitsprüfung → die Genehmigung erfolgt, wenn keine nachteiligen Auswirkungen zu erwarten sind, widrigenfalls ist im Ausnahmeverfahren zu entscheiden <sup>[184]</sup></li> </ul>	<p>§§ 14, 15, 17, 23, 26, 39, 44 BNatSchG <sup>[180]</sup></p> <p>Art. 6 (3), (4) und Art. 7 92/43/EWG <sup>[182]</sup>, Art. 4 (1), (2), (4) 2009/147/EG <sup>[183]</sup>, §§ 14, 17 (2), 30, 34 BNatSchG <sup>[180]</sup></p>
Abfallrecht	<p><u>Allgemeines</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sediment, das im Gewässer liegt, ist kein Abfall; wenn es von der Gewässersohle technisch abgetrennt wird, wird es Baggergut → Moment der Entnahme</li> <li>- Baggergut wird nicht zu Abfall, wenn vor der Entnahme eine rechtmäßige, sichere und umweltrechtlich zulässige Verwendung feststeht, die keiner weiteren Behandlung bedarf</li> <li>- Baggergut wird zu Abfall, wenn sich ab dem Moment der Entnahme der Besitzer aufgrund einer fehlenden Anschlussnutzung, einer relevanten Schadstoffbelastung (erforderliche Aufbereitung) oder dem Zuführen einer Entsorgung entledigt, entledigen will oder muss</li> <li>- Abfallhierarchie und Umweltschutz: schadlose (hochwertige) Verwertung vor Beseitigung</li> <li>- Erzeuger oder Besitzer von Baggergut tragen Verantwortung und Kosten für Abfallverwertung</li> </ul>	<p>§§ 3 (1), (2), (3), (4), ggf. (5), 6 (1), 7 (2), (3), 8 (1) KrWG <sup>[2]</sup></p>
Bodenschutz	<p><u>Allgemeines</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sedimente einer Stauanlage sind, solange sie den Gewässerkörper nicht verlassen, nicht Teil des Bodenschutzes (gilt auch für Umlagerungsmaßnahmen innerhalb des Gewässers)</li> <li>- BBodSchG <sup>[33]</sup> und BBodSchV <sup>[4]</sup> greifen parallel zum Abfallrecht ab dem Einsetzen der bodenbezogenen Verwertungskette von Baggergut (Aufbereitung, Verbringung/Einbau an Land)</li> </ul>	<p>§ 2 (1) BBodSchG <sup>[33]</sup>, § 2 Nr. 7 BBodSchV <sup>[4]</sup>, § 6 ff. BBodSchV <sup>[4]</sup></p>

**2. Entwässerung von Baggergut:** Die Entwässerung von Baggergut ist rechtlich differenziert danach zu beurteilen, ob sie innerhalb oder außerhalb der Flurstücksgrenzen des Gewässerkörpers erfolgt. Innerhalb des Gewässers sind wasser-, abfall- sowie naturschutzrechtliche Vorgaben maßgeblich. Außerhalb des Gewässergrundstücks treten unter Umständen noch immissionsschutz-, bodenschutz- und baurechtliche Anforderungen hinzu. Die hierbei zu beachtenden rechtlichen Regelungen sind in Tabelle 15 zusammenfassend aufgeführt.

Erfolgt die Entwässerung im Gewässer oder auf gewässereigenen Flächen, ist sie primär wasserrechtlich zu bewerten. Soweit sich die Maßnahme noch im Rahmen der Unterhaltung bewegt, kann sie ohne Genehmigung zulässig sein. Wird jedoch Prozess- oder Sickerwasser technisch gefasst und in das Gewässer eingeleitet, handelt es sich um eine erlaubnispflichtige Gewässerbenutzung. Hauptkriterien sind dann die Einleitgrenzwerte, das Verschlechterungsverbot sowie die Bewirtschaftungsziele nach Wasserrahmenrichtlinie <sup>[179]</sup>.

Ist das entnommene Sediment als Abfall im Sinne des KrWG <sup>[2]</sup> eingestuft worden, erfolgt die Entwässerung als Behandlungsstufe einer Verwertung oder Beseitigung. Damit greift der abfallrechtliche Grundsatz an eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung, einschließlich der erforderlichen Deklarationsanalytik und Nachweisführung und der ggf. durchzuführenden Sicherungsmaßnahmen. Verbleibt das Material im funktionalen Zusammenhang mit dem Gewässer oder wird unmittelbar einem anderweitigen Zweck zugeführt, liegt kein Abfallstatus vor.

Naturschutzrechtlich sind Eingriffe in geschützte Biotope, Uferbereiche oder FFH-Gebiete zu prüfen. Auch temporäre Entwässerungseinrichtungen können Eingriffe in Natur und Landschaft darstellen und unterliegen dann der Eingriffsregelung mit Vermeidungs- und Kompensationspflichten. Zudem sind artenschutzrechtliche Verbotstatbestände, etwa zum Schutz aquatischer und amphibischer Arten, zu beachten.

Wird das Baggergut zur Entwässerung auf externe Flächen verbracht, verschiebt sich der rechtliche Schwerpunkt. Wasserrechtlich ist die Fassung und Behandlung von anfallendem Sicker- oder Prozesswasser relevant. Die nachfolgende Einleitung in ein Oberflächengewässer oder in das Grundwasser bedürfen i. d. R. einer Erlaubnis. Im Falle einer Überleitung des Sickerwassers in eine Abwasseranlage (z. B. Kanalisation) besteht mindestens eine Anzeigepflicht, das Einhalten der Indirekteinleiteranforderungen und das Einvernehmen mit dem Entsorgungsträger.

Bei Anwendung einer technischen Entwässerung ist formal von dem Betrieb einer Abfallbehandlungsanlage im Sinne des KrWG <sup>[2]</sup> auszugehen. Abhängig von Durchsatz, Dauer und technischer Ausgestaltung können dann immissionsschutzrechtliche Anforderungen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG <sup>[6]</sup>) bzw. nach der vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4. BImSchV <sup>[7]</sup>) greifen, insbesondere wenn Emissionen (Staub, Geruch, Lärm) oder bestimmte Mengenschwellen überschritten werden. In solchen Fällen ist eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung erforderlich.

Das Bodenschutzrecht wird ebenfalls relevant, da das Sediment im Rahmen der Entwässerungsprozedur bei jedweder Technik mindestens zeitweilig mit dem Boden in Kontakt tritt. Nach dem BBodSchG <sup>[33]</sup> sind schädliche Bodenveränderungen zu vermeiden und folgerichtig die Prüf- und Vorsorgewerte der BBodSchV <sup>[4]</sup> einzuhalten und mindestens eine Gefährdung des Wirkungspfad Boden-Grundwasser wirksam auszuschließen. In der Konsequenz können Auflagen zur technischen Sicherung (z. B. Abdichtung, Sickerwassererfassung) die Voraussetzung für den Betrieb der Entwässerungsanlage sein.

Naturschutzrechtlich gelten auch hier die o. g. Eingriffsregelung und gegebenenfalls besondere Schutzgebietsanforderungen.

Schließlich unterliegt die Errichtung und der Betrieb von Entwässerungsflächen oder technischen Anlagen dem Bauordnungs- und Bauplanungsrecht. Je nach Ausgestaltung (temporäre Anlage, bauliche Nebenanlage, gewerbliche Nutzung) kann eine Baugenehmigung erforderlich sein. Zudem ist die planungsrechtliche Zulässigkeit im Außenbereich nach Baugesetzbuch (BauGB <sup>[185]</sup>) zu prüfen.

**Tabelle 15.** Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für die Entwässerung von Baggergut

<i>Entwässerung innerhalb der Flurstücksgrenzen des Gewässerkörpers</i>
Wasserrecht
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwässerungsmaßnahme ist zumeist Teil der Gewässerunterhaltung nach § 39 WHG <sup>[34]</sup> und damit zulässig und genehmigungsfrei - sofern keine Gewässerbenutzung im Sinne von § 9 (1) Nr. 4 und (3) WHG <sup>[34]</sup> ausgelöst wird (bspw. durch Einsatz von chemischen Mitteln und zielgerichtetes Einleiten von Stoffen in ein Oberflächengewässer)</li> <li>- Eine wasserrechtliche Erlaubnis wird nach § 8 WHG <sup>[34]</sup> erforderlich, wenn das Sickerwasser bzw. das technisch abgetrennte Schmutzwasser gezielt in ein Gewässer eingeleitet wird und/oder wenn durch die Maßnahme eine Verschlechterung des Gewässerzustands im Sinne von § 27 WHG <sup>[34]</sup> zu besorgen ist → Erlaubnis mit Nebenbestimmungen: z. B. Trübstoffbegrenzung, technische Filtermaßnahmen, zeitliche Steuerung</li> </ul>
Abfallrecht
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baggergut kann schon vor der Entwässerung Abfall sein, wenn eine Entledigungsabsicht und/oder -pflicht vorliegt (§ 3 (3) und (4) KrWG <sup>[2]</sup>), es schadstoffbelastet ist, es von der Gewässersole abgetrennt, keine wasserwirtschaftliche Zweckbindung mehr besitzt, es zur Entwässerung zwischengelagert wird und ein Verbleib oder Rückführung in das Gewässer bspw. auf Basis von § 27 WHG <sup>[34]</sup> rechtlich ausgeschlossen ist – dann gilt: → Entwässerung ist Teil der abfallwirtschaftlichen Behandlung (§ 3 (15) KrWG <sup>[2]</sup>) → zulässig, wenn sie integraler Bestandteil der Entsorgung ist und keine eigenständige Behandlungsanlage entsteht → bei Abfallschlüssel 170505* sind besondere Sicherungs- und Dokumentationspflichten zu beachten (Verhinderung unkontrollierter Sickerwasserabflüsse aufgrund §§ 27, 48 WHG <sup>[34]</sup>, Erfassung im Abfallregister nach § 49 KrWG <sup>[2]</sup>)</li> <li>- Baggergut ist kein Abfall, wenn kein Entledigungswille vorliegt, das Material innerhalb des Gewässerkörpers umgelagert oder anderweitig im Gewässer verbaut wird oder wenn das Material einer anderen Zweckbestimmung ohne Aufbereitungsschritt direkt zugeführt werden soll (z. B. als Bodenverbesserer) und die Beräumungsmaßnahme ausschließlich der Gewässerunterhaltung nach § 39 WHG <sup>[34]</sup> dient</li> </ul>
Naturschutzrecht
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung bei natura-2000-Gebieten <sup>[182],[183]</sup>, geschützten Biotopen <sup>[180]</sup>, Schonzeiten <sup>[181]</sup> o. Ä. → zumeist Bestandteil der wasserrechtlichen Entscheidung</li> </ul>
<i>Entwässerung außerhalb der Flurstücksgrenzen des Gewässerkörpers</i>
Wasserrecht
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einleitung von Sickerwasser bzw. von technisch erzeugtem Schmutzwasser (z. B. Filtrat oder Presswasser) aus Entwässerungsanlage (z. B. Spülbecken, Kammerfilterpresse) in ein Oberflächengewässer ist eine Benutzung im Sinne von § 9 (1) Nr. 4 WHG <sup>[34]</sup> und damit nach § 8 (1) WHG <sup>[34]</sup> erlaubnispflichtig mit den in § 12 WHG <sup>[34]</sup> formulierten Voraussetzungen und den in § 13 WHG <sup>[34]</sup> aufgeführten Inhalts- und Nebenbestimmungen → Verbot nachteiliger Oberflächengewässerveränderung nach § 27 WHG <sup>[34]</sup></li> <li>- Einleitung in den Boden bzw. in das Grundwasser ebenfalls nach o. g. Rechtsgrundlage erlaubnispflichtig → Schutz des Grundwassers nach § 48 WHG <sup>[34]</sup></li> <li>- Sickerwasser-/Schmutzwasserbehandlung und -einleitung in Oberflächengewässer und/oder Boden/Grundwasser nach dem Stand der Technik im Sinne von § 57 WHG <sup>[34]</sup> in Verb. mit § 3 Nr. 11 WHG <sup>[34]</sup> (z. B. Filtration, Sorption, Fällung) und nach behördlichen Vorgaben auf Basis der stofflichen Charakterisierung des Baggerguts, einer Sickerwasserqualitätsprognose, dem technischen Entwässerungskonzept, der Behandlungsstufen und dem Einleitpfad (Festlegung der Parametrisierung, Messintervalle und Grenzwerte, Überwachungs- und Dokumentationspflichten, Nachweis der Verträglichkeit zur Richtlinie 2000/60/EG <sup>[179]</sup>) → konkretisiert durch Verwaltungsvorschriften, fachliche Regelwerke, Normen und Fachgutachten sowie Umweltqualitätsnormen nach OGWV <sup>[186]</sup> und Richtlinie 2008/105/EG <sup>[187]</sup> → Kritischste Parameter: schadstoffbelastetes Baggergut, Abdichtung der Entwässerungsanlage, kontrollierte Ableitung</li> <li>- Einleitung in Abwasseranlage im Sinne von §§ 58 und 59 (2) WHG <sup>[34]</sup> (z. B. in öffentliche Kanalisation) anzeige- oder ggf. genehmigungsbedürftig → Anforderungen auf Basis der Länderabwasserverordnung <sup>[188]</sup>, der kommunalen Entwässerungssatzung unter Zustimmung des Entsorgungsträgers und der Einhaltung der Indirekteinleiteranforderungen, ggf. mit Vorbehandlungspflicht und zeitweiliger Speicherung des einzuleitenden Wassers</li> </ul>
Abfall-/Immissionsschutzrecht
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwässerung ist eine Vorbereitungsmaßnahme zur Herstellung der Transportfähigkeit durch den Abfallerzeuger (§ 3 (8) Nr. 2 KrWG <sup>[2]</sup>) → Teil der Abfallbehandlung (§ 3 (15) KrWG <sup>[2]</sup>) → Anzeigepflicht (§ 53 KrWG <sup>[2]</sup> und § 1 AbfAEV <sup>[189]</sup>)</li> <li>- Ggf. einhergehende vorläufige Lagerung ist nach § 3 (15) KrWG <sup>[2]</sup> ebenfalls als Teil der Abfallbehandlung einzustufen und gleichfalls nach § 53 KrWG <sup>[2]</sup> und § 1 AbfAEV <sup>[189]</sup> anzuzeigen</li> <li>- Erlaubnis nach § 54 (1) KrWG <sup>[2]</sup> wird erforderlich, wenn es sich um gefährliches Baggergut (170505*) handelt (außer bei rein hoheitlicher Maßnahme im Rahmen der Gewässerunterhaltung) und/oder Durchführung der Maßnahme durch wirtschaftlich tätige Unternehmen im Sinne von § 4 (4) AbfAEV <sup>[189]</sup> → Erlaubnis nur auf genehmigten Flächen mit gesichertem Entwässerungskonzept (siehe Wasserrecht)</li> <li>- Genehmigungsrelevanz nach § 4 BImSchG <sup>[6]</sup> mit Konzentrationswirkung nach § 13 BImSchG <sup>[6]</sup>, wenn Baggergut gefährlicher Abfall ist (170505*, Anlage Nr. 8.11 4. BImSchV <sup>[7]</sup>), ein regelmäßiger und dauerhafter Betrieb vorliegt (auch bei 170506), eine technische Ausstattung (z. B. Pumpen, Filter) genutzt wird, ein hinreichendes Emissionspotenzial zu besorgen ist (z. B. durch Staub und Geruch) und die Schwellenwerte der 4. BImSchV <sup>[7]</sup> überschritten werden</li> </ul>
Bodenschutzrecht
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dem Betreiber der Entwässerungsanlage und dem Grundstückseigentümer (ggf. Pächter und sonstigen Inhabern der tatsächlichen Gewalt) obliegen eine Vorsorgepflicht (§ 7 BBodSchG <sup>[33]</sup>) und Pflichten zur Gefahrenabwehr (§ 4 BBodSchG <sup>[33]</sup>) zur Vermeidung schädlicher Bodenveränderungen im Sinne von §§ 2 (3) und 3 (1) Nr. 2 und 11 BBodSchG <sup>[33]</sup> → technische Sicherungsmaßnahmen erforderlich (z. B. Abdichtung der Anlage, Drainage zur kontrollierten Wasserfassung, Sammlung des Sickerwassers, Monitoring, Notfallkonzept, Rückbau- und Wiederherstellungspflichten) → anlassbezogene Untersuchungen bei Anhaltspunkten für schädliche Bodenveränderung auf Basis von § 9 (1) BBodSchG <sup>[33]</sup> mit Prüf- und Maßnahmenwerten nach § 8 BBodSchG <sup>[33]</sup> in Verbindung mit Anhang 2 BBodSchV <sup>[4]</sup> → Sicherungs- und Sanierungspflichten bei festgestellter schädlicher Bodenveränderung (§§ 10, 13 BBodSchG <sup>[33]</sup>)</li> </ul>
Naturschutzrecht, Baurecht
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ggf. Eingriffsregelungen nach §§ 13 ff. BNatSchG <sup>[180]</sup> und FFH-Verträglichkeitsprüfung nach Art. 6 (3) 92/43/EWG <sup>[182]</sup></li> <li>- Falls Konzentrationswirkung durch § 13 BImSchG <sup>[33]</sup> nicht greifen sollte, Baugenehmigung für temporäre Beckensysteme (§ 59 SächsBO <sup>[37]</sup>) oder Verfahrensfreiheit als mobile Anlage der Baustelleneinrichtung (§ 61 (1) Nr. 13a) SächsBO <sup>[37]</sup>)</li> </ul>

**3. Transport von Baggergut:** Der Transport von Baggergut unterliegt in Deutschland grundsätzlich abfallrechtlichen Anforderungen, die sich insbesondere aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG <sup>[2]</sup>), der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV <sup>[59]</sup>), der Nachweisverordnung (NachwV <sup>[130]</sup>), der Anzeige- und Erlaubnisverordnung (AbfAEV <sup>[189]</sup>) sowie ggf. auch aus dem Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter (GGBefG <sup>[190]</sup>), der nationalen Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGVSEB <sup>[191]</sup>) und internationalen Übereinkommen (ADR <sup>[129]</sup>) ergeben. Maßgeblich ist dabei die abfallrechtliche Einstufung des Materials, insbesondere die Unterscheidung zwischen nicht gefährlichem Baggergut mit dem Abfallschlüssel 170506 (formal „Baggergut mit Ausnahme desjenigen, das unter 170505 fällt“) und gefährlichem Baggergut (formal „Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält“) mit dem Abfallschlüssel 170505\*. In Tabelle 16 sind dazu getrennt nach Abfallschlüssel die Pflichten des Abfallerzeugers/Abfallbesitzers/Absenders und die des Abfallbeförderers aufgelistet.

Für Baggergut mit dem Abfallschlüssel 170506 besteht für den Abfallerzeuger/Abfallbesitzer/Absender (zumeist identisch mit dem Unterhaltungslastträger) die Pflicht zur ordnungsgemäßen Deklaration und Einstufung des Materials auf Grundlage einer geeigneten analytischen Untersuchung. Er hat sicherzustellen, dass der Transport zu einer zugelassenen Verwertungs- oder Entsorgungsanlage erfolgt und durch einen geeigneten, nachweislich zuverlässigen und fachkundigen Abfallbeförderer vorgenommen wird. Dabei ist der Vorgang bei der zuständigen Abfallbehörde anzuzeigen. Für den Transport selbst gelten die allgemeinen Anforderungen an die Abfallbeförderung, insbesondere die Vermeidung von Umweltbeeinträchtigungen durch hinreichende Ladungssicherung, z. B. durch Nutzung staubdichter Abdeckungen und technische Einrichtung zur Verhinderung von Sickerwasseraustritt. Im Weiteren treffen den Abfallerzeuger und Abfallbesitzer gleichermaßen die Pflicht, Vermischungen unterschiedlicher Abfälle wirksam vorzubeugen. Beide Parteien tragen ebenso die Verantwortung für die Ausstellung und Mitführung der notwendigen Begleitpapiere (z. B. Übernahmescheine bzw. Lieferscheine mit Abfallbezeichnung und -menge). Eine formelle Begleitscheinpflicht nach der NachwV <sup>[130]</sup> besteht für nicht gefährliche Abfälle grundsätzlich nicht. Allerdings kann eine vereinfachte Registerpflicht (Führen von Mengen- und Verbleibsnachweisen) vorgeschrieben werden. Die allgemein geltenden Dokumentations- und Aufbewahrungspflichten sind ebenso einzuhalten. Zusätzliche gefahrenrechtliche Vorschriften des Gefahrgutrechts greifen normalerweise nicht, sofern das Material keine besonderen gefährlichen Eigenschaften im Sinne des ADR <sup>[129]</sup> aufweist.

Der Transport von Baggergut mit dem Abfallschlüssel 170505\* erfolgt unter deutlich verschärften Anforderungen. Der Abfallerzeuger/Abfallbesitzer/Absender ist verpflichtet, die Gefährlichkeit anhand der in der AVV <sup>[59]</sup> definierten gefahrenrelevanten Eigenschaften (HP-Kriterien) zu bewerten und eine ordnungsgemäße Deklarationsanalytik vorzunehmen. Im Weiteren sind diese Abfälle ordnungsgemäß zu verpacken und zu kennzeichnen und das elektronische Nachweisverfahren (eANV <sup>[104]</sup>) nach der NachwV <sup>[130]</sup> anzuwenden. Es besteht eine verpflichtende Ausstellung und Führung von Begleitscheinen und Entsorgungsnachweisen für jeden einzelnen Transport. Erzeuger und Beförderer unterliegen zudem erweiterten Dokumentations-, Register- und Aufbewahrungspflichten. Der Abfallbeförderer benötigt eine behördliche Erlaubnis. Diese setzt zwingend die Zuverlässigkeit, Fach- und Sachkunde sowie eine geeignete betriebliche Organisation voraus. Bei bestimmten Merkmalen des Abfalls (z. B. Toxizität und Umweltgefährlichkeit) sind auch zusätzliche Anforderungen des Gefahrgutrechts nach GGBefG <sup>[190]</sup>, GGVSEB <sup>[191]</sup> und ADR <sup>[129]</sup> zu beachten. Diese beinhalten besondere Vorschriften zur Kennzeichnung, Verpackung, Fahrzeugausrüstung, Ladungssicherung und Schulung des Fahrpersonals. Zudem bestehen erhöhte Anforderungen an die Notfallvorsorge- und Unfallmanagement. Die Übergabe des Abfalls darf schlussendlich auch nur an hierfür zugelassene Verwertungs- bzw. Entsorgungsanlagen erfolgen.

**Tabelle 16.** Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für den Transport von Baggergut

<i>Pflichten des Abfallerzeugers/-besitzers/-absenders des Baggerguts</i>	
Allgemein	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abfalleinstufung des Baggerguts nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV) <sup>[59]</sup> als gefährlicher Abfall (Abfallschlüssel 170505*) oder nicht gefährlicher Abfall (Abfallschlüssel 170506) entweder durch Abfallerzeuger selbst oder durch beauftragten Sachverständigen; Grundlagen für die Einstufung sind               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Beprobung nach DIN 19698-1:2014-05 <sup>[124]</sup> und/oder DIN 19698-2:2016-12 <sup>[125]</sup></li> <li>→ Deklarationsanalyse → Schadstoffparameter (Feststoff- und Eluatanalysen) der Anlage 1, Tab. 3 und 4 Ersatzbaustoff V <sup>[3]</sup>, Anlage 1, Tab. 4 BBodSchV <sup>[4]</sup> und/oder Anhang 3, Tab. 2 DepV <sup>[32]</sup></li> <li>→ Gefährlichkeitsbewertung auf Basis der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG (Art. 3.7 und Anhang III) <sup>[88]</sup>, der den Anhang III der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG <sup>[88]</sup> substituierenden Verordnung (EU) Nr. 1357/2014 <sup>[89]</sup> (Definition der HP-Gefährlichkeitsmerkmale) und der CLP-Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 <sup>[90]</sup> (Einstufung gef. Abfälle und Gemische)</li> </ul> </li> <li>- Auswahl eines zugelassenen Entsorgers (Verwertung oder Beseitigung) und dessen behördliche Bestätigung vor Beginn der Entsorgung (§ 50 (1) Nr. 1 KrWG <sup>[2]</sup>)</li> <li>- Beauftragung eines nach § 53 KrWG <sup>[2]</sup> gemeldeten (bei Abfallschlüssel 170506) bzw. eines nach § 54 KrWG <sup>[2]</sup> erlaubten Abfallbeförderers (bei Abfallschlüssel 170505*)</li> <li>- Sicherstellung, dass Baggergut mit Abfallschlüssel 170506 und 170505* nicht vermischt werden (§ 9 und 9a KrWG <sup>[2]</sup>)</li> </ul>	
Abfallschlüssel 170506	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kein Entsorgungsnachweis erforderlich und kein Begleitscheinverfahren</li> <li>- Dokumentation der Übernahme-, Liefer- und Wiegescheine</li> <li>- Registerpflicht in vereinfachter Form nach § 49 KrWG <sup>[2]</sup> mit Sammlung der Liefer-, Übernahme- und Wiegescheine</li> <li>- Prüfung auf ADR-Pflicht <sup>[129]</sup> → falls zutreffend siehe vierter Spiegelstrich unter Abfallschlüssel 170505*</li> </ul>	
Abfallschlüssel 170505*	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellung eines Entsorgungsnachweises im eANV <sup>[104]</sup> nach § 3 NachwV <sup>[130]</sup> mit Benennung des Abfallschlüssels, der Menge, Herkunft und Zusammensetzung des Abfalls und der vorgesehenen Entsorgungsanlage und behördliche Bestätigung (§ 5 NachwV <sup>[130]</sup>)</li> <li>- Elektronische Erstellung der Begleitscheine für jeden einzelnen Transport vor der Abholung und Übergabe an zugelassenen Abfallbeförderer und Entsorger und qualifizierte elektronische Signaturen (§ 10 ff. NachwV <sup>[130]</sup>)</li> <li>- Registerpflicht via eANV <sup>[104]</sup> für Entsorgungsnachweise, Begleitscheine, Deklarationsanalysen und Einstufungsunterlagen, ggf. auch für behördliche Nebenbestimmungen für mindestens drei Jahre (§ 49 (3), (5) KrWG <sup>[2]</sup>, §§ 24-26 NachwV <sup>[130]</sup>)</li> <li>- Überprüfung der ADR-Pflicht nach ADR 1.4.2.1 durch Absender <sup>[129]</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Baggergut aus FHT-Stauanlage wäre bspw. Gefahrgut <sup>[129]</sup> aufgrund der Zn-, Cd und Pb-Befunde (vgl. Tabelle 8) <sup>[87]</sup></li> <li>→ Benennung eines Gefahrgutbeauftragten mit Schulungsnachweis (§ 3 (1) GbV <sup>[192]</sup> in Verbindung mit Abschnitt 1.8.3 ADR <sup>[129]</sup> und § 2 GGBefG <sup>[190]</sup>)</li> <li>→ Erstellung eines Beförderungs-/Gefahrgutpapiers mit Ausweisung der UN-Nummer 3077, Benennung als UMWELTGEFÄHRDENDER STOFF, FEST, N.A.G., Klasse 9, Verpackungsgruppe III, Bezeichnung des Abfalls mit dem Zusatz „ABFALL NACH ADR 5.4.1.1.3“ <sup>[129]</sup></li> </ul> </li> <li>- Dokumentationspflicht der Unterlagen zur Abfallcharakterisierung (analytische Untersuchungen, Einstufung nach HP-Merkmalen, Begründung zur Zuordnung des Abfallschlüssels) und der transportbezogenen Unterlagen (Beauftragung des Abfallbeförderers, ADR-Unterlagen bei Gefahrgut und Mengen- und Lieferscheindaten, soweit nicht durch eANV <sup>[104]</sup> erfasst)</li> </ul>	
<i>Pflichten des Abfallbeförderers</i>	
Allgemein	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Allgemeine Sorgfaltspflichten im Umgang, ordnungsgemäße Ladungssicherung und Funktionstüchtigkeit des Fahrzeugs</li> <li>- Getrennthaltungspflicht und Vermischungsverbot mit Abfällen anderer Abfallschlüssel, z. B. Verbot der Vermischung von gefährlichem und nichtgefährlichem Baggergut (§ 9 und 9a KrWG <sup>[2]</sup>)</li> <li>- Plausibilitätskontrolle des Abfallschlüssels, der Menge und des benannten Entsorgers bzw. der Abfallbehandlungs-/Abfallbeseitigungsanlage</li> <li>- ADR-Pflichten <sup>[129]</sup>, soweit das Material Gefahrgut sein sollte → siehe sechster Spiegelstrich unter Abfallschlüssel 170505*</li> </ul>	
Abfallschlüssel 170506	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abfallrechtliche Berechtigung des Beförderers durch Anzeige bei Abfallbehörde nach § 53 KrWG <sup>[2]</sup></li> <li>- Keine Begleitscheine nach NachwV <sup>[130]</sup>, Dokumentation über Liefer- und Wiegescheine</li> <li>- Vereinfachte Registerführung</li> </ul>	
Abfallschlüssel 170505*	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beförderungserlaubnis (§ 54 (1) KrWG <sup>[2]</sup>) oder Nachweis als öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger oder zertifizierter Entsorgungsfachbetrieb (§§ 54 (3), 56 KrWG <sup>[2]</sup>)</li> <li>- Nachweis der Zuverlässigkeit (§ 54 KrWG <sup>[2]</sup>, § 3 AbfAEV <sup>[189]</sup>), Vorliegen der Fach- und Sachkunde (§ 54 KrWG <sup>[2]</sup>, §§ 4, 5 AbfAEV <sup>[189]</sup>), ggf. nach Kap. 1.3 und 1.4 ADR geschultes Fachpersonal mit ADR-Schein <sup>[129]</sup>, Eignung von Fahrzeugen und Ausrüstung → kumulativ durch Zertifikat als Entsorgungsfachbetrieb belegt, zusätzlich Nachweis einer ausreichenden Betriebshaftpflichtversicherung, ggf. auch Finanzamtsbescheinigungen und Auskünfte aus Schuldnerverzeichnis</li> <li>- Begleitscheinplicht (§§ 10-18 NachwV <sup>[130]</sup>): elektronische Signatur bei Übernahme, Mitführung der Begleitscheine während des Transports, Übergabe des Abfalls ausschließlich an den im Entsorgungsnachweis benannten Entsorger</li> <li>- Registerpflicht via eANV <sup>[104]</sup> über beförderte Abfälle, Begleitscheine und Entsorgungsnachweise, Aufbewahrungspflicht für mindestens drei Jahre (§ 49 KrWG <sup>[2]</sup>, §§ 24-26 NachwV <sup>[130]</sup>)</li> <li>- Kennzeichnung des Abfalltransportfahrzeugs mit weißem A-Schild (§ 55 (1) KrWG <sup>[2]</sup>)</li> <li>- Bei ADR-Pflicht <sup>[129]</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Bestellung eines eigenen Gefahrgutbeauftragten (bei zertifiziertem Entsorgungsfachbetrieb i. d. R. firmenintern) <sup>[192]</sup></li> <li>→ Kennzeichnung des Abfalls mit Gefahrennummer 90 (umweltgefährdender Stoff, verschiedene gefährliche Stoffe), UN-Nummer UN 3077, Bezeichnung UMWELTGEFÄHRDENDER STOFF, FEST, N.A.G., Klasse 9, Verpackungsgruppe III <sup>[129]</sup></li> <li>→ Transport in loser Schüttung in bedeckten oder gedeckten Fahrzeugen/Containern (Code VC1 oder VC2)</li> <li>→ bei Nettomasse von ≥ 1 t orangefarbene Warntafel mit Ausweisung der Gefahrennummer (oben) und UN-Nummer (unten) sowie Kennzeichnung für umweltgefährdende Stoffe (≙ GHS-Gefahrenpiktogramm 09) und Raute der Klasse 9 (verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände) <sup>[129]</sup></li> </ul> </li> </ul>	

**4. Annahme und Behandlung von Baggergut:** Die Annahme und Behandlung von Baggergut durch den Verwerter/Entsorger unterliegen in Deutschland einem immissions- und abfallrechtlich überwachten Regime, das die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung sicherstellen und idealerweise das Ende der Abfalleigenschaft herbeiführen soll. Die wesentlichen Leitlinien sind das Immissionsschutz- (BImSchG <sup>[6]</sup>) und Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG <sup>[2]</sup>), die von verschiedenen Verordnungen, Richtlinien und Normen flankiert werden. In Tabelle 17 sind die grundlegenden rechtlichen Rahmen- und Randbedingungen zur Übersicht dargestellt.

Im Rahmen der Annahmeprüfung obliegt dem Verwerter die Pflicht zur Plausibilitäts- und Identitätskontrolle der Abfallbeschreibung (Herkunftsnachweis, Deklaration, Analytik, Abfallschlüssel). Im Weiteren ist zu prüfen, ob die Menge und Beschaffenheit des angelieferten Abfalls mit dem Genehmigungsumfang der Abfallbehandlungsanlage inklusive der genehmigungsrechtlichen Auflagen und Nebenbestimmungen (Verfahren nach BImSchG <sup>[6]</sup> und 4. BImSchV <sup>[7]</sup>) übereinkommt und ob das vorgesehene Behandlungsverfahren prinzipiell zur Zielstellung der Verwertung geeignet ist. Diese Prüfung erfolgt insbesondere auf Basis der von akkreditierten Laboren ermittelten Schadstofffeststoffgehalte und Eluate des Materials. Die Befunde sind auch weitergehend hinsichtlich der Auswirkungen auf boden- bzw. wasserrechtliche Schutzgüter (z. B. im Rahmen einer Zwischenlagerung des Baggerguts) zu bewerten. Erfolgt die Annahme seitens des Verwerter/Entsorgers bei Erfüllung aller relevanter Kriterien beginnen an dieser Stelle seine Nachweis-, Dokumentations- und Registerpflichten. Für den Abfallerzeuger/Abfallbesitzer/Absender endet bei vollständig ordnungsgemäßer Übergabe sein Verantwortungsbereich. Der Verwerter kann aber auch die Annahme, z. B. bei begründeten Zweifeln an der Richtigkeit der Abfalldeklaration, verweigern. Der Abfallerzeuger/Abfallbesitzer/Absender bleibt an dieser Stelle rücknahmepflichtig. Er muss den Abfall ordnungsgemäß und schadlos zwischenslagern, ggf. die zuständige Abfallbehörde informieren und anschließend die Gründe der Ablehnung beheben (z. B. durch Richtigstellung der Abfalldeklaration) oder eine andere, rechtskonforme Verwertung bzw. Entsorgung organisieren.

Immissionsschutzrechtlich ist der Betrieb einer Behandlungsanlage an den Genehmigungsumfang und die Genehmigungsaufgaben nach BImSchG <sup>[6]</sup> in Verbindung mit der 4. BImSchV <sup>[7]</sup> gebunden. Der Betreiber muss Emissionen in Luft, Boden und Wasser nach dem anerkannten Stand der Technik minimieren (Staub, Schadstoffe, Lärm, Gerüche, Abwässer), Störfälle verhindern und Eigenüberwachung betreiben sowie Fremdüberwachung zulassen. Abwasser und sonstige Abfallbehandlungsrückstände sind ordnungsgemäß zu erfassen und zu entsorgen. Bodenschutzrechtlich sind schädliche Bodenveränderungen durch technische Sicherungen (z. B. in Form von Abdichtungen und Auffangsysteme) zu vermeiden. Wasserrechtlich sind Einträge in Oberflächengewässer und in das Grundwasser zu verhindern, sofern sie nicht explizit durch eine wasserrechtliche Erlaubnis nach WHG <sup>[34]</sup> gedeckt sind. In der Behandlungsphase hat der Verwerter alle Stoffströme zuverlässig rückverfolgbar zu dokumentieren. Für gefährliche Anteile gelten dabei erhöhte Sicherheits-, Überwachungs- und Nachweispflichten einschließlich qualifizierter Analytik. Zusätzlich sind die geltenden Arbeitsschutz- und Gefahrstoffanforderungen zu berücksichtigen. Abfallrechtlich muss vorbehaltlich der technischen und finanziellen Durchführbarkeit nach der Abfallhierarchie verwertet und nur bei begründeter Unvermeidbarkeit beseitigt werden. Bei der Behandlung des Baggerguts spielt vor allem auch die Qualitätssicherung und deren lückenlose Dokumentation eine zentrale Rolle. Hierfür sind Probenahme- und Analytikpläne im Rahmen werkseigener Kontrollen, qualitätsgesicherte Analytik und Konformitätsprüfungen sowie ein belastbares Dokumentations- und Auditkonzept erforderlich, um die Rechtssicherheit der Behandlung und die Voraussetzungen für ein Herbeiführen des Endes der Abfalleigenschaft des aufbereiteten Materials zu gewährleisten.

Für dieses Ziel muss der Output des Behandlungsprozesses objektiv für mindestens einen bestimmten Zweck verwendet werden können, einen Markt bzw. eine Nachfrage haben, die für die jeweilige Anwendung geltenden technisch-normativen und rechtlichen Anforderungen unter Ausweisung der Produkt- und Einsatzspezifikationen erfüllen und zu keinen schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen führen. Der Verwerter trägt die Darlegungs- und Nachweislast, dass diese Voraussetzungen im Einzelfall erfüllt sind und somit das Baggergut in einem Produkt in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden kann.

**Tabelle 17.** Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für die Annahme und Behandlung von Baggergut

<i>Annahme von Baggergut</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Annahmeveraussetzung               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Vorabdeklaration des Materials: Vor Annahme in einer Aufbereitungs-/Behandlungsanlage oder Zwischenlager muss das Baggergut durch eine akkreditierte Untersuchungsstelle (DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03 <sup>[60]</sup>) untersucht werden, darauf aufbauend ist das Material zu bewerten und zu klassifizieren (§§ 14-16 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>)</li> <li>→ Ausweisung des Abfallschlüssels nach AVV <sup>[59]</sup> (170505* oder 170506)</li> <li>→ Vorlage des Herkunftsnachweises sowie der Wiegescheine, Lieferscheine oder Begleitscheine</li> <li>→ Schließung eines Entsorgungsvertrags zwischen Abfallerzeuger und Verwerter (i. d. R. als Werkvertrag) mit Festlegungen zur Abrechnung, zu den Annahmekriterien, den Verantwortlichkeiten und, im Falle einer explizit angestrebten Verwertung, mit Regelungen zum Ende der Abfalleigenschaft des Materials (§ 5 KrWG <sup>[2]</sup>)</li> </ul> </li> <li>- Annahmekontrolle und Identitäts-/Plausibilitätsprüfung durch Verwerter               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Annahme nur im Rahmen der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung (§ 4 BImSchG <sup>[6]</sup>, Nummer 8.11, 8.12 Anhang 1 4. BImSchV <sup>[7]</sup>) entsprechend der Positivliste für Abfallschlüssel im Bescheid</li> <li>→ Annahme nur auf Basis der hauseigenen Annahmekriterien für die technische Prozessfähigkeit (z. B. zulässige Materialklasse nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, maximaler Fremdstoffanteil, maximaler Feinkornanteil) → Aufbereitungs-/Behandlungsanlage muss technisch in der Lage sein, die Schadstoffkonzentration und/oder -mobilität so weit zu senken, dass das Material in den Stoffkreislauf zurückgeführt oder zumindest deponiert werden kann</li> <li>→ Durchführung von eigenen Kontrollanalysen möglich</li> </ul> </li> <li>- Ablehnung der Verwertung, wenn Annahmekriterien nicht erfüllt werden, gravierende Abweichungen zur Deklaration zu konstatieren sind (auch chargenweise) oder Ungereimtheiten bzgl. der Herkunft und Menge des Materials bestehen</li> <li>- Bei Annahme Ausstellung einer Annahmeerklärung und Bestätigung der Zulässigkeit der Verwertung (§§ 10 (2) und 50 (1) KrWG <sup>[2]</sup>) und Beginn der Nachweis-, Dokumentations- und Registerpflichten des Verwerter               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Verwerter muss für Umgang mit gefährlichem Baggergut (170505*) am elektronischen Nachweisverfahren (eANV <sup>[104]</sup>) teilnehmen und über Entsorgungs- bzw. Einzelnachweise verfügen (§ 50 KrWG <sup>[2]</sup>, §§ 17-19 NachwV <sup>[130]</sup>)</li> <li>→ Verwerter muss bei Lagerung und Behandlung großer Mengen an Baggergut eine Sicherheitsleistung (Bürgschaft) hinterlegen, um die Beräumung im Fall einer Geschäftsaufgabe oder Insolvenz zu gewährleisten (§§ 5 (3) und 12 (1) BImSchG <sup>[6]</sup>, ggf. auch § 18 DepV <sup>[32]</sup> und ergänzende Landesabfallgesetze)</li> </ul> </li> </ul>
<i>Behandlung</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Der Betreiber einer Aufbereitungs-/Behandlungsanlage gilt als Abfallbehandler, daraus resultiert               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Genehmigungspflicht für mobile und stationäre Aufbereitungs-/Behandlungsanlagen zzgl. Zwischenlager (§ 28 KrWG <sup>[2]</sup>, §§ 4, 13 BImSchG <sup>[6]</sup>, Nummer 8.11, 8.12 Anhang 1 4. BImSchV <sup>[7]</sup>)</li> <li>→ bei genehmigter bauartzugelassener mobiler Anlage muss der Einsatzort angezeigt werden (§ 15 BImSchG <sup>[6]</sup>), ggf. sind besondere Anforderungen am Einsatzort zu erfüllen (bspw. technischer Schutz vor Gewässerverunreinigung nach § 48 WHG <sup>[34]</sup>, bei längerfristigem Einsatz und hoher Flächeninanspruchnahme auch Vorschriften nach §§ 30 ff. BauGB <sup>[185]</sup>) und ggf. auch eine wasserrechtliche Erlaubnis einzuholen (§ 8 WHG <sup>[34]</sup>)</li> <li>→ Pflicht zum einmaligen Eignungsnachweis der Anlage in Form einer Erstprüfung und Betriebsbeurteilung durch eine Überwachungsstelle (§ 5 und Anlage 4, Tab. 1 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>)</li> <li>→ Verpflichtung zur ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung (§ 15 KrWG <sup>[2]</sup>) unter Beachtung der Abfallhierarchie (§§ 7 und 8 KrWG <sup>[2]</sup>)</li> <li>→ Einhaltung bzw. Gewährleistung von Arbeitsschutz und Betriebspflichten (BetrSichV <sup>[193]</sup>, GefStoffV <sup>[118]</sup>, TRGS 524 <sup>[194]</sup> (ggf. auch weitere technische Regeln), Staub- und Lärmschutz (TA Luft <sup>[8]</sup>, TA Lärm <sup>[195]</sup>), Umgang mit wassergefährdenden Stoffen <sup>[116]</sup>, Betriebsanweisungen, Unterweisungen, Schulungen des Personals, Notfall- und Havariekonzepte)</li> <li>→ Haftung bei Umwelt- (UmweltHG <sup>[196]</sup>, USchadG <sup>[197]</sup>), Sach- und Personenschäden (Verschuldenshaft., § 823 BGB <sup>[198]</sup>)</li> </ul> </li> <li>- Pflicht zur Dokumentation der Abfallströme und Registerpflicht (§§ 49, 50 KrWG <sup>[2]</sup>, §§ 2, 24, 25 NachwV <sup>[130]</sup>)               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ nicht gefährliche Abfälle (170506): Herkunft, Art, Menge, Verbleib, Lieferscheine, Wiegescheine, Transportdokumente</li> <li>→ gefährliche Abfälle (170505*): elektronisches Nachweisverfahren (eANV <sup>[104]</sup>), Entsorgungsnachweise, Begleitscheine, verschärfte Registerpflicht</li> <li>→ Eindeutige Chargenkennzeichnungen, keine Vermischung inkompatibler Abfälle, Getrennthaltung verschiedener Abfallarten, Verbot der Verdünnung gefährl. Abfälle (§§ 9, 9a KrWG <sup>[2]</sup>), Führung eines Betriebstagebuchs (§ 5 EfbV <sup>[114]</sup>)</li> </ul> </li> <li>- Durchführung werkseigener Produktionskontrollen (§ 6 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, Turnus lt. Anlage 4, Tab. 1 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>)               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Fortlaufende, eigenverantwortliche Qualitätskontrollen des eingehenden Abfalls und des Aufbereitungs-/Behandlungsprozesses mit verbindlichen Probenahme- und Prüfplänen und eindeutiger Rückverfolgbarkeit (Probenahmen, Analysen und Dokumentation, mit mindestens fünf Jahren Aufbewahrungspflicht) zur Sicherstellung der Einhaltung umweltrechtlicher Grenzwerte (z. B. Schadstoffe in Abwasser und Abluft), der funktionellen (technische Leistungsparameter und Verarbeitungseigenschaften) und nichtfunktionellen (umwelt- und rechtsbezogene Stoffparameter) Materialanforderungen und der vereinbarten bzw. genehmigten Materialklasse</li> <li>→ Vordefinierte Maßnahmen bei Abweichungen (Chargensperrung, Nachbehandlung, Entsorgung)</li> </ul> </li> <li>- Fremdüberwachung (§ 7 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, Turnus lt. Anlage 4, Tab. 1 ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>)               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Unabhängige Kontrolle der werkseigenen Produktionskontrolle und Prüfung der Konformität durch staatlich anerkannte Überwachungsstellen und akkreditierte Prüflabore</li> <li>→ beinhaltet Audit zur Organisation der werkseigenen Produktionskontrolle, Kontrollbeprobungen und -untersuchungen, Prüfung der Dokumentationspflichten, Inspektion der Anlage</li> <li>→ Ergebnis: Überwachungsbericht, Konformitätsbescheinigung (soweit keine Beanstandungen vorliegen) oder Aberkennung der Produktkonformität und u. U. Bußgelder, Betriebsstilllegung und Vermarktungsverbot, ggf. Auflagen oder Korrekturmaßnahmen und Anordnung zusätzlicher Prüfungen</li> </ul> </li> </ul>
<i>Ende der Abfalleigenschaft (§ 5 KrWG <sup>[2]</sup>)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorliegen eines konkreten Anwendungszwecks des Produkts</li> <li>- Marktfähigkeit des Produkts und bestehende Nachfrage</li> <li>- Erfüllung der technischen Leistungsanforderungen entsprechend der geltenden Normen in Abhängigkeit des Anwendungszwecks</li> <li>- Unbedenklichkeit in der Handhabung und Anwendung (keine schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt, Einhaltung der rechtlich zulässigen Materialwerte und lückenlose Nachweisführung gegenüber Behörden und Abnehmern)</li> </ul>

**5. Produktherstellung und Inverkehrbringen:** In der Phase der Produktherstellung aus der Verwertung von Baggergut und bei der anschließenden Inverkehrbringung verschieben sich die Anforderungen vom Abfall- zum Produktrecht. Grundvoraussetzung ist das rechtssichere Ende der Abfalleigenschaft nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG <sup>[2]</sup>). Danach greifen in Abhängigkeit des Produkteinsatzes verschiedene bau-, boden- und produktsicherheitsrechtliche Vorgaben, flankiert von Umwelt- und Immissionschutzrecht. Die zu beachtenden rechtlichen Rahmenbedingungen sind beispielhaft für die Produktpfade „Ersatzbaustoffe und Bauprodukte“, „Bodenverbesserer“ und „Hintermauerziegel“ in Tabelle 18 zusammengefasst. Für alle Pfade gelten generell die Bestimmungen zur Produktverantwortung, Qualitätssicherung, Konformitätsbewertung, Marktüberwachung und Rückverfolgbarkeit.

Für die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Anwendung mineralischer Ersatzbaustoffe im Sinne der Produktion von Schüttgütern wie Sand und Kies sind die Anforderungen der Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>) maßgeblich. Das betrifft die Deklaration und Ausweisung der Materialklasse, der Eluat- und Feststoffgrenzwerte und der zugelassenen Einbauweisen.

Bauprodukte mit darin verarbeiteten Ersatzbaustoffen unterliegen, sofern es hierzu harmonisierte Normen gibt, der EU-Bauproduktenverordnung (EU) Nr. 305/2011 <sup>[12]</sup>. Der Hersteller muss ein werkseigenes Produktionskontrollsystem betreiben, darauf basierend die Leistung des Produktes erklären und die CE-Konformität durch Kennzeichnung bestätigen. Alternativ ist für das Produkt eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung <sup>[103]</sup> und ergänzende Verwendbarkeitsnachweise zu erwirken. In der Anwendung sind ggf. weitere bauordnungsrechtliche Vorgaben der Länder und umweltrechtliche Vorgaben zu beachten.

Bodenbezogene Verwertungsprodukte müssen die Anforderungen des Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG <sup>[33]</sup>) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV <sup>[4]</sup>) erfüllen. Maßgeblich sind die Vorsorge- und Prüfwerte sowie standort- und nutzungsspezifische Anforderungen. Soweit das Produkt als Düngemittel/Bodenhilfsstoff vermarktet wird, greifen zusätzlich die Düngemittelverordnung (DüMV <sup>[5]</sup>) bzw. die einschlägigen EU-Vorgaben zur Vermarktung von Düngemitteln nach (EU) 2019/1009 <sup>[15]</sup>, inklusive Stofflisten, Grenzwerten und Kennzeichnungspflichten. Für die Inverkehrbringung sind eine Produktkennzeichnung, eine Gebrauchsanleitung, eine Qualitätssicherung mit Chargenanalytik sowie die Sicherstellung, dass keine schädlichen Bodenveränderungen oder nachteiligen Gewässerverunreinigungen zu erwarten sind, von zentraler Bedeutung.

Wird aufbereitetes Baggergut als Zuschlagstoff in der Hintermauerziegelherstellung eingesetzt, ist primär das Bauproduktrecht anzuwenden. Für das Endprodukt sind die Konformitätsanforderungen der EU-Bauproduktenverordnung <sup>[12]</sup> zu beachten (Leistungserklärung, CE-Kennzeichnung). Der Einsatz alternativer Sekundärrohstoffe ist im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle zu qualifizieren und in der Leistungserklärung abzubilden. Das ist v. a. für die Marktüberwachung und Haftungsfragen essenziell. Die werkstoffliche Eignung und die Umweltverträglichkeit (z. B. Auslaugverhalten von Schadstoffen) sowie die gesundheitlich gefahrlose Anwendung sind durch Produkt- und Prozessprüfungen mit lückenloser Rückverfolgbarkeit nachzuweisen.

**Tabelle 18.** Rechtliche Rahmen- und Randbedingungen für die Herstellung eines Produktes und das Inverkehrbringen auf Basis von verwertetem von Baggergut

<i>Ersatzbaustoffe und Bauprodukte</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- EU-Verordnung (EU) 305/2011 <sup>[12]</sup> für Ersatzbaustoffe und daraus hergestellte Bauprodukte und für andere Produkte, die von einer harmonisierten Norm erfasst werden (z. B. DIN EN 12620:2008-07 <sup>[11]</sup> → Gesteinskörnungen für Beton oder DIN EN 13242:2008-03 <sup>[199]</sup> → Gesteinskörnung für Straßenbau):               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Pflicht zur Leistungserklärung mit einer Konformitätsbewertung nach dem AVCP-System 2+ in Anhang V (Assessment and Verification of Constancy of Performance) nach Art. 4 bis 7 (EU) Nr. 305/2011 <sup>[12]</sup> zu Korngröße/Sieblinie, Kornform/Fließzahl, Feinanteile (&lt; 63 µm), Rohdichte, Wasseraufnahme, Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel, Widerstand gegen Alkali-Kieselsäure-Reaktion, Chlorid- und Schwefelgehalt, Gesamt-Schwefel, lösliche Sulfate, schädliche/gefährliche Stoffe, bei Straßenbau zusätzlich Überkorn/Unterkorn, Widerstand gegen Zertrümmerung, Abriebfestigkeit, Polierwiderstand, Frostbeständigkeit und Witterungsbeständigkeit</li> <li>→ Pflicht zur CE-Kennzeichnung nach Art. 8 (EU) Nr. 305/2011 <sup>[12]</sup></li> </ul> </li> <li>- Ersatzbaustoff und daraus hergestellte Bauprodukte, für die es keine harmonisierten Normen gibt oder die wesentlich von einer Norm abweichen (z. B. R-Beton, mit RC-Material oberhalb der Maximalanteile nach DIN 1045-2:2023-08 <sup>[80],[81]</sup>)               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Verwendbarkeitsnachweis, allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, allgemeine Bauartgenehmigung und allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis im Zulassungsverfahren über das Deutsche Institut für Bautechnik <sup>[103]</sup> (§§ 17-19 MBO <sup>[36]</sup>)</li> </ul> </li> <li>- Landesbauordnungen fordern für Bauprodukte, die dauerhaft in ein Bauwerk eingebaut werden, einen Konformitätsnachweis (z. B. §§ 21, 22, 23 SächsBO <sup>[37]</sup>) – gilt i. d. R. nicht für mineralische Schüttgüter (Sand und Kies), die zur Verfüllung, als Bettung oder in einer Frostschuttschicht eingesetzt werden → hier gelten die Bestimmungen der ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup></li> </ul>
<i>Bodenverbesserer</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- EU-Verordnung (EU) 2019/1009 <sup>[15]</sup> für das Produkt Bodenverbesserer               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Einordnung des Produktes in Produktionsfunktionskategorie PFC 3(B)</li> <li>→ Komponentenanforderung an maximal erlaubte Schadstoffgehalte (→ Cd, Cr(VI), Hg, Ni, Pb, As, Cu, Zn)</li> <li>→ Inverkehrbringen nur mit Konformitätsbewertung und CE-Kennzeichnung</li> <li>→ Einheitliche Kennzeichnungs- und Informationspflicht (Trockenmassegehalt in Masse% sowie N-, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-, K<sub>2</sub>O-Gehalt in Masse% oberhalb eines Gehalts von 0,5 Masse%)</li> <li>→ In Düngeprodukt darf Baggerschlamm (≙ Baggergut) in Komponentenmaterialkategorie CMC 3 und CMC 5 verwendet werden (Anhang II, Teil I)</li> </ul> </li> <li>- Anforderungen an das Aufbringen nach §§ 6, 7 und Anlage 1 ff. BBodSchV <sup>[4]</sup> (Dokumentations- und Untersuchungspflichten)</li> </ul>
<i>Hintermauerziegel</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- EU-Verordnung (EU) 305/2011 <sup>[12]</sup> für das Produkt Mauersteine               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ DIN EN 771-1:2015-11 <sup>[55]</sup> verbindliche harmonisierte Norm</li> <li>→ Pflicht zur Leistungserklärung nach dem AVCP-System 2+ oder 4 (Anhang V) nach Art. 4 bis 7 (EU) Nr. 305/2011 <sup>[12]</sup> zur Druckfestigkeit, Rohdichte, Maßhaltigkeit, Frost-/Feuchteverhalten, Brandverhalten A1 und Wärmeleitfähigkeit</li> <li>→ Pflicht zur CE-Kennzeichnung nach Art. 8 (EU) Nr. 305/2011 <sup>[12]</sup> (Ersatz für allgemeine bauaufsichtliche Zulassung)</li> </ul> </li> <li>- Landesbauordnungen fordern eine Übereinstimmungserklärung des Herstellers von Bauprodukten, in dem die Konformität des Produkts zu den geltenden Baubestimmungen bzw. die bauaufsichtliche Zulassung erklärt wird und danach zertifiziert ist (z. B. §§ 21, 22, 23 SächsBO <sup>[37]</sup>)</li> </ul>

#### 4.5.1.2 Leitfaden für die Gewinnung, Aufbereitung und Verwertung subhydrischer Sedimente

Der folgende Leitfaden bildet die gesamte Prozesskette des Sedimentmanagements von der Planung eines Vorhabens zur Gewässerunterhaltung bis zur Produktherstellung aus Baggergut in kurzer Übersichtsform ab (vgl. Tabelle 19 bis Tabelle 24) und gibt praxisnahe, rechtlich sowie technisch begründete Handlungsempfehlungen.

Ausgangspunkt einer Sedimentberäumung ist die **Planung der Maßnahme**, in der die technisch/logistische Vorgehensweise der Sedimentberäumung auf Basis der zu ermittelnden Sedimentmengen und -qualitäten, den hydromorphologischen Gegebenheiten (u. a.) und rechtlichen Rahmenbedingungen sowie der Verbringungsweg des Baggerguts bestimmt wird. Darauf aufbauend erfolgt die **Beräumung** als technisch-organisatorischer Prozess, bei dem die Auswahl und der Einsatz der Baggertechnik unter der Betrachtung von Eignung, Effizienz und Minimierung der Eingriffstiefe in die Natur erfolgt. Die anschließende **Entwässerung** ist der wesentliche Verfahrensschritt zur Herstellung der Transportfähigkeit des Materials. Gleichzeitig dient er der Kostenoptimierung des nachfolgenden Abtransports durch Verminderung des Transportvolumens. Die **Transport- und Übergabeprozesse** an die **Verwertung** stellen die Schnittstelle zwischen der Gewässerunterhaltungsmaßnahme und des Stoffstrommanagements dar. Sie erfordern eine qualitätsgesicherte Dokumentation der Materialeigenschaften, eine geeignete Logistik sowie klare Verantwortlichkeiten entlang der Wertschöpfungskette. Die **Behandlung** durch den Verwerter umfasst mechanische und/oder physikalische, chemische und thermische Verfahren zur Aufbereitung, Dekontamination oder stofflichen Konditionierung des Baggergutes, mit dem Ziel, definierte Qualitätsanforderungen für konkrete Anwendungen zu erreichen. Verliert das Material am Ende des Aufbereitungsprozesses seine Abfalleigenschaft und wird zu einem Produkt mit technischer Eignung und Rechts- und Normkonformität, ist die **Vermarktung durch den Verwerter** oder einem **Hersteller oder Inverkehrbringer** bei hinreichender Marktakzeptanz möglich. Gleichzeitig könnte ein solcher Prozess als Grundlage für die Weiterentwicklung ähnlich gelagerter Verwertungskonzepte dienen.

##### 1. Planung der Sedimentberäumung (Tabelle 19):

1.1. Klärung der Verantwortlichkeiten: Zu Beginn sind die Eigentums-, Betreiber- und Unterhaltungspflichten eindeutig festzulegen (z. B. Gewässerunterhaltungspflichtiger, Stauanlagenbetreiber, Auftraggeber). Idealerweise handelt sich dabei um die identische Institution. Die Zuständigkeiten für Planung, Genehmigungsmanagement, Probenahme/Analytik, Vergabe, Bauüberwachung, Entsorgung/Verwertung sowie Dokumentation sind organisatorisch bzw. vertraglich zu verankern.

1.2 Festlegung von Umfang und Ziel der Maßnahme: Der Maßnahmenumfang (räumlicher Abschnitt, Entnahmetiefe, Zielvolumen) und das Ziel (z. B. Wiederherstellung der Staukapazität, Verbesserung der Durchgängigkeit, Sicherstellung des Hochwasserschutzes) sind festzulegen und fachlich zu begründen und messbar zu definieren. Daraus leiten sich das technische Beräumungskonzept, der zeitliche Ablauf, mögliche Umweltauflagen und auch der Kostenrahmen ab.

1.3 Hydraulische und wasserwirtschaftliche Parameter: Die wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Betriebsweise der Stauhaltung, Hochwasserabfluss, Entleerungsoptionen) und die hydraulischen Kenngrößen (Abflussregime, Stauziel, Sohlschubspannung, Sedimentdynamik) sind zu ermitteln. Sofern kein vollständiger Abstau möglich sein sollte, könnten Modellierungen oder vereinfachte Szenarienbetrachtungen und Berechnungen helfen, Auswirkungen der Beräumung auf das Staubauwerk, auf Wasserstände, Trübung und Sedimentumlagerungen abzuschätzen und die Eingriffsart und -tiefe ggf. anzupassen.

1.4 Prüfung vorhandener Datenbestände: Vorhandene Bathymetrien, historische Räumprotokolle, Altanalysen, Monitoringdaten, Bauwerksunterlagen und wasserrechtliche Bescheide sind, soweit vorhanden, auszuwerten. Auf Grundlage dieser Daten kann eine Vorauswahl möglicher Elemente der Sedimententnahmestrategie getroffen und die Folgekonzepte zur Entwässerung und Verwertung des Baggerguts angepasst werden. Ggf. sind dabei auch Fehler oder

Datenlücken identifizierbar (z. B. fehlende Eluatwerte, unklare Belastungsschwerpunkte) und entsprechend bei der Planung des neuen Untersuchungsprogramms gesondert zu berücksichtigen.

**1.5 Ermittlung der Sedimentmenge:** Die Volumenbestimmung erfolgt mittels aktueller Vermessung und Vergleich mit Referenzmessdaten zur Sohlentiefe. Um den Massenanteil realistisch einschätzen zu können, sind v. a. der Wassergehalt und die Dichte des Sediments zu berücksichtigen. Die Richtigkeit des Ergebnisses ist insbesondere für die Planung der Entwässerungskapazitäten und den Transport von erheblicher Bedeutung.

**1.6 Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung des Sediments:** Ein repräsentativer Probenahme- und Analytikplan (horizontale/vertikale Stratifizierung) ist zu erstellen (vgl. Kap. 4.2.1 und 4.2.2). Ziel ist die rechtssichere Einstufung des Baggerguts nach der Abfallverzeichnis-Verordnung <sup>[59]</sup> (sofern der Entledigungswille besteht) sowie die Ableitung zulässiger Verwertungs- oder Beseitigungswege. Dabei sind vor allem die Eluat- und Feststoffparameter nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, BBodSchV <sup>[4]</sup> und DepV <sup>[32]</sup> relevant. Verdachtsmomente bezüglich Kontaminations-Hotspots oder nicht in den Verordnungen genannten Schadstoffen sind gezielt nachzuerfassen.

**1.7 Evaluierung möglicher Verbringungswege und rechtskonformes Konzept:** Auf Basis der Schadstoffanalytik und der stofflichen Eigenschaften (mindestens Korngrößenanalytik und weitere Parameter nach Tabelle 6) werden mögliche Konzepte (stoffliche Verwertung, bauliche Nutzung, Deponierung) hinsichtlich ihrer technischen und wirtschaftlichen Tragfähigkeit (Kap. 4.4.2.2) bewertet. Zudem muss es nach abfall-, wasser-, boden- und immissionschutzrechtlichen Kriterien (Kap. 4.5.1.1) durchführbar sein. Es ist sinnvoll, entsprechende Vorabstimmungen mit den zuständigen Behörden durchzuführen. Das Ziel ist ein belastbarer Stoffstromplan inkl. der Betrachtung der Annahmekriterien beim Verwerter, der Transportlogistik und den Aufwendungen in der Nachweisführung.

**1.8 Variantenuntersuchung der Beräumungsmethoden:** Aus technischen, logistischen oder finanziellen Gründen ist zu prüfen, ob die Maßnahme als Teil-, Gesamt-, Etappen- oder ggf. Intervallberäumung erfolgen soll. Vor diesem Hintergrund ist ebenso zu evaluieren, ob bei räumlich stark unterschiedlichen Sedimentqualitäten eine abschnittsweise Beräumung sinnvoll sein könnte. Unter Berücksichtigung des Einstauzustands des Gewässers sowie weiterer Parameter wie z. B. Eingriffstiefe, Trübung, Bauzeit, Emissionen, Arbeitssicherheit, Kosten und ökologische Wirkungen ist eine geeignete Auswahl zwischen mechanischen (Baggern, Greifer), hydraulischen (Saugbagger) oder kombinierten Verfahren zu treffen. Auch die Errichtung temporärer Bauwerke (Baustraßen, Plattformen) und Notfallkonzepte (Trübungsmanagement) sind in die Bewertung einzubeziehen.

**1.9 Entwässerungskonzept:** Die Entwässerung ist prozessual zu planen. Wenn das Gewässer hinreichend lange vor der Beräumung voll abgestaut wird, ist eine Entwässerung evtl. obsolet. Wird das Gewässer unmittelbar vor dem Eingriff voll abgestaut, ist die Möglichkeit, das Baggergut im Gewässerkörper für mehrere Wochen zur Entwässerung zu belassen, zu prüfen. Liegen hier Versagensgründe vor oder verbleibt das Gewässer im Teil- oder Volleinstau, sind für eine natürliche oder technische Entwässerung die technischen und logistischen Kapazitäten, mögliche Standorte und umwelt- und sicherheitsrelevante Kriterien (Abdichtung, Ableitung/Behandlung von Sicker- und Prozesswässern, Schutz von Boden und Grundwasser) zu eruieren. Dabei sind insbesondere auch die Notwendigkeit einer wasserrechtlichen Erlaubnis für das Ableiten des Sickerwassers und/oder eine immissionsrechtliche Genehmigung für das Betreiben einer technischen Anlage im Sinne einer Abfallbehandlung und mögliche betriebliche Überwachungspflichten frühzeitig zu berücksichtigen.

**1.10 Anzeige- und/oder Genehmigungspflichten, Naturschutz, Beteiligungen:** Je nach Eingriffstiefe und Verfahren sind wasserrechtliche Anzeigen/Genehmigungen sowie ggf. immissionschutzrechtliche Genehmigungen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz <sup>[6]</sup> erforderlich. Naturschutzrechtliche Prüfungen (Eingriffsregelung, artenschutzrechtliche Verbotstatbestände, Schonzeiten) sind zu integrieren. Eine frühzeitige Beteiligung von Behörden, Trägern öffentlicher Belange sowie ggf. der Öffentlichkeit reduziert Projektrisiken und Verzögerungen.

**Tabelle 19.** Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 1: Planung der Sedimentberäumung

<i>Phase 1: Planung der Sedimentberäumung</i>	
□ 1.1 Klärung der Verantwortlichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterhaltungslasträger (i. d. R. Vorhabenträger), Anlagenbetreiber, Grundstückseigentümer, Pächter, Anlieger, Hinterlieger, Behörden</li> <li>→ Prüfung der Verfahrensbeteiligungen (Zuständigkeiten, Abstimmungs-, Beteiligungs- und Genehmigungsbedarf, Informationspflichten, Mitwirkungspflichten, Kostenbeteiligungen)</li> </ul>
□ 1.2 Festlegung des Umfang und Ziels der Maßnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Räumliche Eingrenzung der Maßnahme (betroffenes Staugewässer bzw. betroffener Gewässerabschnitt mit Gemarkung, Flurstück und Gewässerkennzahl)</li> <li>- Bestimmung des Maßnahmensekzwecks (z. B. Wiederherstellung des Stauraums, Hochwasserschutz, Betriebssicherheit)</li> <li>→ Prüfung des rechtlichen Status der Maßnahme (Gewässerunterhaltung oder Gewässerausbau → Auswirkung auf Verfahrensablauf)</li> </ul>
□ 1.3 Hydraulische und wasserwirtschaftliche Parameter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abfluss- und Stauraum, Wasserstände, Hochwasserereignisse, Betriebsregime, technischen Funktionen der Anlage (z. B. Staubauewerk, Grundablass, Schütze, Wehre, Überlauf), Baugrundrisiken</li> <li>→ Prüfung der Auswirkungen der Maßnahme auf Wasserstände und Abfluss, Auswirkungen auf Unterlieger, Standsicherheit und Betriebssicherheit der Anlage, Vermeidung von technischen Schäden, Hochwassersicherheit während der Maßnahme, Beschränkung der Maßnahmen auf das Nötige</li> </ul>
□ 1.4 Prüfung vorhandener Datenbestände	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daten zu früheren Beräumungen (Sedimentmengen, Korngrößen, chemisch-physikalische Analysen usw.), Vermessungsdaten, Platzverhältnisse im Stauraum und im angrenzenden Gebiet, Baugrundgutachten, Zugänglichkeit zum Staugewässer (Straßen, Wege usw.)</li> <li>→ Vorprüfung möglicher Beräumungs-, Entwässerungs- und Baggergutverbringungskonzepte</li> </ul>
□ 1.5 Ermittlung der Sedimentmenge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bathymetrische Vermessung des Staugewässers (Bestimmung des Sedimentvolumens, der Sedimentmächtigkeit, der räumlichen Verteilung)</li> <li>→ Volumen- und Massenbilanz wesentlicher Teil und Kostenfaktor des Beräumungs-, Entwässerungs- und Baggergutverbringungskonzepts</li> </ul>
□ 1.6 Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung des Sediments	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstellung eines Probenahmekonzepts (mindestens Mischbeprobung im Zulauf, Zentrum und Ablauf des Gewässers) und Beauftragung der Probenahme (Anforderungen in Tabelle 5)</li> <li>- Schadstoffanalysen durch akkreditiertes Umweltlabor nach ErsatzbaustoffV <sup>[3]</sup>, BBodSchV <sup>[4]</sup> oder/und DepV <sup>[32]</sup> zzgl. Bestimmung von Korngrößen und ggf. weitere Parameter wie z. B. Nährstoffgehalt (siehe Tabelle 6)</li> <li>→ Rechtliche Einstufung des Materials als Abfall oder Wertstoff (Einstufung in Materialklasse, ggf. Abfallschlüssel falls Verwertungsweg oder Entsorgung)</li> <li>→ Evaluierung möglicher Verbringungswege</li> <li>→ Wahl der Beräumungstechnologie und des Entwässerungskonzepts</li> </ul>
□ 1.7 Evaluierung möglicher Verbringungswege und Erstellung eines rechtskonformen Konzepts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung der Möglichkeit einer Umlagerung im Gewässer (inklusive der erforderlichen biologischen, chemischen und physikalischen Nachweiserhebung im Sinne des Verbesserungsgebots und des Verschlechterungsverbots) <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Einvernehmen mit Wasser- und Naturschutzbehörde erforderlich</li> </ul> </li> <li>- Prüfung der Zulässigkeit einer (teilweisen) direkten Verwendung als mineralischer Ersatzbaustoff oder zur bodennahen Verwendung (mit notwendigem Nachweis der Verbesserung mindestens eines Bodenparameters und Nachweis, dass keine schädliche Bodenveränderung zu besorgen ist) <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Einvernehmen mit Bodenschutzbehörde erforderlich</li> </ul> </li> <li>- Prüfung von Verwertungswegen mit erforderlicher Aufbereitung <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Benehmen mit Abfallbehörde (bei Neuanlagen Einvernehmen mit Immissionschutzbehörde auf Basis der Konzentrationswirkung)</li> </ul> </li> <li>- Prüfung der Entsorgung/Deponierung <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Benehmen mit Abfallbehörde, Anzeige- und Nachweispflichten</li> </ul> </li> <li>- Kosten-/Nutzen-/Risikoanalyse potenzieller Verbringungswege vs. Entsorgung</li> <li>- Erstellung eines Konzepts unter Berücksichtigung der Entwässerung, Transportlogistik, ggf. Zwischenlager(flächen), ggf. abfallrechtlicher Nachweisführung, ggf. Abstimmung mit Entsorgungsfachbetrieben (Verwertern) und Kostenschätzung</li> </ul>
□ 1.8 Variantenuntersuchung der Beräumungsmethoden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teilberäumung, Gesamtberäumung oder Etappen- bzw. Intervallberäumung, ggf. Beräumung von Abschnitten unterschiedlicher Belastung oder Korngrößen</li> <li>- Auswahl der Entnahmetechnik (Nass- oder Trockenbaggerung) unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit/Zugänglichkeit von Flächen (ggf. Kettenfahrzeuge)</li> <li>- Bewertung der Maßnahmen nach Eingriffstiefe, Sedimentmobilisierung, sonstigen Umwelteinflüssen, Kosten, Zeiträumen</li> </ul>
□ 1.9 Entwässerungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung des Platzdargebots und anderer logistischer Parameter für eine natürliche oder technische Entwässerung innerhalb oder außerhalb des Gewässerkörpers inkl. Kosten-Nutzen-Analyse und Beachtung des rechtlichen Rahmens (siehe Tabelle 15)</li> </ul>
□ 1.10 Anzeige- und/oder Genehmigungspflichten, naturschutzrechtliche Auflagen, Beschränkungen, Beteiligungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- siehe rechtliche Rahmenbedingungen in Tabelle 14</li> </ul>

## 2. Beräumung (Tabelle 20):

**2.1 Vorbereitung der Maßnahme:** Vor Baubeginn sind die organisatorischen, technischen und rechtlichen Voraussetzungen herzustellen. Dazu zählen die Baustelleneinrichtung (Zufahrten, Arbeitsplattformen, Absperrungen), Installation von Sicherheitseinrichtungen (Trübungsbarrieren u. a.), die Unterweisung des Personals (Arbeitsschutz, Gefahrstoffe bei kontaminierten Sedimenten), die Bereitstellung geeigneter Geräte sowie die Festlegung der Kommunikations- und Meldekettens. Dokumentationspflichten auf abfallrechtlicher Basis und/oder infolge evtl. vorliegender Genehmigungen und Auflagen sind im organisatorischen Ablauf zu integrieren. Die Monitoring-, Notfall- und Havariekonzepte (z. B. bei Trübungsereignissen, Leckagen, Hochwasser) sind vorab festzulegen und zu erproben.

**2.2 Wasserwirtschaftliche Maßnahmen:** Die wasserwirtschaftliche Steuerung der Stauhaltung (z. B. Absenkung des Stauziels und/oder temporäre Umleitungen) und Sicherstellung des Mindestabflusses erfolgt in enger Abstimmung mit dem Anlagenbetreiber und mit der zuständigen Wasserbehörde unter besonderer Beachtung der Bauwerkssicherheit, des Hochwassermanagements und des Schutzes der Unterlieger. In diesem Rahmen sind auch evtl. notwendige Fischschutzmaßnahmen und technische Optionen zur Prävention eines verstärkten Sediment-/Trübstoffaustrags umzusetzen.

**2.3 Durchführung der Sedimentberäumung:** Die Beräumung erfolgt gemäß der gewählten Verfahrensvariante (mechanisch, hydraulisch oder kombiniert) und den festgelegten Betriebsparametern. Emissionsarme Arbeitsweisen und eine abschnittsweise Vorgehensweise sind obligatorisch. Die umgeschlagenen Mengen müssen quantifiziert werden. Unter Umständen ist das Vermischungsverbot unterschiedlich stark belasteter Sedimente und eine entsprechend notwendige Separierung und Kennzeichnung zu beachten. Liegt der Entsorgungswille vor, muss die korrekte Einstufung des Baggerguts nach der Abfallverzeichnis-Verordnung<sup>[59]</sup> sichergestellt werden. Bei einer Klassifizierung als gefährlicher Abfall gelten erhöhte Schutz- und Dokumentationspflichten.

**2.4 Überführung des Materials zur Entwässerung:** Das ausgehobene Sediment ist, sofern es nicht im Gewässerkörper belassen werden kann, verlustfrei zum Entwässerungsstandort bzw. zur Entwässerungsanlage zu überführen. Die Transportwege müssen gegen Abtropfen und sonstige Verschleppungen gesichert werden. Die Logistik ist mit der Beräumungsmaßnahme einzutakten. Sicker- und Prozesswässer sind aufzufangen und ggf. zu behandeln. Für deren Einleitung ist in der Regel eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich.

**2.5 Umwelt- und Gewässerüberwachung:** Während der Arbeiten ist ein begleitendes Monitoring umzusetzen. Dies umfasst Trübungs- und ggf. Schadstoffmessungen im Gewässer (vor, während, nach der Beräumung), Sichtkontrollen auf Öl-/Hydraulikleckagen an den Räum- und Transportfahrzeugen sowie Lärm- und Staubkontrollen an der Baustelle. Grenzwertüberschreitungen oder ökologische Beeinträchtigungen sind umgehend zu melden und durch adaptive technisch/logistische Maßnahmen abzustellen. Artenschutzrechtliche Auflagen sind stets einzuhalten.

**2.6 Abschluss und Nachsorge:** Nach Abschluss der Beräumung ist der Stauraum des Gewässers zu vermessen und der Befund mit der Planungsgrundlage zu vergleichen – ggf. ergibt sich hieraus die Notwendigkeit einer Nachbearbeitung. Im Weiteren sind die Ufer- und Sohlbereiche, soweit erforderlich, zu sichern, wiederherzustellen und ggf. ökologisch aufzuwerten (z. B. durch Baumbepflanzung). Alle temporären Bau(stellen)einrichtungen müssen zurückgebaut werden. Die kurzfristige Nachsorge umfasst die Funktionsprüfungen der Stauhaltung, die Kontrolle von Trübungs-fahnen und die Stabilität evtl. genutzter Entwässerungsflächen. Mittel- bis langfristig können Nachkontrollen sinnvoll sein, um den Unterhaltungszyklus fachlich zu optimieren.

**2.7 Dokumentation:** Eine lückenlose Dokumentation und Archivierung schafft Rechtssicherheit mit Bezug auf die Mengen- bzw. Massenbilanz, evtl. notwendige Trennungs- und Kennzeichnungskonzepte, abfallrechtliche Nachweise, Umweltdaten (Monitoring) und ggf. Haftungsfragen bei Schadensereignissen. Ein Abschlussbericht an die zuständige Behörde schließt die Maßnahme formell ab.

**Tabelle 20.** Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 2: Beräumung

<i>Phase 2: Beräumung</i>	
<input type="checkbox"/> 2.1 Vorbereitung der Maßnahme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prüfung ggf. vorhandener Beschränkungen, Auflagen und Nebenbestimmungen und technische, logistische und ggf. zeitlich/räumliche Adaptierung der Maßnahme</li> <li>- Einweisung aller Beteiligten (Bauleitung, Geräteführer, Umweltbaubegleitung)</li> <li>- Absteckung von Arbeits- und Schutzbereichen</li> <li>- Einrichtung von Baustellenzufahrten und Lagerflächen</li> <li>- Installation von Trübungsbarrieren, Sedimentfängen, Fischschutzvorrichtungen</li> <li>- Umsetzung des Monitoring- und Alarmkonzepts</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 2.2 Wasserwirtschaftliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kontrollierte Absenkung des Stauziels (soweit vorgesehen)</li> <li>- Sicherstellung des Mindestabflusses</li> <li>- Betrieb und Überwachung des Grundablasses</li> <li>- Schutz der Unterlieger vor unzulässigen Trübungs- und Stofffrachten</li> <li>- Hochwassermanagement</li> <li>- Fischschutz</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 2.3 Durchführung der Sedimentberäumung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umsetzung der Beräumung nach technischer Vorgabe (mechanische und/oder hydraulische Maßnahme) und unter Beachtung der Entnahmetiefe und -grenzen</li> <li>- Separierung unterschiedlicher Sedimentqualitäten (soweit geplant und möglich)</li> <li>- Volumetrische Mengenermittlung, ggf. auch Verwiegung (im Rahmen des Abtransports)</li> <li>- Vermeidung von Sedimentmobilisierung und Schonung von Ufer- und Böschungsbereichen, Staub- und Lärminderung, Sauberhaltung von Verkehrsflächen</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 2.4 Überführung des Materials zur Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verlagerung innerhalb des Gewässerkörpers bei abgesenktem Stauziel: natürliche oder technische Entwässerung in trockengefallene Stauzonen, Sicherstellung des Abflusses, Umweltüberwachung (Überwachung der Gewässerqualität), ggf. Sofortmaßnahmen bei Grenzwertüberschreitungen</li> <li>- Außerhalb des Gewässers: Beauftragung eines Abfallbeförderers, Anzeige oder Genehmigung des Transports bei Abfallbehörde, Führung der Abfallnachweise (siehe Tabelle 16)</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 2.5 Umwelt- und Gewässerüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trübungsüberwachung und Kontrolle von Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Schadstoffparameter mit Sofortmaßnahmen bei unzulässigen Ereignissen</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 2.6 Abschluss und Nachsorge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Endvermessung des Stauraums (soweit Entwässerung nicht im Gewässerkörper stattfindet, sonst nach Entwässerung)</li> <li>- Abgleich des ausgekofferten Soll-/Ist-Sedimentvolumens</li> <li>- Rückbau temporärer Anlagen (Maschinen, Baustelleneinrichtungen, Zuwegungen)</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 2.7 Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bautagebuch, Fotodokumentation, Umweltüberwachungsprotokolle, Bewertung der Umweltwirkung, Beginn der Abfallnachweisführung (erforderlich bei Abfallcharakter des Materials und Start des Abtransports), Bericht an Fachbehörde</li> </ul>

### 3. Entwässerung (Tabelle 21):

**3.1 Herrichtung der Entwässerung unter Beachtung der rechtlichen Rahmenbedingungen:** Die Planung und Einrichtung von Entwässerungsflächen oder -anlagen hat so zu erfolgen, dass Boden, Grundwasser und Oberflächengewässer wirksam geschützt werden. Maßgeblich sind die wasserrechtlichen Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes <sup>[34]</sup> (Erlaubnis für Einleitungen, Verbot schädlicher Gewässeränderungen) sowie die bodenschutzrechtlichen Vorgaben des Bundes-Bodenschutzgesetzes <sup>[33]</sup> (Vermeidung schädlicher Bodenänderungen). Die entsprechenden Rechtsverweise sind in Tabelle 15 abgebildet. Die Flächen sind standsicher herzurichten (Abdichtung, Gefälle, Sickerwasserfassung), Abtropfverluste auf Verkehrswegen zu verhindern und Rückhalte- bzw. Behandlungsstufen für Sickerwasser (Sedimentation, Filtration, ggf. Fällung/Neutralisation) vorzusehen. Aus abfallrechtlicher und verwertungsspezifischer Sicht ist eine zutreffende Klassifizierung sowie eine ggf. erforderliche oder zumindest sinnvoll getrennte Führung nach Materialklasse (z. B. BG-F0 bis > BG-F3 gemäß Ersatzbaustoffverordnung <sup>[31]</sup>), stofflicher Materialbeschaffenheit (Feinkorn/Grobkorn) und/oder Abfallschlüssel (17 05 05\* oder 17 05 06) sicherzustellen. Bei gefährlichen Anteilen gelten erhöhte Organisations-, Kennzeichnungs- und Nachweispflichten. Der Betrieb einer Entwässerung im Sinne einer Abfallbehandlungsanlage unterliegt den Genehmigungs- und Auflagenanforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes <sup>[6]</sup> (Massenumschlag, Staub, Schadstoffe, Geruch, Lärm).

**3.2 Umwelt- und Gewässerüberwachung sowie Schutzmaßnahmen:** Während des Entwässerungsbetriebs ist ein begleitendes Monitoring umzusetzen. Hierzu zählen u. a. Trübungs- und Schadstoffmessungen im abgeleiteten bzw. behandelten Sickerwasser, Sichtkontrollen auf Leckagen oder unzulässige Versickerungen, Funktionsprüfungen der Rückhalte- und Behandlungssysteme und ggf. auch Emissionsmessungen. Bei Grenzwertüberschreitungen sind

Sofortmaßnahmen (Drosselung, zusätzliche Filtration, temporäre Stillsetzung) zu ergreifen und die zuständige Behörde zu informieren. Schutzmaßnahmen umfassen u. a. sekundäre Auffangsysteme, Notfallmaterial (Bindemittel), Witterungsmanagement (Abdeckung bei Starkregen, Erosionsschutz) und Betriebsanweisungen für das Personal. Unter Umständen sind auch Artenschutz- und naturschutzrechtliche Auflagen (z. B. Schonzeiten, Schutz angrenzender Habitate) in den Betriebsablauf zu integrieren.

**3.3 Abschluss und Dokumentation:** Nach Abschluss der Entwässerung sind die genutzten Flächen zu reinigen und wiederherzustellen und temporäre Anlagen inklusive den Zuwegungen zurückzubauen. Evtl. ist hierfür eine bodenschutzfachliche Freigabe einzuholen. Die Wirksamkeit der Entwässerung ist durch Abschlussmessungen zu belegen. Stichprobenhaft sollte auch noch einmal die Schadstoffcharakteristik des Materials geprüft werden, um die Richtigkeit der nachfolgend geplanten Prozessschritte (Transport und Verwertung) zu evaluieren und notfalls zu korrigieren. Eine lückenlose Dokumentation umfasst die Mengen- und Massenbilanzen (nass/trocken), Monitoringdaten, Betriebs- und Störfallprotokolle, Wartungsnachweise sowie alle abfallrechtlichen Nachweise. Für gefährliche Fraktionen sind letztgenannte nach der Nachweisverordnung revisionssicher zu archivieren.

**Tabelle 21.** Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 3: Entwässerung

<i>Phase 3: Entwässerung</i>	
<input type="checkbox"/> 3.1 Herrichtung der Entwässerung unter Beachtung der rechtlichen Rahmenbedingungen (Tabelle 15)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trennung von unterschiedlichen Sedimentqualitäten, falls möglich/erforderlich</li> <li>- Innerhalb des Gewässerkörpers:             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Herstellung von Entwässerungsgräben und/oder Haufwerken und regelmäßige Umschichtungen bzw. Umlagerungen des Baggerguts zur Verringerung der Entwässerungsdauer oder Überführung des Materials in Geotextilschläuche und Lagerung</li> </ul> </li> <li>- Außerhalb des Gewässerkörpers:             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Herstellung von Entwässerungsbecken, Spülfelder oder Überführung des Materials in Geotextilschläuche und Lagerung auf einer Fläche oder Betrieb von technischen Entwässerungsvorrichtungen (z. B. Kammerfilterpressen)</li> </ul> </li> </ul>
<input type="checkbox"/> 3.2 Umwelt- und Gewässerüberwachung und Schutzmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innerhalb des Gewässerkörpers:             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Technische Maßnahmen zur Begrenzung der Sauerstoffzehrung, der Feinpartikelfracht/Trübung und ggf. Schadstofffreisetzung über das Sickerwasser (soweit zugelassen) sowie Kontrolle und Dokumentation</li> <li>→ Relativ hohes Haftungs- und Stilllegungsrisiko</li> </ul> </li> <li>- Außerhalb des Gewässerkörpers:             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Abdichtung gegen Sickerwasserverluste zum Schutz von Boden und Grundwasser und Überwachung möglicher Sickerpfade</li> <li>→ Vorbehandlung (falls erforderlich) und Ableitung des Entwässerungswassers im bewilligten Rahmen (z. B. in das Gewässer, in die Kanalisation)</li> <li>→ Maßnahmen zur Verminderungen der Staub- und Geruchsemissionen zum Schutz der Anwohner (soweit erforderlich)</li> <li>→ Sicherstellung der Stabilität des Bauwerks und regelmäßige Kontrollen</li> <li>→ Technische Absicherung der Entwässerungsflächen (Zäune, Beschilderung)</li> </ul> </li> <li>- Nachweis und Dokumentation der Einhaltung der wasserrechtl. Nebenbestimm.</li> <li>- <b>Regelmäßige Bestimmung der Restfeuchte des Materials</b></li> </ul>
<input type="checkbox"/> 3.3 Abschluss und Dokumentation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erreichen der zulässigen Restfeuchte für Transport (Kriterium „stichfest“)</li> <li>- Rückbau ggf. errichteter temporärer Anlagen und ggf. Nachsorge</li> <li>- Optional Beprobung und Analyse des Materials zur Materialcharakterisierung und Freigabe oder ggf. Revidierung des geplanten Verbringungsweges</li> </ul>

**4. Transport und Übergabe an Verwerter (Tabelle 22):**

**4.1 Rechtliche und organisatorische Vorbereitungen:** Der Transport und die Übergabe von Baggergut an den Verwerter erfordert eine strukturierte Vorgehensweise entlang abfallrechtlicher, technischer und organisatorischer Anforderungen. Dazu gehört das Vorliegen einer Mengenbilanzierung und einer gesichert abfallrechtlichen Einstufung des Baggerguts nach der Abfallverzeichnis-Verordnung <sup>[59]</sup> auf Basis repräsentativer Probenahmen und analytischer Untersuchungen durch ein akkreditiertes Labor. Sollten signifikant unterschiedliche Materialqualitäten vorliegen, sind chargenbezogene Verbringungswege einzuplanen. Die ermittelten Materialqualitäten und -mengen müssen mit den Annahmekriterien zugelassener und für den vorgesehenen Verbringungsweg geeigneter Verwertungs- bzw. Entsorgungsanlagen abgeglichen werden. Maßgeblich sind hierbei die rechtliche Zulassungen und auch die betriebsinterne Grenzwerte der Anlagenbetreiber. Nach positivem Abgleich erfolgt der Abschluss von Entsorgungs- oder Verwertungsverträgen mit dem oder den Anlagenbetreibern unter Festlegung der Mengen,

Qualitäten, Liefermodalitäten und Dokumentationspflichten und eine formale Annahmeerklärung zur Zulässigkeit des Verwertungs-/Entsorgungsweges. Ggf. können die Verträge privatrechtlich mit einer konkreten Zielstellung für den angestrebten Verwertungsweg ergänzt werden. Die Annahme des Materials seitens des Verwerter erfolgt auf Grundlage der vorliegenden Analytik oder ergänzender Kontrolluntersuchungen. Im Falle einer Abweisung des Materials bei Anlieferung (z. B. aufgrund von offenkundigen Abweichungen zur Abfalldeklaration) ist ein entsprechendes Handlungskonzept einzuplanen (Zwischenlagerung, alternative Entsorgung). Bei Einstufung als gefährlicher Abfall ist eine Genehmigung sowohl für den Transport als auch für den vorgesehenen Verwertungs- oder Beseitigungsweg durch die zuständige Abfallbehörde erforderlich (Entsorgungsnachweisverfahren). Eine Zustimmungspflicht kann auch bei erheblichen Mengen, Zweifeln an der Abfalleigenschaft oder bei Berührung sensibler Schutzgüter (z. B. Wasser- oder Naturschutzgebiete) bestehen. In Sonderfällen können verbindliche Verwertungswege durch wasserrechtliche Genehmigungen, Planfeststellungsbeschlüsse oder naturschutzrechtliche Nebenbestimmungen vorgegeben sein. Für gefährliche Abfälle ist für jeden einzelnen Transport ein Begleitschein im elektronischen Nachweisverfahren (eANV <sup>[104]</sup>) anzulegen. Der Begleitschein enthält u. a. Abfallbezeichnung, Abfallschlüssel, Menge, Abfallerzeuger, Abfallbeförderer, Verwerter/Entsorger, Behandlungsanlage sowie die jeweiligen Genehmigungsnummern. Für den Transport zum Verwerter erfolgt der Vertragsabschluss mit einem zuverlässigen Abfallbeförderer. Bei einer Einstufung des Baggerguts als Gefahrgut sind zusätzlich Anforderungen an die Eignung nach ADR <sup>[129]</sup> zu berücksichtigen. Außerdem ist in diesem Fall der beauftragte Abfallbeförderer im elektronischen Nachweisverfahren zu registrieren. Der Abfallbeförderer hat die erforderliche Anzeige oder die Transportgenehmigung vorzulegen. Im Weiteren ist sicherzustellen, dass der Beförderer geschultes und qualifiziertes Personal einsetzt.

**4.2 Vorbereitung des Baggerguts:** Das Material ist im entwässerten Zustand vorzulagern (Mindestkriterium „stichfest“) und bei heterogener Qualität (Kontamination oder Kornklasse) getrennt zu führen. Die Kennzeichnung unterschiedlicher Fraktionen (Abfallschlüssel, Herkunft, Charge) stellt die Rückverfolgbarkeit sicher. Abtropfverluste und Vermischungen unterschiedlicher Chargen sind technisch und organisatorisch zu vermeiden. Bei gefährlichen Eigenschaften des Baggerguts sind ergänzende Schutzmaßnahmen vorzusehen (Staubbindung, Abdeckung, Verpackung).

**4.3 Transportplanung:** Die Transportkette ist so zu planen, dass Umweltbelastungen und Risiken minimiert werden. Es sind geeignete Fahrzeuge/Container einzusetzen (dicht, abdeckbar), Routen festzulegen (Umgehung von sensiblen Bereichen), die Umschlagzeiten logistisch zu optimieren und Reinigungskonzepte für Räder und Ladeflächen zu erstellen. Ladungssicherung und Leckageprävention sind verpflichtend. Bei als Gefahrgut eingestuften Eigenschaften des Materials sind die Anforderungen der Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschiffahrt <sup>[191]</sup> einzuhalten (Schulung, Kennzeichnung, Ausrüstung). Die Annahmekapazitäten des Verwerter sind tagesaktuell abzustimmen, um Rücktransporte zu vermeiden.

**4.4 Dokumentation und Nachweise:** Für jede Lieferung sind die erforderlichen Begleitpapiere mitzuführen (Abfallschlüssel, Menge, Herkunft, Empfänger). Bei gefährlichen Abfällen ist das elektronische Nachweisverfahren <sup>[104]</sup> nach der Nachweisverordnung <sup>[130]</sup> (Begleitschein/Übernahmeschein) verpflichtend. Mengen- und Massenbilanzen (nass/trocken), Chargenkennzeichnungen sowie Analytikreferenzen sind revisionssicher zu archivieren. Eine zentrale Stoffstromliste erleichtert hierbei das Controlling und die Behördenkommunikation.

**4.5 Kontrolle der Verladung:** Vor Abfahrt ist jede Ladung mindestens hinsichtlich einer ausreichenden Ladungssicherung, vollständiger und richtiger Begleitpapiere und korrekter Fahrzeugkennzeichnung zu überprüfen. Abweichungen sind zu korrigieren oder die Lieferung zu sperren.

**4.6 Annahme beim Verwerter:** Der Verwerter führt eine Annahmekontrolle durch. Die Übernahme erfolgt vorbehaltlich der Einhaltung der vertraglich vereinbarten und genehmigten Annahmekriterien. Abweichungen lösen das vorab definierte Rückführungsverfahren aus. Bei korrekter Lieferung erstellt der Verwerter einen Liefer- bzw. Wiegeschein und ggf. eine Bestätigung über die ordnungsgemäße Verwertung. Für gefährliche Abfälle ist die Annahme im elektronischen Nachweisverfahren <sup>[104]</sup> als Entsorgungsnachweis zu bestätigen.

**Tabelle 22.** Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 4: Transport und Übergabe an Verwerter

<i>Phase 4: Transport und Übergabe an Verwerter</i>	
<input type="checkbox"/> 4.1 Rechtliche und organisatorische Vorbereitungen (Tabelle 16)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengenbilanzierung und abfallrechtliche Einstufung des Baggerguts auf Basis repräsentativer Probenahmen und Laboranalysen liegt vor</li> <li>- Zuordnung ggf. unterschiedlicher Baggergutqualitäten zu ggf. unterschiedlichen Verbringungswegen</li> <li>- Abgleich der Materialqualitäten mit Annahmekriterien eines zugelassenen und für den geplanten Verbringungsweg geeigneten Verwerter/Entsorger</li> <li>- Vertragsabschluss mit zugelassenem Verwerter/Entsorger</li> <li>- Annahme des Materials durch Verwerter auf Basis der vorliegenden analytischen Befunden oder ergänzender Kontrollanalysen und Ausstellung der Annahmeerklärung seitens des Verwerter/Entsorger</li> <li>- Bei Einstufung des Baggerguts als gefährlicher Abfall Genehmigung des Verwertungs- oder Beseitigungswegs durch Abfallbehörde erforderlich (<math>\hat{=}</math> Entsorgungsnachweis), ggf. auch Zustimmungspflicht bei Anfall erheblicher Mengen, Zweifel an der Abfalleigenschaft oder bei Berührung mit sensiblen Orten (Naturschutz- oder Wasserschutzgebiete); im Sonderfall verbindlicher Verwertungsweg im Rahmen einer wasserrechtlichen Genehmigung, eines Planfeststellungsbeschlusses oder durch naturschutzrechtliche Nebenbestimmungen</li> <li>- Bei Einstufung des Baggerguts als gefährlicher Abfall Anlage eines Begleitscheins für jeden einzelnen Transport durch Abfallerzeuger im eANV <sup>[104]</sup> (Abfallbezeichnung, Abfallschlüssel, Menge, Abfallerzeuger, Abfallbeförderer, Verwerter/Entsorger, Behandlungs-/Entsorgungsanlage, Genehmigungsnummern)</li> <li>- Vertragsabschluss mit zuverlässigem Abfallbeförderer, ggf. mit ADR-Eignung <sup>[129]</sup></li> <li>- Bei Einstufung des Baggerguts als gefährlicher Abfall Eintragung des Abfallbeförderers im eANV <sup>[104]</sup></li> <li>- Einholung bzw. Vorlegen der Transportgenehmigung durch Abfallbeförderer (behördliche Anzeige nach KrWG <sup>[2]</sup> oder Genehmigung bei Gefahrguteinstufung)</li> <li>- Prüfung auf Einsatz von geschultem Personal seitens des Abfallbeförderer</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 4.2 Vorbereitung des Baggerguts	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trennung unterschiedlicher Baggergutqualitäten und Chargierung, soweit gegeben (getrennte Haufwerke und Kennzeichnung)</li> <li>- Ggf. ADR-konforme <sup>[129]</sup> Verpackung und Kennzeichnung des Baggerguts</li> <li>- Hinreichende, seitens des Abfallbeförderers und Verwerter/Entsorger akzeptierte Entwässerung (Material stichfest, keine freien Wasseranteile, kein Abtropfen beim Verladen)</li> <li>- Maßnahmen zur Vermeidung von Staub- und Geruchsentwicklung (z. B. Befeuchtung, Abdeckung)</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 4.3 Transportplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Festlegung des Transportwegs (Abstimmung mit Gemeinden/Straßenbaulastträger, Prüfung von Durchfahrts- und Brückenüberfahrtsbeschränkungen, Vermeidung von sensiblen Bereichen wie z. B. verkehrsberuhigte Zonen, Wohngebiete und Wasserschutzgebiete, ggf. Einholung verkehrsrechtlicher Anordnungen)</li> <li>- Anforderung für den Einsatzzweck und für die Befahrbarkeit der Flächen geeigneter Fahrzeuge (z. B. bedeckte oder gedeckte Mulden-, Kipper- oder Containerfahrzeuge mit ausreichender Ladekapazität und Abfallbeförderungskennzeichnung, ggf. ADR-konform <sup>[129]</sup>)</li> <li>- Ggf. logistische Anpassung an Witterungseinflüsse wie Frost oder Starkregen</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 4.4 Dokumentation und Nachweise	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuordnung und Kennzeichnung des Materials bzw. der Materialchargen</li> <li>- Mengenerfassung (Wiegescheine)</li> <li>- Ausstellung der Lieferscheine, ggf. Abfallbegleitscheine und Übernahmescheine</li> <li>- Eintrag im Bautagebuch mit Dokumentation der Transportzeiten und -routen</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 4.5 Kontrolle der Verladung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterweisung der Fahrer</li> <li>- Getrennte Beladung von Baggergut unterschiedlicher Materialqualitäten und Verbot der Vermischung im Laderaum</li> <li>- Rückstandsfreie Verladung der Haufwerke ohne Abtropfen oder Staubentwicklung, ggf. unter Ergreifung von Gegenmaßnahmen (Befeuchtung des Materials bei Staubentwicklung)</li> <li>- Vermeidung von Überladung, Einhaltung der zulässigen Achslasten</li> <li>- Vermeidung einer Verschmutzung anderer Flächen, ggf. Reinigung verschmutzter Fahrzeugaußenflächen, Ladeflächen, Beseitigung von Undichtigkeiten und Einsatz von Reifenwaschanlagen, ggf. Einsatz einer Kehrrmaschine</li> <li>- Abdeckung des Ladeguts vor Fahrtantritt</li> <li>- Ausreichende abfallrechtliche Kennzeichnung am Fahrzeug</li> <li>- Abfallbeförderer führt bei Transport von gefährlichem Abfall einen Ausdruck des Begleitscheins mit oder verfügt über elektronischen Zugriff</li> <li>- Unterbindung des Transports bei erkennbaren Mängeln</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 4.6 Annahme bei Verwerter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identitätskontrolle des Materials (Herkunft, Abfallart)</li> <li>- Abgleich mit Annahmeerklärung (Materialbeschaffenheit, angelieferte Mengen), und Annahmeerklärung, ggf. Zurückweisung oder Nachverhandlung (bei gefährlichem Abfall Kennzeichnung der Ablehnung im Begleitschein)</li> <li>- Verwiegung und Mengenbestätigung</li> <li>- Dokumentierte Übergabe mit Angabe des Zeitpunkts mit Unterschrift bzw. elektronische Signatur im eANV-Verfahren <sup>[104]</sup> und drei Jahre Aufbewahrungspflicht</li> </ul>

## 5. Behandlung durch Verwerter (Tabelle 23):

**5.1 Ende des Verantwortungsbereichs des Abfallerzeugers:** Der Verantwortungsbereich des Abfallerzeugers/Absenders endet mit der ordnungsgemäßen Übergabe des Baggerguts an einen befugten Verwerter in einer genehmigten Anlage. Diese wird durch Annahmestätigung und Liefer- bzw. Wiegeschein und bei gefährlichen Abfällen zusätzlich durch das verpflichtende elektronische Nachweisverfahren <sup>[104]</sup> dokumentiert. Eine fehlerhafte oder unvollständige Deklaration des Baggerguts lässt die Verantwortlichkeit des Abfallerzeugers fortwirken.

**5.2 Verantwortungswechsel zum Verwerter:** Mit der Annahme geht die Obhutspflicht auf den Verwerter über. Ab diesem Zeitpunkt trägt er die Verantwortung für die ordnungsgemäße Behandlung, sichere Lagerung, Trennung von Stoffströmen und die rechtskonforme Verwertung oder ggf. Beseitigung. Der Verwerter wird zum Abfallbesitzer im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes <sup>[2]</sup> und unterliegt damit den Pflichten zur ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung, zur Rückverfolgbarkeit sowie zur Einhaltung der Abfallhierarchie (Verwertung vor Beseitigung). Unabhängig von der abfallrechtlichen Einstufung und den behördlich genehmigten Verwertungs- bzw. Beseitigungswegen kann der Abfallerzeuger im Rahmen eines privatrechtlichen Verwertungsvertrags mit dem Anlagenbetreiber, unter Wahrung der Genehmigungskonformität der Anlage sowie der objektiven technischen Durchführbarkeit, verbindliche Vorgaben zur Behandlung des Baggerguts festlegen. Zusätzlich kann vereinbart werden, dass der Verwerter die Erlangung eines Produktstatus für geeignete Fraktionen anstrebt und hierfür die erforderlichen Nachweis-, Prüf- und Dokumentationspflichten erfüllt. Diese Verpflichtung ist rechtssicher als Bemühenspflicht auszugestalten und nicht als Erfolgspflicht.

**5.3 Genehmigung der Anlage:** Die Behandlung/Aufbereitung darf ausschließlich in Anlagen erfolgen, deren Genehmigungsumfang die vorgesehenen Verfahren (vgl. Pflichtenheft, Tabelle 10) abdeckt. Ausschlaggebend sind i. d. R. die Genehmigungsanforderungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes <sup>[6]</sup> bzw. der 4. BImSchV <sup>[7]</sup> (inkl. Nebenbestimmungen zu Emissionen, Stoffannahme, Betriebszeiten, Eigenüberwachung) sowie ergänzende wasserrechtliche Vorgaben nach dem Wasserhaushaltsgesetz <sup>[34]</sup> für Prozesswässer und Einleitungen. Änderungen des Verfahrens oder der eingesetzten Stoffe sind vorab genehmigen zu lassen. Der Betrieb außerhalb des Genehmigungsumfangs ist unzulässig.

**5.4 Durchführung einer fachlichen Eingangskontrolle:** Der Verwerter hat eine mehrstufige Annahme- und Eingangskontrolle zu etablieren: (i) formale Plausibilitätsprüfung der Begleitpapiere (Abfallschlüssel nach der Abfallverzeichnis-Verordnung <sup>[59]</sup>, Mengen, Herkunft), (ii) visuelle Kontrolle auf Fremd- und Störstoffe, (iii) risikobasierte Probenahmen und Schnelltests sowie (iv) Freigabe zur Behandlung gemäß Annahmekriterien der Anlage. Abweichungen sind zu dokumentieren und führen zu Sperrung, Umlenkung oder Rückweisung. Für gefährliche Abfälle gelten erhöhte Identitätsprüfungen und Nachweispflichten nach der Nachweisverordnung <sup>[130]</sup>.

**5.5 Rechts- und normgerechter Anlagenbetrieb:** Der laufende Betrieb hat grundsätzlich dem Stand der Technik zu entsprechen und die Nebenbestimmungen der Genehmigung umzusetzen. Im Anlagenbetrieb sind getrennte Stoffströme für unterschiedliche Materialqualitäten sicherzustellen. Durch geeignete logistische, bauliche und verfahrenstechnische Maßnahmen sind Verschleppungen oder Vermischungen mit schadstoffbelasteten Materialien vollständig auszuschließen. Die Wirksamkeit der Aufbereitungs- und Behandlungsschritte ist im Hinblick auf die angestrebte Verwertungsoption kontinuierlich nachzuweisen. Hierzu ist eine werkseigene Produktionskontrolle einzurichten, die die Einhaltung der qualitätsrelevanten Parameter dokumentiert und eine rückverfolgbare Zuordnung von Chargen ermöglicht. Die Funktionstüchtigkeit und Effektivität technischer Schutzeinrichtungen, z. B. zur Begrenzung von Lärm-, Geruchs- und Staubemissionen oder zur Behandlung von Prozesswässern, muss durch ein regelmäßiges Monitoring belegt werden. Im Weiteren sind dazu Gefährdungsbeurteilungen auszustellen und geeignete Schutzmaßnahmen festzulegen. Hierzu zählen u. a. die Bereitstellung und Nutzung persönlicher Schutzausrüstung, regelmäßige Schulungen des Personals sowie die Erstellung und Aktualisierung von Notfall- und Havariekonzepten für Störfälle und Unfälle mit Gefahrstoffen. Der Anlagenbetreiber hat behördliche Kontrollen sowie Fremdüberwachungen zu dulden und aktiv zu unterstützen. Störungen, Abweichungen vom genehmigten Betrieb oder relevante

Ereignisse sind unverzüglich zu melden. Behördliche Anordnungen sind fristgerecht umzusetzen und zu dokumentieren. Die lückenlose Dokumentation erfolgt vornehmlich in Form eines Betriebstagebuchs, in dem Vermerke zu den Mengenbilanzen, Analyseergebnissen, Nachweisen über Abgaben oder sonstige Einsatzwege sowie Protokolle und archivierte Unterlagen zu finden sind. Die Aufbewahrung hat mindestens über den rechtlich geforderten Zeitraum von drei Jahren zu erfolgen und muss revisionssicher ausgestaltet sein.

**Tabelle 23.** Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 5: Behandlung durch Verwerter

<i>Phase 5: Behandlung durch Verwerter</i>	
<input type="checkbox"/> 5.1 Ende des Verantwortungsbereichs des Abfallerzeugers	Bestätigung aller Punkte: - Korrekte qualitative und quantitative Beschreibung des Materials - Richtige Abfalleinstufung des Baggerguts - Plausible Verwertungsentscheidung - Rechtliche Zulässigkeit des Verwertungswegs - Auswahl eines objektiv geeigneten und rechtlich zugelassenen Verwerter - Vollständiger Abschluss des Abtransports des Materials unter vollständigem Nachweis und Dokumentation sowie mängelfreier Leistungserbringung - Ordnungsgemäße und bestätigte vollständige Annahme des Baggerguts durch Verwerter (Erfüllung der Primärpflicht zur Überlassung und vollständige formale Abwicklung des Entsorgungsnachweises) - Keine Anhaltspunkte zu Mängeln oder Fehlverhalten des Verwerter - Erfüllung aller sonstigen Sorgfaltspflichten durch den Abfallerzeuger
<input type="checkbox"/> 5.2 Verantwortungswechsel zu Verwerter	- Nach Übergabe i. d. R. abfallrechtlich eigenverantwortliche Entscheidung des Verwerter (unter Abwägung von Abfallhierarchie und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses), ob Verwertung, Vorbehandlung oder Beseitigung erfolgt - Abfallerzeuger kann über privatrechtlichen Verwertungsvertrag mit Verwerter unter Wahrung der Genehmigungskonformität und objektiver technischer Durchführbarkeit verbindlich regeln, → dass die Verwertung vor der Beseitigung zu erfolgen hat, aber die Beseitigung als ultima ratio nicht ausschließt, → welche Behandlungsverfahren innerhalb der Anlagengenehmigung des Verwerter anzuwenden sind, → dass ein Produktstatus mit entsprechenden Nachweis- und Dokumentationspflichten anzustreben ist ohne Garantie des Abfallendes und ohne Zwang zur Vermarktung ohne gesicherte Produktkonformität oder Verstoß gegen Einsatzbeschränkungen (Schulden des Bemühens, nicht des Erfolgs) - Im Falle einer Übergabe von gefährliche Abfall unterliegt der Verwertungsweg der behördlichen Genehmigung (Entsorgungsnachweis) → faktischer Zwang zur Verwertung → aber kein Zwang zur Produktbildung → Abweichende Beseitigung anzeige- und begründungspflichtig
<input type="checkbox"/> 5.3 Genehmigung der Anlage (Tabelle 17)	- Bauartzulassung der Anlage - Eignungsnachweis der Anlage - Vorliegen einer immissionsschutzrechtlichen oder ggf. wasserrechtlichen Anlagengenehmigung mit der im Genehmigungsbescheid genannten Abfallschlüssel 170506 und/oder 170505* sowie den darin genannten zulässigen Behandlungsschritten und Durchsatzmengen und Einhaltung aller Nebenbestimmungen
<input type="checkbox"/> 5.4 Durchführung einer fachlichen Eingangskontrolle	- Sichtprüfung (Konsistenz, Fremdstoffe), organoleptische Prüfung (Geruch), Plausibilitätsprüfung der Analytik, Rückstellproben
<input type="checkbox"/> 5.5 Rechts- und normgerechter Anlagenbetrieb (Tabelle 17)	- Gewährleistung getrennter Stoffströme und logistische und technische Vermeidung von Schadstoffverlagerungen, Querkontaminationen oder Vermischungen unterschiedlicher Materialqualitäten innerhalb des Anlagenbetriebs und im Rahmen der Lagerung der Ausgangsstoffe, Zwischenprodukte und Produkte - Qualitätskontrolle und Produktverantwortung durch Nachweis der Wirksamkeit der Aufbereitungs-/Behandlungsschritte mit Blick auf die Zielstellung der Verwertung im Rahmen einer werkseigenen Produktionskontrolle - Durch Monitoring nachgewiesene Funktionstüchtigkeit und Wirksamkeit von Abdichtungen sowie Rückhalte- und/oder Behandlungssystemen für Lärm, Geruch, Staub, Abluft, Prozesswasser, Abwasser, Sickerwasser in der Anlage und auf Lagerflächen - Arbeitsschutz und Gefahrstoffmanagement (Gefährdungsbeurteilung, persönliche Schutzausrüstung, Schulung des Personals, Erstellung von Notfall- und Harvarekonzepten) - Behördenkommunikation und Überwachung (Duldung und Unterstützung von Kontrollen bzw. Fremdüberwachung, Meldung von Störungen oder Abweichungen, Umsetzung behördlicher Anordnungen) - Vollständige Dokumentation und Nachweisführung (Betriebstagebuch, Mengenbilanzen, Analyseergebnisse, Nachweise über Abgabe oder anderweitigen Einsatz, Protokollierung und Archivierung für mindestens drei Jahre)

## 6. Vermarktung durch Verwerter, Hersteller oder Inverkehrbringer (Tabelle 24):

**6.1 Feststellung des Abfallendes durch den Verwerter:** Voraussetzung für jede Vermarktung ist, dass die Abfalleigenschaft nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz <sup>[2]</sup> rechtssicher beendet wird. Der Verwerter muss nachweisen, dass das aufbereitete Material

- für bestimmte Zwecke einsetzbar ist,
- eine Nachfrage bzw. einen Markt hat,
- die für den jeweiligen Verwendungszweck geltenden technisch-normativen Anforderungen und Rechtsvorschriften vollumfänglich erfüllt und
- in der Handhabung und in der Zielanwendung zu keinen Gesundheitsbeeinträchtigungen und zu keinen schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt führt.

Dies erfordert ein belastbares Qualitätsmanagement (werkseigene Produktionskontrolle und Fremdüberwachung), repräsentative Analytik durch akkreditierte Labore und Prüfinstitute sowie definierte Produkt- bzw. Leistungsspezifikationen und eine Konformitätsbewertung. Ohne hinreichend dokumentierte Nachweise bleibt das Material rechtlich Abfall, wodurch in diesem Falle die Vermarktung unzulässig wäre.

**6.2 Erfüllung produktrechtlicher Anforderungen:** Nach Eintritt des Abfallendes greifen die jeweiligen Produktregime je nach Verwertungsweg. Für den Einsatz mineralischer Ersatzbaustoffe (als Schüttgut) sind die Vorgaben der Ersatzbaustoffverordnung <sup>[3]</sup> einzuhalten. Für bauaufsichtlich relevante Produkte (Ersatzbaustoffe, Bauprodukte, Hintermauerziegel) gelten die Anforderungen der EU-Bauproduktenverordnung <sup>[12]</sup> (mit werkseigener Produktionskontrolle, Leistungserklärung und CE-Kennzeichnung bei harmonisierten Normen). Für bodenbezogene Produkte müssen die bodenschutzrechtlichen Anforderungen des Bundes-Bodenschutzgesetzes <sup>[33]</sup> und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung <sup>[4]</sup> gewährleistet werden. Bei einer Vermarktung als Düngemittel/Bodenverbesserer kommen noch die Vorgaben der Düngemittelverordnung <sup>[5]</sup> hinzu. Der Hersteller muss die Rechts- und Normkonformität, die gleichbleibende Qualität und die Rückverfolgbarkeit sicherstellen. Dabei ist zu beachten, dass die Produkte chargenweise zu kennzeichnen sind und eine vollständige Rückverfolgbarkeit zu Lieferketten, Ausgangsmaterialien, Behandlungsverfahren und relevanten Prozessparametern gewährleistet wird. Es sind kontinuierliche Produktions- und Produktkontrollen durchzuführen, um die Einhaltung der produktspezifischen Qualitätsanforderungen sicherzustellen. Abweichungen sind systematisch zu erfassen und zu korrigieren. Die Konformität ist mit einschlägigen technischen Regelwerken (Normen, Richtlinien, technische Spezifikationen) durch Prüfzeugnisse und Eignungsnachweise zu belegen. Bei Abweichungen von geltenden Normen und Richtlinien muss eine externe produktbezogene Zulassung oder Bewertung erfolgen. Die Unbedenklichkeit der Verwendung ist nachzuweisen. Soweit erforderlich, sind produktspezifische Einsatzbeschränkungen auszuweisen (z. B. Einschränkung auf bestimmte Bauweisen, Ausschluss empfindlicher Einsatzorte, Vorgaben zur Einbausituation).

**6.3 Erfüllung der Informationspflichten gegenüber Kunden durch den Inverkehrbringer:** Der Inverkehrbringer (Hersteller oder Händler) hat transparente, zutreffende Produktinformationen und überprüfbare Angaben zur Zweckbestimmung, zu zulässigen Einsatzbereichen sowie zur Verarbeitung bereitzustellen. In der Bautechnik sind das konkret die Leistungserklärung, die Angabe der Brandschutzklassen, die CE-Kennzeichnung und die Identifikation des Herstellers. Die Zweckbestimmung muss eindeutig benannt werden. Hierzu gehören die vorgesehene Hauptfunktion des Produktes sowie die vorgesehenen technischen Eigenschaften gemäß der Leistungserklärung und Anwendungsziele. Abweichende oder nicht geprüfte Nutzungen sind ausdrücklich auszuschließen. Außerdem sind Nutzungseinschränkungen oder Verbote zu präzisieren, beispielsweise hinsichtlich der Verwendung eines mineralischen Ersatzbaustoffs in einem Wasserschutzgebiet. Im Weiteren sind verbindliche Hinweise zur sachgerechten Verarbeitung und zum umweltgerechten Umgang bereitzustellen. Diese umfassen u. a. die Anforderungen an den Transport, die Lagerung, den Einbau, die zulässige Verdichtung, Beschränkungen der Witterungsbedingungen sowie Maßnahmen zur Emissionsminderung (Staub, Sickerwasser). Ziel ist es, mögliche Fehlanwendungen zu vermeiden. Diese Informationspflichten sind Teil der Marktüberwachung und wirken haftungsreduzierend.

**6.4 Haftungsabgrenzung:** Der Verwerter/Hersteller haftet für die rechtssichere Feststellung des Abfallendes, die Produktspezifikation, die Konformität und die gleichbleibende Qualität (Produkt- und Produzentenhaftung). Der Inverkehrbringer/Händler haftet für richtige Kennzeichnung, vollständige Informationen und die Weitergabe von Beschränkungen/Anwendungsgrenzen. Der Verwender trägt Verantwortung für den bestimmungsgemäßen Einsatz.

**Tabelle 24.** Leitfaden für die Verwertung von Baggergut – Phase 6: Vermarktung durch Verwerter, Hersteller oder Inverkehrbringer

<i>Phase 6: Vermarktung durch Verwerter, Hersteller oder Inverkehrbringer</i>	
<input type="checkbox"/> 6.1 Feststellung des Abfallendes durch Verwerter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachweis, dass das Material ein konkretes Verwendungsziel hat, ein Markt bzw. eine Nachfrage besteht, das Erzeugnis die technischen und rechtlichen Produktanforderungen erfüllt und die Verwendung keine schädlichen Auswirkungen hat</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 6.2 Erfüllung produktrechtlicher Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chargierung des Erzeugnisses und Rückverfolgbarkeit zu Lieferketten, Ausgangsmaterialien und der Behandlung</li> <li>- Laufende Produktions- und Produktkontrollen</li> <li>- Nachweis und Dokumentation der Konformität zu technischen Regelwerken durch Erstellung von Prüfzeugnissen und Eignungsnachweisen</li> <li>- Nachweis der Unbedenklichkeit der Verwendung, ggf. unter Ausweisung von Einsatzbeschränkung</li> <li>- Ggf. externe Zulassung des Erzeugnisses als Produkt bei Abweichung von Normen und Richtlinien</li> <li>- CE-Kennzeichnung bei Produkt, das unter eine harmonisierte Norm fällt, mit Leistungserklärung, Nachweis der werkseigenen Produktionskontrolle und Fremdüberwachung</li> <li>- Vorhaltung der Prüfberichte und Lieferdokumente (für mindestens fünf Jahre)</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 6.3 Erfüllung der Informationspflichten gegenüber Kunden durch Inverkehrbringer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausweisung der Zweckbestimmung des Produktes</li> <li>- Benennung der zulässigen Einsatzbereiche und ggf. Ausweisung von Nutzungseinschränkungen und Verbote</li> <li>- Hinweise zur Verarbeitung</li> </ul>
<input type="checkbox"/> 6.4 Haftungsabgrenzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produkthaftung, z. B. aufgrund eines Produktionsfehlers, i. d. R. durch Hersteller</li> <li>- Gewährleistung gegenüber Kunden durch Inverkehrbringer</li> <li>- Deliktische Haftung durch Hersteller, z. B. aufgrund von Produktfehler, oder durch Inverkehrbringer, z. B. aufgrund unzureichender Produktinformationen</li> <li>- Primäre Verantwortlichkeit des Inverkehrbringers bei Rückrufen oder Nutzungsuntersagungen durch Behörden, ggf. auch Verantwortlichkeit und Ingressnahme des Verwerter/Herstellers bei Herstellungsfehlern</li> </ul>

## 5 ERGÄNZENDER INHALT GEMÄß NKBF 2017

### 5.1 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Kosten- und Zeitrahmen des Projekts wurde eingehalten. Der größte Teil der Aufwendungen entfiel auf das Personal zur Bearbeitung der Arbeitspakete. Untergeordnet wurden auch Reise-mittel benötigt, hauptsächlich für die Teilnahme an den Projektsitzungen und am Symposium zum Management von Sedimenten aus Seen und Stauanlagen in Freiberg (26.06.2025).

### 5.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die im Projekt geleistete Arbeit war erforderlich und angemessen. Es wurden die rechtlichen und technischen Grundlagen für verschiedene Verwertungsstrategien für kontaminierte sub-hydrische Sedimenten erarbeitet. Dafür waren umfangreiche Recherchen zu den rechtlichen und technisch-normativen Anforderungen an die Baggergutverwertung erforderlich. Ergänzend wurden die Befunde der Sedimentuntersuchungen aus den beprobten Stauhaltungen fachlich ausgewertet und hinsichtlich ihrer Bedeutung für mögliche Verwertungsoptionen evaluiert. Die darauf aufbauenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ermöglichten eine belastbare Gegenüberstellung technischer Varianten und Entsorgungswege. Im Weiteren wurden die experimentellen Verfahrensansätze der Projektpartner aus wissenschaftlich-technischer Sicht begleitet.

### 5.3 Nutzbarkeit der Ergebnisse

Die PICON GmbH plant und betreut Sedimentberäumungsmaßnahmen. Der Erkenntnisgewinn aus diesem Projekt fließt in die Bearbeitung künftiger Projekte ein und eröffnet dadurch die Möglichkeit für die praktische Umsetzung der entwickelten Verwertungsstrategien.

### 5.4 Fortschritte bei anderen Stellen

Im Rahmen des rEComine-Bündnisses wurden in mehreren Projekten verschiedene Strategien zur Gewinnung von Wertstoffen aus vergleichbar bergbaulich kontaminierten Sedimenten und Reststoffen erarbeitet und getestet. Die teils pilotierten Ansätze, z. B. auf Basis der Biolaugung und andere Wertstoffgewinnungsverfahren, sind auch prinzipiell für metall(oid)belastete subhydrische Sedimente interessant und wahrscheinlich anwendbar. Die synergistische Nutzung des in diesem Forschungsverbund erarbeiteten Know-hows wird daher in zukünftigen Projekten angestrebt.

Die erarbeiteten Verwertungsstrategien basieren auf geltenden Normen und rechtlichen Regelungen. Beides unterliegt einer stetigen Aktualisierung. Eine der für Baggergut zentralen Verordnungen ist die Ersatzbaustoffverordnung <sup>[3]</sup>, die 2023 in Kraft trat. Nach etwa zweijähriger Gültigkeit gibt es vermehrte Bestrebungen nach einer Reform. Zuletzt forderte der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie in einem Positionspapier eine Korrektur in zehn Punkten <sup>[200]</sup>. Die Auswirkungen einer Novellierung wird bei künftigen Sedimentberäumungsmaßnahmen zu beachten sein.

### 5.5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die PICON GmbH hat die Ergebnisse auf dem Symposium zum Management von Sedimenten aus Seen und Stauanlagen am 26.06.2025 mit einem Vortrag zu den rechtlichen und praktischen Aspekten zur rohstofflichen Erschließung von Sedimenten in Stauanlagen präsentiert.

Weiterhin hat die PICON GmbH als Co-Autor im Rahmen des 27. Symposiums „Strategien zur Sanierung von Boden und Grundwasser 2025“ in Frankfurt am Main bei der Publikation: C. Hartmann et al. „Recycling von subhydrischen Sedimenten. Praktische und rechtliche Aspekte zur bodennahen und baustofftechnischen Verwertung von Sedimenten aus Stauanlagen am Beispiel der Revierwasserlaufanstalt Freiberg, Sachsen, Deutschland“ mitgewirkt.

Die PICON GmbH nimmt die Erkenntnisse des Projektes in die Gremienarbeit der DWA im Bereich der Gewässerunterhaltung mit auf.

Perspektivisch plant die PICON GmbH weitere Teilnahmen an Symposien wie dem „Rostocker Baggergutseminar“ und wird in diesem Rahmen die Ergebnisse dieses Projektes der interessierten Öffentlichkeit zugänglich machen.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DWA-M 513-1 (2019). Umgang mit Sedimenten und Baggergut bei Gewässerunterhaltung und Gewässerausbau – Teil 1: Handlungsempfehlungen und Untersuchungsprogramm. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef. [[Link](#)]
- [2] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen – Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG (2012, in der Fassung von 2023). [[Link](#)]
- [3] Ersatzbaustoffverordnung – ErsatzbaustoffV (2021, in der Fassung von 2023). Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralischen Ersatzbaustoffen in technische Bauwerke. [[Link](#)]
- [4] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV (2021/2023). [[Link](#)]
- [5] Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln - Düngemittelverordnung – DüMV (2012, in der Fassung von 2019). [[Link](#)]
- [6] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge – Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG (1974, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [7] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV (2013, in der Fassung von 2024). [[Link](#)]
- [8] Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft (2021). [[Link](#)]
- [9] DIN 4226-101:2025-11. Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620-Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [10] DIN EN 206:2021-06. Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [11] DIN EN 12620:2008-07. Gesteinskörnungen für Beton. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [12] Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. [[Link](#)]
- [13] Verordnung über den Versatz von Abfällen unter Tage – Versatzverordnung – VersatzV (2002, in der Fassung von 2012). [[Link](#)]
- [14] Meyer, N., Goldmann, D., Holm, B. (2015-2018). FuE-Verbundprojekt „Recycling bergbaulicher Aufbereitungsrückstände zur Gewinnung Wirtschaftsstrategischer Metalle am Beispiel der Tailings am Bollrich – REWITA“. Technische Universität Clausthal, Institute of Geo-Engineering et al. Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 033R136G. [[Link](#)], Zugriff 02/26.
- [15] Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003. [[Link](#)]
- [16] Abriak, Y., Maherzi, W., Benzerzour, M., Senouci, A., Rivard, P. (2023). Valorization of Dredged Sediments and Recycled Concrete Aggregates in Road Subgrade Construction. *Buildings*, 13 (3), 646. [[Link](#)]
- [17] Oing, K. (2019). Suitability of Processed Dredged Material from the Hamburg Harbor for Dike Construction. Dissertation, Universität Hamburg. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten*, Band 94. [[Link](#)]
- [18] Chu, C., Deng, Y., Zhou, A., Feng, Q., Ye, H., Zha, F. (2018). Backfilling performance of mixtures of dredged river sediment and iron tailing slag stabilized by calcium carbide slag in mine goaf. *Constr. Build. Mater.*, 189, 849-856. [[Link](#)]
- [19] Silveira, T.M., Frazão Santos, C., Andrade, F. (2013). Beneficial use of dredged sand for beach nourishment and coastal landform enhancement - the case study of Tróia, Portugal. *J. Coast. Conserv.*, 17, 825-832. [[Link](#)]



- [20] Studer, R.G. (2001). Method for treatment of dredged materials to form a structural fill. Patent US6293731B1. [\[Link\]](#)
- [21] van der Zon, W.H., van de Hoek, E.E., Molendijk, W.O., Aantjes, A.T. (2008). Construction Material Based Upon a Sludge or Sludged Waste Material. Patent US2008210135A1. [\[Link\]](#)
- [22] van Riel, M.C., Vonk, J.A., Verdonschot, R.C.M., Ferrús Muñoz, J.F., Verdonschot, P.F.M. (2022). Using dredged sediments to support wetland plant development in a constructed delta lake. *Ecol. Eng.*, 178, 106568. [\[Link\]](#)
- [23] Kiani, M., Raave, H., Simojoki, A., Tammeorg, O., Tammeorg, P. (2021). Recycling lake sediment to agriculture: Effects on plant growth, nutrient availability, and leaching. *Sci. Total Environ.*, 753, 141984. [\[Link\]](#)
- [24] Ferrans, L., Schmieder, F., Mugwira, R., Marques, M., Hogland, W. (2022). Dredged sediments as a plant-growing substrate: Estimation of health risk index. *Sci. Total Environ.*, 846, 157463. [\[Link\]](#)
- [25] Fan, C., Wang, Z., Zhou, Q. (2011). Dredged sediment based plant adaptability matrix and ecological restoration method of bare slope. Patent CN102229485A. [\[Link\]](#)
- [26] Wilhelm, H.J., Wilms, U. (2016). Verfahren zur Herstellung von Pflanz- oder Blumenerden, oder Spezialerden sowie diesbezügliche Erden selbst. Patent DE102014019350A1. [\[Link\]](#)
- [27] Bortali, M., Rabouli, M., Yessari, M., Hajjaji, A. (2023). Characterizing Harbor Dredged Sediment for Sustainable Reuse as Construction Material. *Sustainability*, 15 (3), 1834. [\[Link\]](#)
- [28] Liu, R., Coffman, R. (2016). Lightweight Aggregate Made from Dredged Material in Green Roof Construction for Stormwater Management. *Materials*, 9 (8), 611. [\[Link\]](#)
- [29] Ferrans, L., Jani, Y., Hogland, W. (2021). Chemical extraction of trace elements from dredged sediments into a circular economy perspective: Case study on Malmfjärden Bay, south-eastern Sweden. *Resour. Environ. Sustain.*, 6, 100039. [\[Link\]](#)
- [30] Dockx, J., Vandekeybus, J., Snellings, R., Horckmans, L., Cizer, Ö, Vandewalle, L., van Balen, K. (2016). Supplementary Cementitious Materials Comprising Dredged Sediments. Patent WO2016198176. [\[Link\]](#)
- [31] Yan, W., Yan, Z., Rui, J., Hao, Y. (2015). Casing method of dredging sediment non-sintered ceramics. Patent CN105130235A. [\[Link\]](#)
- [32] Verordnung über Deponien und Langzeitlager – Deponieverordnung- DepV (2009, in der Fassung von 2024). [\[Link\]](#)
- [33] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten – Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG (1998, in der Fassung von 2021). [\[Link\]](#)
- [34] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – Wasserhaushaltsgesetz – WHG (2009, in der Fassung von 2026). [\[Link\]](#)
- [35] Sächsisches Wassergesetz – SächsWG (2013, in der Fassung von 2025). [\[Link\]](#)
- [36] Musterbauordnung – MBO (2002, in der Fassung von 2024). [\[Link\]](#)
- [37] Sächsische Bauordnung – SächsBO (2016, in der Fassung von 2024). [\[Link\]](#)
- [38] Verordnung der Landesdirektion Chemnitz zur Festlegung des Bodenplanungsgebietes „Raum Freiberg“ (2011). [\[Link\]](#)
- [39] ISO 5667-12:2017-07. Wasserbeschaffenheit - Probenahme - Teil 12: Anleitung zur Probenahme von Sedimenten aus Fließgewässern, Seen und Ästuarbereichen. DIN Media, Berlin. [\[Link\]](#)
- [40] Gründig, K. (2010). Handlungsanleitung zum Umgang mit Sedimenten in der Landestalsperrenverwaltung Sachsen.
- [41] Witt-Hock, J. (1997). Probenahme von Boden und Abfall im Rahmen der Altlastenbearbeitung. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Abteilung 5 Boden Abfall Altlasten, Referat 54 Sanierung von Altlasten und Grundwasserschadensfällen, Sachgebiet 54.1 Erkundung, Überwachung. [\[Link\]](#)
- [42] Lazorchak, J., Josephs, J. (2003). A Compendium of Chemical, Physical and Biological Methods for Assessing and Monitoring the Remediation of Contaminated Sediment Sites. U.S. Environmental Protection Agency EPA. Prepared by Batelle Memorial Institute, Duxbury. [\[Link\]](#)



- [43] Hilgert, S., Sotiri, K., Fuchs, S. (2024). Review of methods of sediment detection in reservoirs. *Int. J. Sediment Res.*, 39 (1), 28-43. [[Link](#)]
- [44] Ruck, K.-W. (1977). Sondierungen zur Erkundung unterhalb der Gewässersohle von schwimmender Arbeitsplattform. *Mitt. Bl. d. BAW*, 41, 123-142. [[Link](#)]
- [45] KC Denmark Research Equipment. Piston Corer. [[Link](#), abgerufen 01/26]
- [46] Ocean Scientific International – OSIL. Piston Corer. [[Link](#), abgerufen 01/26]
- [47] DIN EN-933-1:2012-03. Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [48] DIN EN 933-3:2012-04. Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 3: Bestimmung der Kornform – Plattigkeitskennzahl. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [49] DIN EN 933-4:2015-01. Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 4: Bestimmung der Kornform – Kornformkennzahl. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [50] DIN EN 933-5:2023-01. Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 5: Bestimmung des prozentualen Anteils an gebrochenen Körnern in groben Gesteinskörnungen und Gesteinskörnungsgemischen. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [51] DIN EN 933-6:2023-03. Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 6: Beurteilung der Oberflächeneigenschaften – Fließkoeffizienten von Gesteinskörnungen. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [52] DIN EN 933-8:2015-07. Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 8: Beurteilung von Feinanteilen – Sandäquivalent-Verfahren. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [53] DIN EN 933-9:2022-04. Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 9: Beurteilung von Feinanteilen – Methylenblau-Verfahren. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [54] DIN EN 933-11:2011-05. Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 11: Einteilung der Bestandteile in grober recycelter Gesteinskörnung. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [55] DIN EN 771-1:2015-11. Festlegungen für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [56] DIN EN 12457-2:2003-01. Charakterisierung von Abfällen - Auslaugung; Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen - Teil 2: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg und einer Korngröße unter 4 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung). DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [57] DIN EN 12457-4:2003-01. Charakterisierung von Abfällen - Auslaugung; Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen - Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngröße unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung). DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [58] Cradle to Cradle Certified®. Cradle to Cradle Products Innovation Institute, San Francisco, USA, Amsterdam, Niederlande. [[Link](#)]
- [59] Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis – Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV (2001, in der Fassung von 2020) [[Link](#)]
- [60] DIN EN ISO/IEC 17025:2018-03. Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [61] DIN EN ISO 10390:2022-08. Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung des pH-Werts. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [62] DIN EN 27888:1993-11. Wasserbeschaffenheit; Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [63] DIN EN ISO 11260:2018-11. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität und der Basensättigung unter Verwendung von Bariumchloridlösung. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [64] DIN ISO 11271:2023-11. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Redox-Spannung – Feldverfahren. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]



- [65] DIN 19731:2023-10. Bodenbeschaffenheit – Verwertung von Bodenmaterial und Baggergut. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [66] TL BuB E-StB 20/23 (2020/2023). Technische Lieferbedingungen für Bodenmaterialien und Baustoffe für den Erdbau im Straßenbau. Technische Regelwerke. FGSV-Nr. 597. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Köln. ISBN 978-3-86446-374-7. [[Link](#)]
- [67] ZTV E-StB 17 (2017). Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. Technische Regelwerke. FGSV-Nr. 599. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Köln. ISBN 978-3-86446-188-0. [[Link](#)]
- [68] DIN 19639:2019-09. Bodenschutz bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [69] DIN 18915:2018-06. Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [70] DIN EN ISO 14240-1:2011-09. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der mikrobiellen Biomasse von Böden - Teil 1: Substrat-induziertes Respirationsverfahren. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [71] DIN EN ISO 11269-1:2013-03. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Wirkungen von Schadstoffen auf die Bodenflora - Teil 1: Verfahren zur Messung der Wurzelwachstumshemmung. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [72] DIN EN ISO 11268-1:2015-11. Bodenbeschaffenheit - Wirkungen von Schadstoffen auf Regenwürmer - Teil 1: Bestimmung der akuten Toxizität auf Eisenia fetida/Eisenia andrei. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [73] Normenausschuss NA 057-03-01 AA. Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate. [[Link](#)]
- [74] DIN EN ISO 14040:2021-02. Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [75] DIN EN 15804:2022-03. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [76] DIN 19528:2023-07. Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [77] DIN EN 13286-47:2022-01. Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische - Teil 47: Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio), des direkten Tragindex (IBI) und des linearen Schwellwertes. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [78] DIN 18196:2023-02. Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [79] RAL-GZ 507:2023-04. Flüssigboden – Gütesicherung. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [80] DIN 1045-2:2023-08. Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [81] DAfStb-Richtlinie (2019). Anforderungen an Ausgangsstoffe zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton - DAfStb. Beuth Verlag GmbH, Berlin. [[Link](#)]
- [82] DIN EN 197-1:2011-11. Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [83] DIN EN 998-1:2017-02. Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [84] DIN EN 998-2:2017-02. Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 2: Mauermörtel. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [85] DIN 20000-401:2017-01. Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 401: Regeln für die Verwendung von Mauerziegeln nach DIN EN 771-1:2015-11. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [86] Die Revierwasserlaufanstalt Freiberg (2021). Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen. [[Link](#)], Zugriff 02/26



Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

- [87] Auftragsanalytik aus den Jahren 2024 (Freiberger Hüttenteich, Unterer Großhartmannsdorfer Teich, Vorsperre Forchheim, Vorsperre Dittersbach) bzw. 2019 (Vorsperre Dobeneck), durchgeführt von der GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Freiberg.
- [88] Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Letzte Änderung vom 26.09.2025. [[Link](#)]
- [89] Verordnung (EU) Nr. 1357/2014 der Kommission vom 18. Dezember 2014 zur Ersetzung von Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. [[Link](#)]
- [90] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. [[Link](#)]
- [91] Geochemische Übersichtskarte. iDA Workbook – interdisziplinäre Daten und Auswertung. Datenportal für Sachsen. Herausgeber Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden. [[Link](#)], Zugriff 02/26.
- [92] Adamek, J. (2023). Körnungslinien von 15 Linerproben vom Freiberger Hüttenteich nach DIN EN ISO 17892-4:2017-04. GeoWiD GmbH, Freiberg.
- [93] Köhler, R. (2023). Ausgewählte Eigenschaften von Teichsedimenten. KI Keramik-Institut GmbH, Meißen.
- [94] Wyrzykowski, D., Chmurzyński, L. (2010). Thermodynamics of citrate complexation with  $Mn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  ions. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 102, 61-64. [[Link](#)]
- [95] Bertoli, A.C., Carvalho, R., Freitas, M.P., Ramalho, T.C., Mancini, D.T., Oliveira, M.C., de Varennes, A., Dias, A. (2015). Structural determination of Cu and Fe-Citrate complexes: theoretical investigation and analysis by ESI-MS. *J. Inorg. Biochem.*, 144, 31-37. [[Link](#)]
- [96] Guseva, P.B., Badikov, A.R., Kadygrob, E.D., Saitov, Y.E., Bogachev, N.A., Skripkin, M.Y., Pestova, O.N., Mereshchenko, A.S. (2023). Complexation of lanthanide ions with citric acid in aqueous solutions. *Russ. J. Gen. Chem.*, 93 (12), 1951-1959. [[Link](#)]
- [97] BROWIN Online-Shop. Zitronensäure Monohydrat 100 %. Łódź, Polen. [[Link](#)], Zugriff 02/26.
- [98] Adamek, J. (2023). Körnungslinien von vier Linerproben vom Unteren Großhartmannsdorfer Teich nach DIN EN ISO 17892-4:2017-04. GeoWiD GmbH, Freiberg.
- [99] Köhler, R. (2025). Mündliche Mitteilung 12/25. KI Keramik-Institut GmbH, Meißen.
- [100] Elsner, H. (2022). Sand und Kies in Deutschland. Band I: Grundlagen. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. ISBN 978-3-948532-65-9. [[Link](#)]
- [101] Radenberg, M., Flottmann, N. (2012). Bewertung der Frostempfindlichkeit von RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten. Gesteinstagung 2012 (FGSV M 11), Köln. [[Link](#)]
- [102] DIN 18919:2016-12. Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Instandhaltungsleistungen für die Entwicklung und Unterhaltung von Vegetation (Entwicklungs- und Unterhaltungspflege). DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [103] Antragsformular zur Beantragung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ), einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) mit allgemeiner Bauartgenehmigung (bBG) oder einer allgemeinen Bauartgenehmigung. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin. [[Link](#)], Zugriff 01/26.
- [104] eANV-Portal. Rechtssichere Entsorgung von Abfällen im Portal verwalten. [[Link](#)], Zugriff 01/26
- [105] Köhler, R. (2023). Korn- und Mineralienanalysen sowie Analysen des biogenen Kohlenstoffs nach DIN EN ISO 21644:2021-07 (LGU Laborgesellschaft für Umweltschutz mbH, Hartha) von Proben vom Freiberger Hüttenteich, Unteren Großhartmannsdorfer Teich und der Vorsperre Dittersbach. KI Keramik-Institut GmbH, Meißen.
- [106] Schieritz, R. (2023). Nährstoffanalysen von Proben vom Freiberger Hüttenteich, Unteren Großhartmannsdorfer Teich und der Vorsperre Dittersbach (2023). Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH, Markranstädt.

Gefördert durch:





Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

- [107] DIN EN 21644:2021-07. Feste Sekundärbrennstoffe – Verfahren zur Bestimmung des Gehalts an Biomasse. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [108] Köhler, R. (2024). Präsentation beim 4. Projektmeeting, 07.02.2024, Freiberg. KI Keramik-Institut GmbH, Meißen.
- [109] Muchow, N., Knappe, F., Reinhardt, J. (2024). Ziegel – Roadmap zur Ressourceneffizienz. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. [[Link](#)]
- [110] Köhler, R. (2023). Anforderungen an Rohstoffe der Ziegelindustrie bei der Anwendung von Talsperren-Sedimenten. Mitteilung an PICON GmbH. KI Keramik-Institut GmbH, Meißen.
- [111] Köhler, R. (2024). Präsentation beim 5. Projektmeeting, 22.05.2024, Meißen. KI Keramik-Institut GmbH, Meißen.
- [112] Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen – Brennstoffemissionshandelsgesetz – BEHG (2019, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [113] Fünfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über Immissionsschutz- und Störfallbeauftragte – 5. BImSchV (1993, in der Fassung von 2015). [[Link](#)]
- [114] Verordnung über Entsorgungsfachbetriebe, technische Überwachungsorganisationen und Entsorgungsgemeinschaften – Entsorgungsfachbetriebeverordnung – EfbV (2016, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [115] Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer – Abwasserverordnung – AbwV (1997, in der Fassung von 2024). [[Link](#)]
- [116] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen – AwSV (2017, in der Fassung von 2020). [[Link](#)]
- [117] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit – Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG (1996, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [118] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen – Gefahrstoffverordnung – GefStoffV (2010, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [119] DIN 18134:2012-04. Baugrund – Versuche und Versuchsgeräte – Plattendruckversuch. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [120] DIN 18127:2012-09. Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [121] DIN EN 1367-1:2007-06. Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [122] Gesetz über die Kreislaufwirtschaft und den Bodenschutz im Freistaat Sachsen – Sächsisches Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz – SächsKrWBodSchG (2019). [[Link](#)]
- [123] Handlungshilfe zur Anwendung der LAGA Mitteilung 32 (LAGA PN 98). Anlage zum LAGA-Umlaufverfahren 2019/05. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall. LAGA Forum Abfalluntersuchung. [[Link](#)]
- [124] DIN 19698-1:2014-05. Untersuchung von Feststoffen – Probenahme von festen und stichfesten Materialien – Teil 1: Anleitung für die segmentorientierte Entnahme von Proben aus Haufwerken. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [125] DIN 19698-2:2016-12. Untersuchung von Feststoffen – Probenahme von festen und stichfesten Materialien – Teil 2: Anleitung für die Entnahme von Proben zur integralen Charakterisierung von Haufwerken. [[Link](#)]
- [126] DIN ISO 18400-101:2020-11. Bodenbeschaffenheit – Probenahme – Teil 101: Grundzüge der Vorbereitung und Anwendung eines Probenahmeplans. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [127] DIN ISO 18400-104:2020-11. Bodenbeschaffenheit – Teil 104: Strategien. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [128] DIN ISO 18400-107:2020-11. Bodenbeschaffenheit – Teil 107: Aufzeichnung und Berichtswesen. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]

Gefördert durch:



- [129] ADR – Internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (2026). Ausgabe des Österreichischen Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). [\[Link\]](#)
- [130] Verordnung über die Nachweisführung bei der Entsorgung von Abfällen - Nachweisverordnung – NachwV (2006, in der Fassung von 2022). [\[Link\]](#)
- [131] Positionspapier Umgang mit Baggergut. Definitionen – Erläuterungen – Empfehlungen (2019). Fachausschuss Baggergut. Hafentechnische Gesellschaft e.V., Hamburg. [\[Link\]](#)
- [132] IPA - Informationsportal zur Abfallbewertung. Aufkommen der in zulassungsbedürftigen Abfallentsorgungsanlagen angelieferten Abfälle (in t) aus den Berichten zur Abfallentsorgung des Statistischen Bundesamtes bezogen auf die Abfälle des IPA-Abfallsteckbriefs 1705 Bodenaushub, Baggergut, Gleisschotter nach Jahren (2014-2023). [\[Link\]](#), Zugriff 01/26.
- [133] DWA-Themen T4/2025 - Umgang mit Sedimenten und Baggergut bei Gewässerunterhaltung und –ausbau – Fallbeispiele zum Merkblatt DWA-M 513-1 - Juni 2025. [\[Link\]](#)
- [134] Statistischer Bericht Abfallentsorgung 2020 (2023). Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. [\[Link\]](#)
- [135] Statistischer Bericht Abfallentsorgung 2021 (2023). Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. [\[Link\]](#)
- [136] Statistischer Bericht Abfallentsorgung 2022 (2024). Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. [\[Link\]](#)
- [137] Statistischer Bericht Abfallentsorgung 2023 (2025). Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. [\[Link\]](#)
- [138] Statistischer Bericht Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR). Gesamtwirtschaftliches Materialkonto. Berichtszeitraum 1994 bis 2023 (2025). Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. [\[Link\]](#)
- [139] Basten, M., Schäfer, B. (2017). Mineralische Bauabfälle Monitoring 2014. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2014. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin. [\[Link\]](#)
- [140] Basten, M., Schäfer, B. (2018). Mineralische Bauabfälle Monitoring 2016. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2016. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin. [\[Link\]](#)
- [141] Basten, M., Schäfer, B. (2021). Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2018. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin. [\[Link\]](#)
- [142] Frederichs, M., Schäfer, B., Streck, E. (2023). Mineralische Bauabfälle Monitoring 2020. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2020. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin. [\[Link\]](#)
- [143] Frederichs, M., Schäfer, B. (2024). Mineralische Bauabfälle Monitoring 2022. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2022. Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin. [\[Link\]](#)
- [144] Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV. Vollzugshilfe zu den Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden (§ 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung) (2002). LABO in Zusammenarbeit mit LAB, LAGA und LAWA. [\[Link\]](#)
- [145] Gerhäuser, A., Kuhlmann, R. (2024). Jahresbericht 2023 des Bundesverbands der Deutschen Ziegelindustrie e.V., Berlin. [\[Link\]](#)
- [146] Elsner, H. (2022). Sand und Kies in Deutschland (2022). Band II: Gewinnung in den Bundesländern. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. ISBN 978-3-948532-67-3. [\[Link\]](#)
- [147] Lake, L.M., Benson, K.S., Basta, N.T. (2024). Evaluation of dredge fines material in manufactured soil blends on soil health parameters. *Agrosyst. Geosci. Environ.*, 7 (1), e20470. [\[Link\]](#)
- [148] Punmia, B.C., Jain, A.K., Jain, A.K. (2004). Comprehensive Basic Civil Engineering. Chapter 2. Bricks. Laxmi Publications Pvt Ltd, New Delhi. ISBN 9788170084037, 8170084032 [\[Link\]](#)
- [149] Franken Baustoff Recycling GmbH, Röthenbach St. Wolfgang. Geschäftskundenpreisliste zum 01.05.25. [\[Link\]](#), Zugriff 01/26.

- [150] Baustoff-Recycling Wyhlen GmbH, Grenzach-Wyhlen. Preisliste 2026. [[Link](#)], Zugriff 01/26.
- [151] LZR Lenz-Ziegler-Reifenscheid GmbH, Kitzingen. Preislisten 2026. [[Link](#)], Zugriff 01/26.
- [152] BAUREKA Baustoff-Recycling GmbH, Kassel und Igelsburg. Preisliste 2025. [[Link](#)] [[Link](#)], Zugriff 01/26.
- [153] BRW Baustoff-Recycling GmbH & Co. KG, Köln. Preisliste 2026. [[Link](#)], Zugriff 01/26.
- [154] LABO Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Redaktionsgruppe Vollzugshilfe zu §§ 6-8 BBodSchV der LABO (2023). Vollzugshilfe zu §§ 6-8 BBodSchV. Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden. [[Link](#)]
- [155] Statistischer Bericht Erhebung der Güter und Leistungen für den Umweltschutz. Berichtszeitraum 2023 (2025). Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden. [[Link](#)]
- [156] Güteschutz Ziegel e.V. – Zertifizierungs-, Überwachungs- und Prüfstelle, Crimmitschau-Blankenhain. [[Link](#)], Zugriff 01/26.
- [157] Köhler, R. (2025) – Mündliche Mitteilung im Rahmen des ResuS-Projekttreffens am 29.10.25, Freiberg.
- [158] González Cano, W.T., Kim, K. (2022). How to Achieve Sustainably Beneficial Uses of Marine Sediments in Columbia? *Sustainability*, 14 (22), 14821. [[Link](#)]
- [159] Görsch, K., Hoffmann, P., Schlenker, U., Aurich, A., Zehnsdorf, A. (2015). Schwermetallentfernung aus Gewässersediment durch Bioleaching im Praxismaßstab. *Chem. Ing. Tech.*, 87 (11), 1527-1534. [[Link](#)]
- [160] Guidi, P., Bernardeschi, M., Palumbo, M., Buttino, I., Vitiello, V., Scarcelli, V., Chiaretti, G., Fiorati, A., Pellegrini, D., Pontorno, L., Bonciani, L., Punta, C., Corsi, I., Frenzilli, G. (2023). Eco-Friendly Engineered Nanomaterials Coupled with Filtering Fine-Mesh Net as a Promising Tool to Remediate Contaminated Freshwater Sludges: An Ecotoxicity Investigation. *Nanomat.*, 13 (3), 396. [[Link](#)]
- [161] Hamer, K., v. Lührte, R., Becker, G., Felis, T., Keffel, S., Strotmann, B., Waschkowitz, C., Kölling, M., Isenbeck-Schröter, M., Schulz, H.D. (1997). Endbericht zum Forschungsvorhaben 060 des Landes Bremen: Baggergut der Hafengruppe Bremen-Stadt: Modelluntersuchungen zur Schwermetall-Mobilität und Möglichkeiten der Verwertung von Hafenschlick aus Bremischen Häfen. Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, 107, 98. [[Link](#)]
- [162] Maher, A., Jafari, F., Douglas, W.S., Pecchioli, J. (2013). The Processing and Beneficial Use of Fine-Grained Dredged Material. A Manual for Engineers. Center for Advanced Infrastructure and Transportation, Rutgers - The State University of New Jersey, Federal Highway Administration 2013, Report 193-RU2763. [[Link](#)]
- [163] Muscetta, M., Bianco, F., Trancone, G., Race, M., Siciliano, A., D'Agostino, F., Sprovieri, M., Clarizia, L. (2023). Washing Bottom Sediment for The Removal of Arsenic from Contaminated Italian Coast. *Processes*, 11 (3), 902. [[Link](#)]
- [164] Shumaker, K.L., Begonia, G. (2005). Heavy Metal Uptake, Translocation, and Bioaccumulation Studies of Triticum aestivum Cultivated in Contaminated Dredged Materials. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2 (2), 293-8. [[Link](#)]
- [165] Singh, S.P., Tack, F.M.G., Verloo, M.G. (1998). Land Disposal of Heavy Metal Contaminated Dredged Sediments: A Review of Environmental Aspects. *Land Contamination Reclamation*, 6, 149-158. [[Link](#)]
- [166] Stern, E.A., Donato, K., Jones, K.W., Clesceri, N.L. (1998). Processing Contaminated Dredged Material from the Port of New York-New Jersey. *Estuaries*, 21, 646-651. [[Link](#)]
- [167] Wang, Z., Song, S., Wang, H., Yang, W., Han, J., Chen, H. (2022). Feasibility of Remediation of Heavy-Metal-Contaminated Marine Dredged Sediments by Active Capping with Enteromorpha Biochar. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19 (9), 4944. [[Link](#)]
- [168] Wang, Z., Li, B., Sun, Y., Yang, W. (2022). Leaching Remediation of Dredged Marine Sediments Contaminated with Heavy Metals. *J. Mar. Sci. Eng.*, 10 (5), 636. [[Link](#)]
- [169] Xu, Q., Wu, B. (2023). Recent Progress on Ex Situ Remediation Technology and Resource Utilization for Heavy Metal Contaminated Sediment. *Toxics*, 11 (3), 207. [[Link](#)]



Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

- [170] Abfall und Energie Schweinfurt Land GmbH. Abfallwirtschaftliche Einrichtung des Landkreises Schweinfurt und der AES GmbH. Preisliste 2026. [\[Link\]](#), Zugriff 01/26.
- [171] Rhein-Sieg-Recycling Dr. Fink-Stauf Umwelttechnik. Bauschuttverwertung. Bauschutt-Annahmekatalog Nr. 2 (Verwiegung). Preisliste 02/2024. [\[Link\]](#), Zugriff 01/26.
- [172] AWV Ostthüringen. Preisliste Deponie Klasse I in Untitz. Preisliste 2024. [\[Link\]](#), Zugriff 01/26.
- [173] Kreiswerke Schmalkalden-Meiningen GmbH. Anlage zur Gebührensatzung für Abfallentsorgungsanlagen. Preisliste 2024. [\[Link\]](#), Zugriff 01/26.
- [174] Preisauskunft der Frauenrath Recycling GmbH, Bretinig-Ohorn (2025).
- [175] Preisauskunft der Bauer Resources GmbH Bodenreinigungszentrum, Hirschfeld (2025).
- [176] Preisauskunft der Westsächsische Entsorgungs- und Verwertungsgesellschaft mbH, Großpösna (2025).
- [177] Kreis-Kleve-Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH. Abfälle zur Deponierung. Preisliste 2025. [\[Link\]](#)
- [178] Stanulla, R.H., Adamek, J. (2024). Laborprotokolle für Proben aus dem Freiburger Hüttenteich zur Bestimmung des Wassergehalts nach DIN EN ISO 17892-1:2022-08. GeoWiD GmbH, Freiberg.
- [179] Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. [\[Link\]](#)
- [180] Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege - Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG (2009, in der Fassung von 2024) [\[Link\]](#)
- [181] Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft zur Durchführung des Fischereigesetzes für den Freistaat Sachsen - Sächsische Fischereiverordnung – SächsFischVO (2022) [\[Link\]](#)
- [182] Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (1992, in der Fassung von 2006). [\[Link\]](#)
- [183] Richtlinie 2009/147/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (2009). [\[Link\]](#)
- [184] Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg (MLUK). Naturschutz. Referat 44 – Naturschutz in Planung und Zulassungsverfahren (2023). Rechtsprechung zur FFH-Verträglichkeitsprüfung nach Artikel 6 Absatz 3 FFH-Richtlinie. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg (MLUK). Referat Öffentlichkeitsarbeit und Internationale Kooperation, Potsdam. [\[Link\]](#)
- [185] Baugesetzbuch – BauGB (1960, in der Fassung von 2025). [\[Link\]](#)
- [186] Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer - Oberflächengewässerverordnung – OGewV (2016, in der Fassung von 2020). [\[Link\]](#)
- [187] Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. [\[Link\]](#)
- [188] Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung zur Umsetzung der Richtlinie 91/271/EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser - Sächsische Kommunalabwasserverordnung – SächsKomAbwVO (1996, in der Fassung von 2014). [\[Link\]](#)
- [189] Verordnung über das Anzeige- und Erlaubnisverfahren für Sammler, Beförderer, Händler und Makler von Abfällen - Anzeige- und Erlaubnisverordnung – AbfAEV (2013, in der Fassung von 2022). [\[Link\]](#)
- [190] Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter - Gefahrgutbeförderungsgesetz – GGBefG (1975, in der Fassung von 2023). [\[Link\]](#)
- [191] Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern - Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt – GGVSEB (2009, in der Fassung von 2025). [\[Link\]](#)

Gefördert durch:





Sachbericht zum FuE-Verbundprojekt ResuS – Teilprojekt 3 | Förderkennzeichen 03WIR1916C

- [192] Verordnung über die Bestellung von Gefahrgutbeauftragten in Unternehmen - Gefahrgutbeauftragtenverordnung – GbV (2011, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [193] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln - Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV (2015, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [194] TRGS 524 (2010, in der Fassung von 2011). Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen. Technische Regeln für Gefahrstoffe. Ausschuss für Gefahrstoffe - AGS-Geschäftsführung – BauA. [[Link](#)]
- [195] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz - Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm (1998, in der Fassung von 2017). [[Link](#)]
- [196] Umwelthaftungsgesetz – UmweltsHG (1990, in der Fassung von 2017). [[Link](#)]
- [197] Gesetz über die Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden - Umweltschadensgesetz – USchadG (2007, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [198] Bürgerliches Gesetzbuch – BGB (1896, in der Fassung von 2025). [[Link](#)]
- [199] DIN EN 13242:2008-03. Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für den Ingenieur- und Straßenbau. DIN Media, Berlin. [[Link](#)]
- [200] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. (2026). Positionspapier. Zehn Maßnahmen für eine praxistaugliche Ersatzbaustoffverordnung (EBV). [[Link](#)]

Gefördert durch:

