

23

DERA Rohstoffinformationen



**Nutzungsmöglichkeiten und wirtschaftliches Potenzial
deutscher Talsperrensedimente**

Impressum

Editor: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
www.deutsche-rohstoffagentur.de
E-Mail: dera@bgr.de

Autoren: Sebastian Henkel, Elena Pummer, Holger Schüttrumpf
Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Mies-van-der-Rohe-Straße 17
52056 Aachen
E-Mail: sekretariat@iww.rwth-aachen.de

Martin Schmitz, Sven-Uwe Schulz
Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
E-Mail: martin.schmitz@bgr.de

Stand: September 2014

ISSN: 2193-5319

ISBN: 978-3-943566-15-4

Titelinformation:
www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA-publikationen

Titelbilder: Sebastian Henkel (IWW der RWTH Aachen University)

Zitierhinweis: Henkel, S., Pummer, E., Schüttrumpf, H., Schmitz,
M. & Schulz, S.-U. (2014): Nutzungsmöglichkeiten und wirt-
schaftliches Potenzial deutscher Talsperrensedimente. –
DERA Rohstoffinformationen 23: 62 S., Berlin.

Berlin, 2014

DERA Rohstoffinformationen

Nutzungsmöglichkeiten und wirtschaftliches Potenzial
deutscher Talsperrensedimente



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
Zusammenfassung	9
1 Einleitung	10
2 Rechtlicher Rahmen	11
2.1 Begriffsdefinitionen	11
2.2 Rechtsgrundlagen der Unterhaltungsmaßnahmen für Talsperren	12
2.2.1 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	12
2.2.2 Gesetzliche Regelungen der Länder	13
2.3 Baggergut – Grundlagen der Verwertung	14
2.3.1 Rechtsgrundlagen zur Baggergutverwertung	14
2.3.2 Verwertung als Boden	15
2.3.3 Verwertung von Bodenmaterial und Baggergut in technischen Bauwerken und in Bauprodukten	18
3 Nutzung von Baggergut	19
3.1 Physikalische und chemische Eigenschaften	19
3.2 Gewinnung durch Entsedimentierungsmaßnahmen	20
3.3 Transport	21
3.4 Aufbereitungsverfahren	22
3.5 Verwertungsmöglichkeiten	25
3.5.1 Nutzung als durchwurzelbare Bodenschicht	25
3.5.2 Verwendung als Deichkern und als Deckschicht	26
3.5.3 Nutzung bei der Herstellung von Zement	27
3.5.4 Verwendung als Zuschlag in der Ziegelproduktion	27
4 Untersuchung und Beurteilung der Verlandung deutscher Talsperren	28
4.1 Einteilung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken	28
4.2 Ergebnis einer Befragung von Betreibern von Talsperren	29
4.3 Analyse der Sedimente ausgewählter Stauseen und Hochwasserrückhaltebecken	31
4.3.1 Auswahl der Talsperren und Beprobung	31
4.3.2 Analysemethoden	35
4.3.3 Ergebnisse	35
5 Ökonomisches Potenzial der Nutzung von Talsperresedimenten	40
5.1 Kostenabschätzung für unterschiedliche Nutzungen	40
5.2 Bedeutende Kostenfaktoren	41
5.3 Abschätzung von Kosten und Nutzen der Sedimentverwertung anhand eines Beispiels	42
6 Fazit	47
7 Literaturverzeichnis	48

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Einordnung der Aufbereitung von Sediment in den Gesamtprozess	22
Abb. 2:	Charakteristisches Verlandungsmuster von Stauseen	24
Abb. 3:	Ausgewählte Talsperren und HRB mit möglicherweise erhöhtem Potenzial für eine Sedimentnutzung, aufgetragen auf der Karte der Bodenausgangsgesteine Deutschlands	32
Abb. 4:	Erstellung von Mischproben mithilfe eines Van-Veen-Greifers	33
Abb. 5:	Teilprobe – geborgen mithilfe eines Van-Veen-Greifers.	34
Abb. 6:	Beprobung mithilfe eines Bootes und eines Van-Veen-Greifers	34
Abb. 7:	Summenkurve der Korngrößenverteilung der Proben der TS 1 von ihrer Stauwurzel (Probe 1) bis zum Absperrbauwerk (Probe 4)	36
Abb. 8:	Summenkurve der Korngrößenverteilung der Proben der TS 6	36
Abb. 9:	Summenkurve der Korngrößenverteilung der Proben der TS 2 bis 5 und des HRB 2	37
Abb. 10:	Abhängigkeit des wirtschaftlichen Erfolgs (absolut in Mio. €) einer Nutzung von Talsperrensedimenten im vorgestellten Beispiel	45
Abb. 11:	Abhängigkeit des wirtschaftlichen Erfolgs (prozentual in Bezug auf die reine Entsorgung) einer Nutzung von Talsperrensedimenten im vorgestellten Beispiel	45
Abb. 12:	Spielraum für die spezifischen Aufbereitungskosten in €/m ³ bei Unterstellung der reinen Entsorgung des Baggerguts als Grenzkostenschwelle	46
Abb. 13:	Notwendiger verkaufsfähiger Anteil der Sandfraktion des Baggerguts in Abhängigkeit vom Verkaufserlös und von den spezifischen Entsorgungskosten	46

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Zuordnungswerte für die Einteilung in die Einbauklassen der LAGA M20	16
Tab. 2:	Vorsorgewerte für Böden nach BBodSchV	17
Tab. 3:	Einteilung von Baggergut nach Korngrößenklassen	19
Tab. 4:	Überblick über Aufbereitungsverfahren für Sedimente	23
Tab. 5:	Technische Kriterien für Aufbereitungsverfahren – bewertet nach Umweltstandards	24
Tab. 6:	Beispielhafte Nutzungspfade in Abhängigkeit von der Korngröße	26
Tab. 7:	Probenanzahl und Probenbenennung	35
Tab. 8:	Mineralogische Zusammensetzung der Fraktion < 2 mm der Proben	38
Tab. 9:	Chemische Zusammensetzung der Fraktion < 2 mm der Proben	39
Tab. 10:	Kosten der Nutzung	40
Tab. 11:	Kosten ausgewählter Aufbereitungsverfahren	41
Tab. 12:	Transportkosten	42
Tab. 13:	Zusammenfassung der Kostenansätze aus der Recherche und Darstellung der Modellansätze	43
Tab. 14:	Ergebnis der Vergleichsrechnung einer Talsperrenentsedimentierung mit und ohne Nutzung des Baggerguts	44

Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz	LWaG	Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern
Al	Aluminium	LWG	Landeswassergesetz
As	Arsen	Mg	Magnesium
ATV	Abwassertechnische Vereinigung	Mio.	Millionen
AVV	Abfallverzeichnisverordnung	Mn	Mangan
Ba	Barium	Mo	Molybdän
BauPG	Bauproduktengesetz	N	Stickstoff
BbgWG	Brandenburger Wassergesetz	Na	Natrium
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	Nb	Niobium
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung	Nd	Neodym
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	Ni	Nickel
Bi	Wismut	NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf	O	Sauerstoff
C	Kohlenstoff	P	Phosphor
Ca	Calcium	PAKs	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Ce	Cer	Pb	Blei
Co	Kobalt	PCBs	Polychlorierte Biphenyle
CO ₂	Kohlenstoffdioxid	Rb	Rubidium
Cr	Chrom	RFA	Röntgenfluoreszenz-Analyse
Cu	Kupfer	SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.	Sb	Antimon
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff	Sc	Scandium
DTK	Deutsches Talsperrenkomitee	Si	Silizium
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.	Sm	Samarium
Fe	Eisen	Sn	Zinn
Ga	Gallium	SN	Sachsen
Hf	Hafnium	Sr	Strontium
Hg	Quecksilber	SWG	Saarländisches Wassergesetz
HRB	Hochwasserrückhaltebecken	Ta	Tantal
HTG	Hafentechnische Gesellschaft	Th	Thorium
HWG	Hessisches Wassergesetz	ThürFWG	Thüringer Gesetz über die Fernwasserversorgung
ICOLD	International Commission on Large Dams	ThürWG	Thüringer Wassergesetz
K	Kalium	Ti	Titanium
KAK	Kationenaustauschkapazität	TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz	TrinkwV	Trinkwasserverordnung
La	Lanthan	TS	Talsperre/Trockensubstanz
LAB	Länderausschuss Bergbau	U	Uran
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden	V	Vanadium
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall	W	Wolfram
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser	WG	Wassergesetz
LOI	Glühverlust	WHG	Wasserhaushaltsgesetz
		WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
		XRD	Röntgenbeugungsanalyse
		Y	Yttrium
		Zn	Zink
		Zr	Zirkonium

Zusammenfassung

Verlandende Talsperren müssen beräumt werden, damit sie weiterhin ihren vorgesehenen Zweck erfüllen können. Talsperren dienen der Trinkwassergewinnung, der Niedrigwasseraufhöhung, dem Hochwasserschutz, der Energiegewinnung oder mehreren dieser Nutzungsarten. Die aus Talsperren entnommenen Sedimente werden bislang nur selten stofflich genutzt. In der Regel werden sie, je nach Kontaminationsgrad, entsorgt bzw. im Erdbau verwertet.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen darauf hin, dass es im Einzelfall möglich ist, Sedimente, die bei der Beräumung von Talsperren anfallen, durch einfache Aufbereitungsmaßnahmen so zu konditionieren, dass diese unter Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften stofflich verwertet werden können. Die wesentlichen Nutzungsmöglichkeiten von Talsperrensedimenten bestehen in der Verwertung innerhalb oder unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht bzw. in der Nutzung von Teilen der Sedimente als Zuschlag für die Bauindustrie. Dies bedarf jedoch einer auf das Sediment abgestimmten Aufbereitung, die im Vorfeld detailliert auszuarbeiten ist. Die Nutzung erscheint gerade unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten vorteilhaft. Die Gewinnung von Sand und Kies als Zuschlagstoffe aus den Sedimenten könnte eine Option darstellen, um die Entsorgungskosten zu minimieren. Indem man die Sedimente aufbereitet, ein verkaufsfähiges Produkt gewinnt und gleichzeitig die zu entsorgende Menge reduziert, könnten sich im Einzelfall die Kosten für die zusätzliche Aufbereitung der Sedimente rechnen und sich finanzielle Vorteile für Talsperrenbetreiber ergeben. Gleichzeitig würden durch die Nutzung der Sedimente aus Talsperren Ressourcen aus anderen Quellen geschont.

Die Studie beschreibt zunächst den rechtlichen Rahmen der Gewinnung von Sedimenten aus Stauseen. Die rechtliche Situation ist neben dem Wasserhaushalts- und dem Kreislaufwirtschaftsgesetz von den Regelungen auf Landesebene (Landeswassergesetze) abhängig, die sich zum Teil im Bereich der Unterhaltungspflicht der Talsperren deutlich voneinander unterscheiden.

Da eine umfassende Datengrundlage über die Zusammensetzung der Sedimente in Talsperren

in der Literatur nicht zu finden ist, wurden ausgewählte Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken beprobt, um exemplarisch die Zusammensetzung der Sedimente untersuchen zu können. Hierzu wurde zunächst eine Auswahl von Talsperren erstellt, die ein erhöhtes Potenzial für eine Nutzung der darin enthaltenen Sedimente aufweisen könnten. Neben der Größe des Stauraums und der des Einzugsgebiets waren auch weitere Kriterien wie Hinweise auf erhöhten Sedimenteintrag, beispielsweise durch Schmelzwasserzuflüsse, Teil der Auswahlkriterien. Es wurden Stauseen in Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Bayern beprobt, wobei auch Stauseen in die Beprobung mit einbezogen wurden, die nicht Teil der Vorauswahl, jedoch gerade zugänglich waren. Die Proben wurden anschließend granulometrisch, chemisch und mineralogisch analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass, wie zu erwarten, die Sedimente der Stauseen aus den Mineralen der umgebenden Gesteinsformationen bzw. deren Verwitterungsprodukten und organischem Material der Flora des Einzugsgebiets zusammengesetzt sind.

Eine erste wirtschaftliche Kosten-Nutzen-Abschätzung anhand eines Beispiels zeigt, dass sich die stoffliche Nutzung der Sedimente und die damit einhergehende zusätzliche Aufbereitung nur dann lohnen, wenn die Entsorgungskosten der Sedimente und/oder des anfallenden Wassers vergleichsweise hoch sind oder das Produkt hochwertig und damit vergleichsweise teuer ist. Eine Einzelfallprüfung ist in jedem Fall notwendig.

Insgesamt weist die Studie darauf hin, dass eine stoffliche Nutzung von Sedimenten aus Talsperren in Einzelfällen die Kosten der Beräumung reduzieren kann. Jedoch ist nur ein kleiner Teil der Sedimente der Talsperren tatsächlich für eine stoffliche Verwertung geeignet. Mit der vorgestellten Studie wurde eine Basis geschaffen, auf der tiefergehende Untersuchungen aufbauen könnten. In weiteren Schritten sollten die Homogenität der Zusammensetzung der Sedimente eines Stausees und die Verteilung der Komponenten innerhalb eines Stauraums untersucht werden. Dazu wäre es notwendig, einen Stausee repräsentativ bis hinein in die tieferen Sedimentschichten zu beproben und zu analysieren. Sollten die Sedimente eine stoffliche Nutzung ermöglichen, könnten erste Aufbereitungsversuche im Labormaßstab durchgeführt werden.

1 Einleitung

Kein mineralischer Rohstoff wird von den deutschen Bundesbürgern in solchen Mengen benötigt wie Sand und Kies. Nach Berechnungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) verbraucht jeder Bundesbürger im Leben durchschnittlich ca. 245 Tonnen Sand und Kies. Zum Vergleich liegt der Verbrauch von Mineralöl bei etwa 105 Tonnen pro Einwohner. Für den Erhalt und den Ausbau der Infrastruktur, die das Funktionieren einer Volkswirtschaft garantiert, ist eine stetige Verfügbarkeit dieser Rohstoffe unabdingbar. Neben Sand und Kies sind für die Herstellung von Sachgütern und Bauwerken auch feinkörnige Sedimente wie Tone und Lehme erforderlich.

In zahlreichen Stauseen reichern sich im Laufe der Zeit Sande und Kiese, aber auch tonige Sedimente an. Dies führt zu einer zunehmenden Verlandung der Stauseen. Durch die Verringerung des Stauraumvolumens können die Seen ihrer Zweckbestimmung nicht mehr voll entsprechen. Diese Zweckbestimmung kann unterschiedlich sein: Talsperren dienen vor allem dem Hochwasserschutz, der Energieerzeugung und der Trinkwasserversorgung. Eine der Optionen, der Verringerung des Stauraums entgegenzuwirken, besteht in der Ausbaggerung des Sediments. Derzeit wird das Baggergut bei einem Großteil der Talsperren in Deutschland entsorgt, wodurch erhebliche Kosten für den Betreiber anfallen. Ziel dieser Studie ist es daher zu prüfen, ob es theoretisch möglich ist, Talsperrensedimente nach einer einfachen Aufbereitung als Sekundärprodukte (Rohstoffe) wirtschaftlich zu verwerten. Darüber hinaus wird die Frage beantwortet, ob dadurch Kosteneinsparpotenziale im Fall der Beräumung generiert werden könnten.

Hierfür werden zunächst der rechtliche Rahmen sowie die generellen Nutzungsoptionen für Baggergut untersucht. Durch die chemisch-mineralogische Analyse einzelner Sedimente wurde zudem ermittelt, ob sich Sedimente aus Talsperren tatsächlich für eine stoffliche Nutzung eignen.

Auf Basis der Ergebnisse wurden die betriebswirtschaftlichen Aspekte einer möglichen Nutzung herausgearbeitet und kritische Kostenfaktoren identifiziert. Im Rahmen der Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde der wirtschaftliche Nutzen den Kosten gegenübergestellt. Eine wirtschaftliche Nutzung anfallender Talsperrensedimente könnte einen ökonomischen Vorteil für den Talsperrenbetreiber bedeuten, bei gleichzeitiger effizienter Nutzung der heimischen Ressourcen.

2 Rechtlicher Rahmen

2.1 Begriffsdefinitionen

Für die Betrachtung des rechtlichen Rahmens im Umgang mit Sedimenten ist es erforderlich, einige Begriffe zu definieren, um sie voneinander abzugrenzen. Die folgende Zusammenstellung basiert überwiegend auf geltendem deutschem Recht. Dies schließt die Vorgaben und Richtlinien der Europäischen Union mit ein, da diese durch die Bundesgesetzgebung in nationales Recht überführt werden. Der in den Gesetzen oft zitierte *Stand der Technik* wird durch rechtsverbindliche Normen sowie durch Verordnungen und Vollzugshilfen für die praktische Anwendung zugänglich gemacht. Merkblätter und Grundsatzpapiere bilden keine verbindliche Grundlage zur Beurteilung rechtlicher Fragestellungen. Denn die genannten Quellen führen meist die aktuelle Rechtsprechung aus, auch wenn sie unter Umständen veraltet sind. Jedoch ist es in einigen Fällen möglich, dass Gesetze mithilfe von Merkblättern und Leitlinien erstellt werden.

Die folgenden Definitionen der Begriffe „Unterhaltungsmaßnahmen“ und „Baggergut“ sind für das weitere Verständnis der Ausführungen in der vorliegenden Studie notwendig.

Unterhaltungsmaßnahmen beinhalten die Förderung von Sedimenten durch verschiedene technische Verfahren. Diese Verfahren sind zum Beispiel Nassbaggern, Trockenbaggern, die Förderung unter Zuhilfenahme eines Tieflöffels oder Greifers bzw. Saugbaggers etc. Die zahlreichen Verfahren der Unterhaltungsmaßnahmen müssen den allgemeinen Regeln der Technik entsprechen. Die Ziele einer Unterhaltungsmaßnahme mit Sedimententnahme sind ebenfalls vielfältig und beinhalten unter anderem die Wiederherstellung oder Vergrößerung des Stauraumes, die Gewährleistung eines Hochwasserrückhalte-raumes, die Wiederherstellung von Wasserwegsamkeiten und damit die Sicherstellung der Abführung der geforderten Wassermenge. Ebenfalls können Unterhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden, um eine bestimmte Gewässergüte sicherzustellen (WHG 2009).

Die geförderteten Sedimente werden üblicherweise als **Baggergut** bezeichnet. Für diesen Begriff

existiert allerdings keine einheitliche Definition. Die Beurteilung der anfallenden Sedimente aus Talsperren, wie sie in diesem Projekt untersucht werden, kann auf der Grundlage der Ausführungen des Fachausschusses „Baggergut“ der Hafentechnischen Gesellschaft e.V. (HTG) erfolgen, der 2002 sein Positionspapier „Umgang mit Baggergut“ veröffentlicht hat. Daneben hat sich die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) in ihrem Merkblatt 362-1-3 (VERLAG FÜR ABWASSER, ABFALL UND GEWÄSSERSCHUTZ 1999; DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. 2004, 2008) mit dem Thema Baggergut befasst. In jedem Fall gilt aber die Definition der DIN 19731. Es existieren jedoch weitere Definitionen aus meist internationaler Literatur. Im deutschen Recht gilt die DIN 19731 in der Fassung vom Mai 1998. Die Rechtsverbindlichkeit beruht auf der expliziten Nennung dieser Norm in § 12 Abs. 1 S. 1 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). In der DIN 19731 wird Bodenmaterial, das im Rahmen von Unterhaltungs-, Neu- und Ausbaumaßnahmen aus Gewässern entnommen wird, unter dem Begriff Baggergut zusammengefasst. Des Weiteren kann dieses Bodenmaterial aus Sedimenten und subhydrischen Böden der Gewässersohle oder aus Böden und deren Ausgangssubstraten im unmittelbaren Umfeld des Gewässerbettes bestehen. Ebenfalls werden gebaggerte Oberböden im Ufer- bzw. Überschwemmungsbereich des Gewässers unter Baggergut geführt. Abzugrenzen ist davon der Begriff des Bodenaushubs, der bei terrestrischen Maßnahmen anfällt. Eine explizite Definition von „Baggergut“ fehlt in der Gesetzgebung (HTG 2002), weshalb dieser Begriff Gegenstand verschiedener Merkblätter ist.

Im Positionspapier des Fachausschusses „Baggergut“ der Hafentechnischen Gesellschaft e.V. (HTG-FA) findet sich eine ausführliche Auflistung verschiedener Begriffserklärungen. Daraus entwickelte der Fachausschuss eine Definition, die sich vorrangig auf Unterhaltungsmaßnahmen in Fließgewässern bezieht. Darüber hinaus wird auf das ATV Merkblatt M 362 (VERLAG FÜR ABWASSER, ABFALL UND GEWÄSSERSCHUTZ 1999; DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. 2004, 2008) verwiesen, das in der novellierten Fassung von 1/2008 vorliegt. Auch hier wird die DIN 19731 als rechtsgültige Quelle genannt. Auf Grundlage des HTG-Positions-

papieres und der Erkenntnisse von KÖTHE (1995) wird eine Unterscheidung von Trocken- und Nassbaggergut eingeführt. Das Merkblatt nimmt Bezug auf Baggergut, das sich aus Boden, Bodenmaterial, Bodenaushub und Sedimenten zusammensetzt und im Zuge der Gewässerunterhaltung und bei Gewässerausbaumaßnahmen zur Gewährleistung des Schiffsverkehrs, des Wasserabflusses und des Hochwasserschutzes anfällt (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. 2008).

Der Umgang mit Baggergut hängt davon ab, ob das Sediment als Abfall deklariert werden muss oder nicht. Im Falle, dass dem Sediment keine Abfalleigenschaft zugesprochen wird, greift das Kreislaufwirtschaftsgesetz nicht (KrWG/nach § 2 Abs. 2 Nr. 12), wenn solche Sedimente „innerhalb von Oberflächengewässern umgelagert werden“ und sie „nachweislich nicht gefährlich sind“. Wenn jedoch der Tatbestand gemäß § 3 Abs. 1 KrWG erfüllt ist, kommt dem Baggergut im Gegensatz zur oben genannten Regelung eine Abfalleigenschaft zu. Nach KrWG gilt dann die fünfstufige Abfallhierarchie. In erster Linie sind Abfälle zu vermeiden, d. h. an ihrer Entstehung zu hindern, andernfalls besteht die Pflicht zur Wiederverwertung, zum Recycling oder sonstigen Verwertung (§ 6 und § 7 KrWG). Kann diesen Grundsätzen nicht entsprochen werden, muss der Abfall gemeinwohlverträglich beseitigt werden. In diesem Projekt wird vorrangig versucht, dem Verwertungsgrundsatz zu entsprechen, sodass eine detaillierte Betrachtung des Beseitigungspfades vorerst entfällt und dieser Pfad nur als die Ultima Ratio angesehen wird. Ebenso tritt der Vermeidungsgrundsatz in den Hintergrund, da davon ausgegangen wird, dass Unterhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen, um die Ziele einer nachhaltigen Speicherbewirtschaftung zu erreichen.

Die Abfalleigenschaft von Baggergut wird in der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) rechtsverbindlich festgelegt. In der AVV wird Baggergut als Abfall deklariert. Es existieren zwei Schlüsselnummern. Schlüsselnummer 170505 beinhaltet Abfall mit gefährlichen Stoffen, Schlüsselnummer 170506 Abfall ohne Gefahrenstoffe. Nutzbares Baggergut, in diesem Fall Talsperrensediment, ist somit häufig Abfall, für den die entsprechenden Rechtsgrundlagen einzuhalten sind.

2.2 Rechtsgrundlagen der Unterhaltungsmaßnahmen für Talsperren

Die folgenden Betrachtungen geben einen ersten Überblick über den rechtlichen Hintergrund der Beräumung von Talsperren.

2.2.1 Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

Unterhaltungsmaßnahmen von Gewässern werden bundesgesetzlich durch das Wasserhaushaltsgesetz geregelt. Im § 39 WHG werden dazu unter anderem folgende Anforderungen an die Gewässerunterhaltung gestellt:

- die Erhaltung des Gewässerbettes, auch zur Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Wasserabflusses,
- die Erhaltung der Ufer, insbesondere durch Erhaltung und Neuanpflanzung einer standortgerechten Ufervegetation, sowie die Freihaltung der Ufer für den Wasserabfluss,
- die Erhaltung des Gewässers in einem Zustand, der hinsichtlich der Abführung oder Rückhaltung von Wasser, Geschiebe, Schwebstoffen und Eis den wasserwirtschaftlichen Bedürfnissen entspricht.

Gemäß § 40 WHG obliegt die Unterhaltung oberirdischer Gewässer dem jeweiligen Eigentümer. Maßnahmen im Rahmen der Gewässerunterhaltung, also auch die Entnahme von festen Stoffen wie beispielsweise Sedimenten, stellen gemäß § 9 Abs. 3 Satz 2 WHG keine Benutzung des Gewässers dar. Demnach entfällt auch die sonst nach § 8 Abs. 1 WHG notwendige Erlaubnis- bzw. Bewilligungspflicht für Benutzungen. Ausgenommen davon sind Unterhaltungsmaßnahmen, bei denen Chemikalien eingesetzt werden. Unterhaltungsmaßnahmen sind demnach nicht gesondert wasserrechtlich genehmigungs- oder anzeigepflichtig. Diese Befreiung von einer Genehmigungs- bzw. einer Anzeigepflicht kann jedoch aufgrund des Wasserhaushaltsgesetzes selbst oder durch weitere erlassene Vorschriften (gemäß § 8 Abs 1 WHG) beschnitten sein. Beispielsweise kann die zuständige Behörde auf Grundlage des § 42 Abs. 1 WHG erforderliche

Unterhaltungsmaßnahmen anordnen, näher festlegen oder diese verbieten. Dies kann notwendig sein, wenn die Erreichung der Bewirtschaftungsziele gefährdet ist.

Das WHG wird durch die Wassergesetzgebung der Länder in Länderrecht überführt und bildet dabei als Bundesgesetz den rechtlichen Rahmen der einzelnen Ländergesetze.

2.2.2 Gesetzliche Regelungen der Länder

In den einzelnen Bundesländern werden die Bestimmungen aus dem WHG in den jeweiligen Landeswassergesetzen (LWG) konkretisiert. Dort ist unter anderem aufgeschlüsselt, wer für die Beräumung von Talsperren verantwortlich ist.

Grundsätzlich werden die einzelnen Gewässerabschnitte der Bundesländer in den jeweiligen LWG in Gewässer erster, zweiter und gegebenenfalls dritter Ordnung eingeteilt. Gewässer erster Ordnung besitzen eine überregionale Bedeutung für das Flussgebiet und dessen Bewirtschaftung. Da Talsperren meist künstlich angelegte Strukturen innerhalb eines Gewässers darstellen, werden Talsperren und Stauhaltungen meist als Anlagen im Gewässer bezeichnet. In diesem Fall ist die Unterhaltungslast durch andere Paragraphen des Wassergesetzes geregelt. Üblicherweise ist sie Aufgabe der Betreiber. Ausnahmen bilden hier Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen. In diesen Bundesländern sind Talsperren Gewässer der ersten Ordnung und die Unterhaltung der Anlagen unterliegt in der Regel dem Land.

Im Folgenden werden einzelne rechtliche Regelungen in den Bundesländern näher betrachtet. Die Stadtstaaten und Schleswig-Holstein werden nicht berücksichtigt, da diese Länder über keine bedeutenden Talsperren oder Hochwasserrückhaltebecken verfügen. Der kurze Überblick erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

In **Baden-Württemberg** wird vergleichbar mit vielen anderen Bundesländern zwischen Gewässern und Anlagen in Gewässern unterschieden. Die Unterhaltung von Wasserbecken, die überwiegend dem Hochwasserschutz oder der Niedrigwassererhöhung dienen und überörtliche

Bedeutung besitzen, ist gemäß § 63 Abs. 3 WG (Wassergesetz Baden-Württemberg) dem Land übertragen und kann von öffentlich-rechtlichen Körperschaften übernommen werden. Der Träger der Unterhaltungslast ist der Unterhaltungspflichtige. Die Zuordnung der Talsperren zu einer Gewässerkategorie kann über die Unterhaltungslast entscheiden und ist in § 32 WG geregelt. Aufgrund einer bestehenden Ausbaulast (§ 54 WG) sind die Träger der Unterhaltungslast auch zu einem Ausbau des Gewässers verpflichtet, sofern die Unterhaltung den ordnungsgemäßen Wasserabfluss im Rahmen eines ökologisch verträglichen Hochwasserschutzes sowie für die naturnahe Entwicklung des Gewässers zum Ziel hat (gemäß § 54 Abs. 1 Satz 1 WG). Eine Genehmigungspflicht für die Umsetzung solcher Maßnahmen existiert nicht.

In **Brandenburg** sind Talsperren und Stauanlagen nach BbgWG (Brandenburgisches Wassergesetz) Anlagen im Gewässer. Die Unterhaltung obliegt dem Nutzungsberechtigten, also im Fall einer Talsperre dem Betreiber.

In **Bayern** ist für den Betrieb und ebenfalls für die Unterhaltung der Talsperren der Freistaat Bayern über die 17 Wasserwirtschaftsämter verantwortlich. Der Freistaat ist hierbei Eigentümer der Talsperren. Eine Zuordnung der Talsperren zu den Gewässerkategorien ist nicht vorgesehen.

In **Hessen** sind Talsperren keiner Ordnung zugeteilt, sondern Anlagen im Gewässer. Diese müssen nach § 25 Abs. 1 HWG (Hessisches Wassergesetz) vom jeweiligen Eigentümer unterhalten werden.

In **Mecklenburg-Vorpommern** gehören Talsperren gemäß § 49 LWaG (Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern) zu den Gewässern erster Ordnung. Die Unterhaltung obliegt auf Grundlage von § 63 Abs. 1 LWaG dem Land.

Die **niedersächsische** Wasserbehörde kann gemäß § 70 NWG (Niedersächsisches Wassergesetz) die Unterhaltung von Talsperren auf den Unternehmer bzw. Betreiber der Talsperre mit öffentlich-rechtlicher Wirkung übertragen, sofern der Betroffene seine Zustimmung gibt.

In **Nordrhein-Westfalen** gelten Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken nach §105 LWG (Landeswassergesetz Nordrhein-Westfalen) als Anlagen zum Anstauen eines Gewässers bzw. zum dauernden Speichern von Wasser oder schlammigen Stoffen. Die Betreiber sind nach §106 Abs. 1 LWG zur Unterhaltung der Anlagen durch qualifiziertes Personal verpflichtet.

In **Rheinland-Pfalz** nimmt das Land gemäß §63 Abs. 5 des LWG (Landeswassergesetz Rheinland-Pfalz) die Unterhaltung von Wasserspeichern wahr, die „überwiegend dem Zwecke der Hochwasserrückhaltung oder der Niedrigwasseraufhöhung dienen und übergebietliche Bedeutung haben, Die Unterhaltspflichtigen erstatten dem Land drei Viertel der entstandenen Aufwendungen.“

Im **Saarland** werden Talsperren und Stauanlagen unter den Gewässern dritter Ordnung geführt, da es sich gemäß §3 Abs. 1 Nr. 3 SWG (Saarländisches Wassergesetz) um stehende bzw. künstliche oberirdische Gewässer handelt. Gewässer dritter Ordnung müssen vom Betreiber unterhalten werden. Weitere Regelungen finden sich in Planfeststellungsbeschlüssen bzw. Betriebsplänen. Bei der Unterhaltung genügt eine Anzeigepflicht gemäß §56 Abs. 2 SWG.

Sachsen hat eine Landestalsperrenverwaltung mit der Unterhaltung der Talsperren des Landes beauftragt (gemäß §80 Abs. 2 SächsWG – Sächsisches Wassergesetz). Der überwiegende Teil der sächsischen Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken werden in den Anlagen 3 und 4 des SächsWG als Gewässer erster oder zweiter Ordnung definiert, die der Verantwortlichkeit der Landestalsperrenverwaltung unterliegen.

Sachsen-Anhalt regelt die Unterhaltung des überwiegenden Anteils der Stauanlagen durch das „Gesetz zur Errichtung einer Anstalt des öffentlichen Rechts – Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt“ (Talsperrenbetriebsgesetz). In Anlage 1 dieses Gesetzes werden alle betroffenen Stauanlagen aufgelistet.

In **Thüringen** wird die Thüringer Fernwasserversorgung durch das Thüringer Gesetz über die Fernwasserversorgung als rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts bestimmt. Diese hat unter anderem die Unterhaltung

von Stauanlagen zur Aufgabe, die in der Anlage des Gesetzes aufgelistet sind (vgl. §4 ThürFWG).

Durch die Bundes- und Landesgesetzgebung werden Unterhaltungsmaßnahmen für Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken größtenteils von der Genehmigungspflicht ausgenommen. In den meisten Fällen obliegt die Unterhaltung den Betreibern, oftmals eine Anstalt des öffentlichen Rechts. In einigen Ländern besteht für Unterhaltungsmaßnahmen eine Anzeigepflicht. Über die Zusammensetzung der Sedimente in Talsperren oder Hochwasserrückhaltebecken liegen jedoch nur wenige Informationen bei den jeweiligen Wasserbehörden vor.

2.3 Baggergut – Grundlagen der Verwertung

2.3.1 Rechtsgrundlagen zur Baggergutverwertung

Weist Baggergut nach §3 Abs. 1 Satz 1 KrWG Abfalleigenschaften auf, so gilt das KrWG. Es regelt die rechtlichen Anforderungen bezüglich des Umgangs mit Abfällen. Laut den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft sind Abfälle in erster Linie zu vermeiden und wiederzuverwenden, erst in zweiter Linie zu recyceln oder zu verwerten (§6 KrWG). Abfälle, die nicht verwertet werden können, müssen zum Wohle der Allgemeinheit beseitigt werden und stehen damit dem Wertstoffkreislauf nicht mehr zur Verfügung (§15 KrWG).

Nach dem KrWG soll der Verwertung des Abfalls Vorrang vor der Entsorgung eingeräumt werden, wenn eine Vermeidung nicht möglich ist. Gemäß §7 Abs. 4 des KrWG besteht eine Verwertungspflicht, wenn die Verwertung wirtschaftlich zumutbar und technisch durchführbar ist. Im Fall von sehr aufwendigen und teuren Maßnahmen der Verwertung kann demnach eine Entscheidung zur Entsorgung durchaus berechtigt sein. Diese Konkurrenzsituation soll hier näher untersucht werden. Neben der allgemeinen Marktakzeptanz von Talsperrensedimenten werden in einem ersten Schritt die rechtlichen Grundlagen und Fragstellungen bezüglich der Verwendung von Talsperrensedimenten untersucht. Einer-

seits müssen die entsprechenden Maßnahmen immer rechtskonform ablaufen und den allgemeinen Regeln der Technik entsprechen, andererseits können komplizierte und langwierige Zulassungs- und Genehmigungsverfahren die Wirtschaftlichkeit gefährden. Hinzu kommt, dass ein möglicher Rechtsstreit zusätzliche Kosten verursachen und die Abläufe erheblich verzögern kann.

Bei der Verwertung existieren verschiedene Optionen, Baggergut in der Wertstoffkette zu platzieren. Es besteht die Möglichkeit, es als Boden in der durchwurzelbaren oder unterhalb der durchwurzelbaren Schicht einzubringen oder das Baggergut anderweitig als Erdbaustoff zu nutzen. Des Weiteren ist der Einsatz in Baustoffen denkbar.

Die übergeordneten rechtlichen Bestimmungen werden hier in Bezug auf die grundlegenden Gesetze dargestellt. Aufgrund einer teilweise konkurrierenden Gesetzgebung wird der Themenkomplex Abfallverwertung oftmals durch Einzelfallentscheidungen beeinflusst. Es ist nicht immer klar ersichtlich, welche gesetzlichen Vorgaben anzuwenden sind. Die Vorschriften zum Bodenschutz und zum Grundwasserschutz sind vom Gesetzgeber nicht in einem zusammenhängenden Gesetz oder in einer entsprechenden Verordnung vereinheitlicht worden. Die Bestimmungen aus dem KrWG fließen ebenfalls nur übergeordnet in die Belange des Boden- und Grundwasserschutzes mit ein. Kreuzbezüge in den Gesetzen fehlen grundsätzlich.

Weitere Merkblätter und Normen definieren einerseits den aktuellen Stand der Technik und geben andererseits praxisorientierte Leitlinien für die Umsetzung der Gesetzgebung vor.

Im Folgenden wird auf einzelne Verwertungsmöglichkeiten und deren rechtliche Besonderheiten näher eingegangen.

2.3.2 Verwertung als Boden

Bei der Verwertung des Baggergutes als Boden besteht grundsätzlich die Unterscheidung des Einsatzes als Boden auf bzw. innerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht oder der Verwendung unterhalb der durchwurzelbaren

Bodenschicht. Für beide Verwertungsmöglichkeiten gelten verschiedene Regelwerke und Gesetze.

Für die Verwendung des Baggergutes unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht existiert ein von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) verfasstes Merkblatt 20 (LAGA 2003). Es wird allgemein zur Bewertung von mineralischen Abfällen verwendet.

Die im Teil I (Allgemeiner Teil, LAGA 2003) vorgestellten Regeln gelten ausschließlich für die Bewertung der Schadlosigkeit der Verwertung von:

- mineralischen Abfällen, die ungebunden oder gebunden in technischen Bauwerken eingebaut werden,
- mineralischen Abfällen, die zur Herstellung von Baustoffen verwendet werden,
- Bodenmaterial, das unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht in bodenähnlichen Anwendungen verwertet wird.

Die Teile II und III (Technische Regeln für die Verwertung sowie Probenahme und Analytik, LAGA 2004) werden laut Aussage der LAGA in den Bundesländern unterschiedlich gehandhabt. Zu den länderspezifischen Regelungen finden sich detaillierte Informationen auf den Internetseiten der LAGA (www.laga-online.de). Diese sind bei einer entsprechenden Verwertung der Abfälle (Nutzung der Sedimente) zu berücksichtigen.

Für die stofflichen Gehalte, zum Beispiel der Schwermetalle, hat die LAGA Einbauklassen mit sogenannten Zuordnungswerten (Z-Werten) entwickelt (LAGA 2003). Für die Verwertung sind dabei drei Einbauklassen vorgesehen. Material der Einbauklasse 0 mit dem Zuordnungswert Z0 kann uneingeschränkt in bodenähnlichen Anwendungen eingesetzt werden. Die Einbauklasse 1 steht für den eingeschränkten Einbau und ist noch einmal für ungünstige hydrologische Standortbedingungen (Z1.1) und günstige hydrologische Standortbedingungen (Z1.2) unterteilt. Für die Einbauklasse 2 mit dem Zuordnungswert Z2 müssen beim Einbau definierte Sicherungsmaßnahmen beachtet werden. Die Grenzwerte für die Einteilung sind in Tabelle 1 auszugswise dargestellt. Die Werte für die Eluate sind nicht mit aufgelistet,

Tab. 1: Zuordnungswerte für die Einteilung in die Einbauklassen der LAGA M20 (2003); Falls das Bodenmaterial nicht einer Korngröße zugeordnet werden kann, gilt die Spalte Lehm/Schluff.

Parameter [mg kg ⁻¹]	Z0 Sand	Z0 Lehm/Schluff	Z0 Ton	Z1	Z2
Arsen	10	15	20	45	150
Blei	40	70	100	210	700
Cadmium	0,4	1	1,5	3	10
Chrom	30	60	100	180	600
Kupfer	20	40	60	120	400
Nickel	15	50	70	150	500
Thallium	0,4	0,7	1	2,1	7
Quecksilber	0,1	0,5	1	1,5	5
Zink	60	150	200	450	1.500
TOC	0,5	0,5	0,5	1,5	5
PCB	0,05	0,05	0,05	0,15	0,5
PAK	3	3	3	3 (9)*	30

* für Z1.1

da sie im Rahmen dieser Studie nicht untersucht werden. Überschreiten die Werte die Grenze der Einbauklasse 2 (Z2), so ist eine Ablagerung in Deponien vorzunehmen.

Neben diesen Grenzwerten existieren ebenfalls Anforderungen für den Einbau von Abfällen in geschlossene Kreisläufe sowie für die Verwendung von Abfällen in Produkten. Im ersten Fall muss sichergestellt sein, dass § 7 Abs. 3 KrWG entsprochen wird und es zu keiner Schadstoffanreicherung im Wertstoffkreislauf kommt. Für den Fall, dass Abfall in Produkten verwendet wird, zum Beispiel als Zuschlagstoff für Beton oder in der Zementherstellung, muss ebenfalls gewährleistet sein, dass es zu keiner Anreicherung von Schadstoffen in den Produkten kommt. Insbesondere um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen, müssen aus abfallwirtschaftlicher Sicht Obergrenzen für die Schadstoffgehalte im zu verwendenden Abfall eingehalten werden (LAGA 2003). Ebenfalls dürfen Eluate der Produkte keine Grenzwerte überschreiten. Dafür sind die geltenden Regelwerke, insbesondere die technischen Regeln, zu beachten. Die weiteren, teils sehr fachspezifischen Regelungen, können dem Merkblatt 20 entnommen werden.

Wird der Abfall für die Herstellung einer **durchwurzelbaren Bodenschicht** verwendet, gelten anstelle des LAGA M20 das BBodSchG und die

BBodSchV i.V.m. der Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV – *Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden*. Die Vollzugshilfe wurde in Zusammenarbeit mit den Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften Boden (LABO), Abfall (LAGA), Wasser (LAWA) und dem Länderausschuss Bergbau (LAB) erarbeitet.

Inhalt dieser Vollzugshilfe sind die fachliche Konkretisierung der Vorgaben des § 12 BBodSchV sowie die Darstellung von Schnittstellen mit anderen Rechtsbereichen (Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV). Die Vollzugshilfe gilt bei der Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht (Fallgruppe I) sowie beim Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht (Fallgruppe II). Baggergut als Abfall wird bei den Materialien explizit genannt. Daher sind diese Vorschriften auch für Talsperresedimente anzuwenden.

Grundgedanke des Gesetzes und der Verordnung ist der vorsorgende Bodenschutz. Danach dürfen laut § 12 Abs. 2 BBodSchV die eingesetzten Materialien nicht die Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung hervorrufen und müssen mindestens eine der im Gesetz genannten Bodenfunktionen nachhaltig sichern oder wiederherstellen. Auf diese Funktionen wird später im Einzelnen

eingegangen. Diese Maßgabe muss von allen Beteiligten, zum Teil auch eigenverantwortlich, beachtet werden (gemäß §7 BBodSchG). Um eine reibungslose und vor allem gesetzeskonforme Handhabung zu gewährleisten, wird in der Vollzugshilfe zu §12 BBodSchV dringend eine rechtzeitige Beteiligung der Bodenschutzbehörden empfohlen. In vielen Fällen bestehen ohnehin landesrechtliche Anzeigepflichten. Die Bodenschutzbehörden haben gemäß §10 Abs. 1 BBodSchG i. V. m. §12 BBodSchV weitreichende Kompetenzen für den Fall, dass von einer schadhafte Bodenveränderung aufgrund von Materialeintrag auszugehen ist. Neben den Möglichkeiten der Untersagung oder Anordnung der Beseitigung können die Behörden auch weitere Untersuchungen hinsichtlich der Material-, Standort- und Bodeneigenschaften anordnen (§12 Abs. 3 BBodSchV).

Im Rahmen der Beurteilung, ob von einem Boden eine Gefährdung für Mensch und Umwelt ausgeht, sind mehrere Aspekte zu untersuchen. Diese werden im Folgenden skizziert; eine ausführliche Beschreibung und Darstellung der Ausnahmeregelungen findet sich im Volltext der Vollzugshilfe.

Grundsätzlich besteht für die Einschätzung, ob von einer Verwertung von Abfall als Boden eine Beeinträchtigung für die Umwelt ausgehen kann, die Regel, dass Vorsorgewerte (Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV) nicht überschritten werden dürfen (§9 Abs.1 Nr. 1 BBodSchV). Diese Vorsorgewerte sind in Tabelle 2 ausschnittsweise für eine Verwertung innerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht aufgelistet. Die Eluatwerte bleiben wie auch bei der vorherigen Betrachtung unberücksichtigt.

Zudem ist die erhebliche Anreicherung von Schadstoffen, die den Tatbestand nach §9 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 erfüllen, zu vermeiden. Die stofflichen Qualitätsanforderungen der BBodSchV einschließlich der stofflichen Anforderungen der DIN 19731 gelten als eingehalten, wenn beide oben beschriebenen Vorgaben erfüllt sind. Des Weiteren sind für die Beurteilung des Baggergutes unter anderem folgende Kriterien zu beachten:

- a. allgemeine Anforderungen an das Abfallrecht
- b. Anforderung an die nachhaltige Sicherung und Wiederherstellung von Bodenfunktionen (definiert durch §2 BBodSchG)

Die allgemeinen Anforderungen an das Abfallrecht entstammen dem KrWG. Die Verwertung darf dem Wohl der Allgemeinheit jedoch nicht schaden. So darf keine Anreicherung von Schadstoffen im Wertstoffkreislauf erfolgen (§7 Abs. 3 KrWG). Darüber hinaus darf Abfall zum Zwecke der umweltverträglichen Verwertung weder durch die Zugabe von geringer belastetem Abfall gleicher Herkunft noch durch Vermischung mit anderen geringer belasteten Materialien auf unkritische Schadstoffgehalte eingestellt werden (§9 Abs. 2 KrWG), jedoch ist dies erlaubt, wenn das Material „die Anforderungen an eine ordnungsgemäße und schadlose Verwertung nach §7 Abs. 3 KrWG eingehalten und schädliche Auswirkungen der Abfallbewirtschaftung auf Mensch und Umwelt durch die Vermischung nicht verstärkt werden und das Vermischungsverfahren dem Stand der Technik entspricht“. Dies kann bei der Förderung von Sedimenten sehr alter Talsperren von Belang

Tab. 2: Vorsorgewerte für Böden nach BBodSchV

Parameter [mg kg ⁻¹]	Sand	Lehm/Schluff	Ton
Arsen	–	–	–
Blei	40	70	100
Cadmium	0,4	1,0	1,5
Chrom	30	60	100
Kupfer	20	40	60
Nickel	15	50	70
Thallium	–	–	–
Quecksilber	0,1	0,5	1,0
Zink	60	150	200

sein, da unter Umständen die Schadstoffgehalte über das Tiefenprofil der Sedimentablagerungen stark variieren können.

Ziel des Einsatzes von Baggergut als Boden ist die nachhaltige Sicherung oder Wiederherstellung von Bodenfunktionen (§ 12 Abs. 2 Satz 1 zweiter Spiegelstrich BBodSchV). Darin wird auf § 2 Abs. 2 Nr. 1 und Nr. 3 Buchstabe b und c BBodSchG verwiesen. Eine Besonderheit stellt hier die Gesamtmächtigkeitsbegrenzung von 2,0 m durchwurzelbarer Bodenschicht dar. Ab dieser Mächtigkeit sind laut DIN 19731 eine bodenverbessernde Wirkung für den Standort nicht mehr zu erwarten und damit die Nützlichkeitsanforderungen nach § 12 Abs. 2 BBodSchV nicht erfüllt. Die Festlegung der Grenzmächtigkeit kann sich standortspezifisch unterscheiden. Es bestehen weitere Begrenzungen der Einbauhöhe etwa durch die Nutzung bzw. Folgenutzung der erstellten Bodenschicht und durch die Vegetationsart. Nähere Informationen sind der Tabelle II-1 der Vollzughilfe zu § 12 BBodSchV zu entnehmen.

Für die technische Ausführung der Aufbringung sind Anforderungen durch die DIN 19731 festgelegt. Die BBodSchV gibt in § 12 Abs. 3 folgende Untersuchungspflichten des Materials vor:

„(3) Die nach § 7 des Bundes-Bodenschutzgesetzes Pflichtigen haben vor dem Auf- und Einbringen die notwendigen Untersuchungen der Materialien nach den Vorgaben in Anhang 1 durchzuführen oder zu veranlassen. Die nach § 10 Abs. 1 des Bundes-Bodenschutzgesetzes zuständige Behörde kann weitere Untersuchungen anordnen, wenn das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung zu besorgen ist; hierbei sind die Anforderungen nach DIN 19731 zu beachten“ (Ausgabe 7/98). [zum Beispiel Kap. 5.1 und 5.5 sowie Kap. 6 dieser DIN]

Bei einer landwirtschaftlichen Nutzung bzw. Folgenutzung gelten besondere Vorschriften. Es wird in diesem Fall davon ausgegangen, dass dem Boden im Rahmen der Bewirtschaftung Schadstoffe zugeführt werden. Gemäß § 12 Abs. 4 BBodSchV sind daher nur 70 % der Vorsorgewerte nach Anhang 2 Nr. 4 BBodSchV als Grenzwert anzusetzen und einzuhalten. Es handelt sich hierbei somit um ein strengeres Prüfkriterium als bei den zuvor beschriebenen Verwendungsarten.

Das Kapitel II-8 der Vollzughilfe erläutert Ausnahmeregelungen für Gebiete mit erhöhten Schadstoffgehalten, zum Beispiel gemäß § 12 Abs. 10 BBodSchV. Talsperrensedimente mit erhöhten Schadstoffgehalten akkumulieren in Regionen mit bereits erhöhter Hintergrundbelastung. Aufgrund dieser natürlichen erhöhten Hintergrundbelastung kann ein geringer belastetes Sediment zur Bodenverbesserung eingesetzt werden, auch wenn es bezogen auf den Bundesdurchschnitt erhöhte Schadstoffgehalte aufweist. Dies würde den Einsatz solcher Sedimente auf regionale Verwertungsorte beschränken.

Im Zusammenhang mit der Untersuchung von Nutzungsmöglichkeiten für Talsperrensedimente gelten ferner die folgenden rechtlichen Vorgaben:

- Berücksichtigung einer bedarfsangepassten Nährstoffzufuhr zur weitgehenden Vermeidung von Nährstoffeinträgen ins Gewässer,
- Festlegung von Ausschlussflächen, bei denen kein Material ein- bzw. aufgebracht werden darf, da sie die Bodenfunktionen nach § 2 Abs. 2 Nr. 1 und Nr. 2 BBodSchG in besonderem Maße erfüllen,
- weitere Anforderungen an die technische Ausführung.

Weiterführende Erläuterungen sind in der Vollzughilfe des § 12 BBodSchV aufgeführt.

2.3.3 Verwertung von Bodenmaterial und Baggergut in technischen Bauwerken und in Bauprodukten

Für den Einsatz von Baggergut in technischen Bauwerken und auch beim Einsatz der Materialien in Bauprodukten werden im Anhang 3 der Vollzughilfe zu § 12 der BBodSchV Regelwerke zu den jeweiligen Anwendungsgebieten benannt. Demnach sollen für die oben genannten Verwertungszweige die LAGA M20 und das Merkblatt „Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser“ (2011) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) angewendet werden. Wie bereits in Kap. 2.3.2 erwähnt, bestehen die

Besonderheiten der LAGA M20 weiterhin. Das DIBt ist nach §3 Bauproduktengesetz (BauPG) die notifizierende Behörde für die Notifizierung von Bauprodukten nach Artikel 39 der EU-Bauproduktenverordnung (EU-BAUPVO).

Das DIBt veröffentlichte in seinem Merkblatt (Fassung von 2011) die Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser. Aufgrund der Unteilbarkeit von „Boden“ und „Grundwasser“ wurde ein fachübergreifendes Bewertungskonzept in Zusammenarbeit von mehreren Fachstellen erarbeitet. Das Merkblatt ist dreigeteilt. In Teil I ist das allgemeine Bewertungskonzept vorgegeben. Damit kann sichergestellt werden, dass vom eingesetzten Bauprodukt kein Schaden für Boden und Grundwasser ausgeht. Behandelt werden Bauprodukte, die entweder direkt auf dem Boden aufliegen oder im Kontakt mit dem Boden sind. Letztgenannte werden auch als erdberührende Bauteile bezeichnet. Es wird darauf hingewiesen, dass sich aus standortspezifischen Besonderheiten weitere Fragestellungen ergeben können, über die im Einzelfall zu entscheiden ist. Teil II umfasst Bewertungskonzepte für spezielle Bauprodukte wie Betonausgangsstoffe und Beton und in Teil III sind die Analyseverfahren beschrieben (DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK 2011).

3 Nutzung von Baggergut

3.1 Physikalische und chemische Eigenschaften

Talsperrensedimente werden aus dem Stauraum zumeist mittels Baggertechniken entnommen. Diese Entnahme macht das (vergleichsweise) lockere Sediment zu Baggergut. Je nach natürlicher Zusammensetzung kann das Baggergut sehr unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen. Die physikalischen Eigenschaften werden durch den Gewinnungsprozess beeinflusst. Sie entsprechen nicht genau den Eigenschaften des Sediments im Gewässer (BRAY 2008). Die folgenden Ausführungen geben einen kurzen Überblick über grundsätzliche Eigenschaften von Baggergut.

Physikalische Eigenschaften

Baggergut liegt in unterschiedlichen Korngrößen vor. Die Massenanteile der einzelnen Korngrößenfraktionen bestimmen die Korngrößenverteilung. Im Folgenden werden die deutschen Sedimentbezeichnungen der DIN EN ISO 14688-1, 2003 verwendet, die in Tabelle 3 dargestellt sind. Neben den boden- bzw. sedimentzugehörigen Bestandteilen sind im Baggergut zum Teil boden- bzw. sedimentfremde Bestandteile wie beispielsweise Bauschutt enthalten (BRÄUNIG et al. 2004).

Nicht nur die Korngröße, sondern auch die Kornform ist eine wesentliche Eigenschaft der Komponenten des Baggerguts. Spezifisches Gewicht, In-situ-Dichte, Schüttdichte, Absetzverhalten,

Tab. 3: Einteilung von Baggergut nach Korngrößenklassen (DIN EN ISO 14688-1, 2003)

Korngröße		Korngröße [mm]
Kies	Grobkies	> 20–63
	Mittelkies	> 6,3–20
	Feinkies	> 2,0–6,3
Sand	Grobsand	> 0,63–2,0
	Mittelsand	> 0,2–0,63
	Feinsand	> 0,063–0,2
Schluff	Grobschluff	> 0,02–0,063
	Mittelschluff	> 0,0063–0,02
	Feinschluff	> 0,002–0,0063
Ton		< 0,002

Wassergehalt, Wasserbindung, Plastizität und Scherfestigkeit sind maßgeblich für die Bestimmung von In-situ-, Transport- und Einbauvolumen des Materials. Menge und Anzahl der Festkörper pro Volumeneinheit Lockersediment sind beispielsweise entscheidend für die Verdichtbarkeit. Einen weiteren entscheidenden Faktor stellt die Wasserdurchlässigkeit des Materials dar, die von der Partikelgröße und dem Konsolidierungsverhalten abhängt. Der organische Anteil ist bedeutend, da dieser die Plastizität, Kompressibilität, Durchlässigkeit, Festigkeit und die chemische Pufferkapazität beeinflusst sowie die Immobilisierung von Schadstoffen erhöhen kann (BRAY 2008; PIANC MARCOM WORKING GROUP 6 1984).

Chemische Eigenschaften

Neben den physikalischen Eigenschaften sind die chemische Zusammensetzung sowie chemische Parameter wie zum Beispiel der Redox-Wert, der pH-Wert, die Kationenaustauschkapazität (KAK-Wert) und der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB) von besonderer Bedeutung für die Nutzung von Baggergut. Ein entscheidender Parameter ist der pH-Wert. Er dient unter anderem als Indikator zur Beurteilung der Mobilität vieler Schadstoffe im Sediment.

Die Gesamtmenge des organischen Kohlenstoffs (TOC-Wert) ist ebenfalls von Bedeutung. Er setzt sich aus den Summenparametern ungelöster organisch gebundener Kohlenstoffe, flüchtiger organisch gebundener Kohlenstoffe und gelöster organischer Kohlenstoffe (DOC) zusammen. Aus dem DOC lassen sich Aussagen über den Gehalt an zahlreichen organischen Schadstoffen, wie polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) und polychlorierten Biphenylen (PCBs), ableiten.

Als Indikator für die organischen Anteile im Wasser dient der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB), der die zum biologischen Abbau der organischen Schadstoffe nötige Sauerstoffmenge angibt. Nährstoffgehalte wie Stickstoff (N) und Phosphor (P) beeinflussen ebenfalls die Wasserqualität und schränken daher möglicherweise eine Nutzung der dort gewonnenen Sedimente ein.

Die Kationenaustauschkapazität (KAK, T-Wert) ist ein Maß für das Immobilisierungspotenzial von Schadstoffen, wie beispielsweise Schwermetall-

len, durch das Sediment. Das Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N-Verhältnis) ist bedeutend für das Wachstum von Bodenmikroben und Pflanzen. Kenntnisse über den Kaliumgehalt (K) ermöglichen Aussagen über die Eignung des Materials zur Etablierung von Vegetation (BRAY 2008).

Für Schwermetalle liegt keine einheitliche wissenschaftliche Definition vor. Häufig wird mit diesem Begriff in der Fachliteratur eine Gruppe von Metallen bezeichnet, deren Dichte größer als 5g/cm^3 ist. Sie sind in Gesteinen, Böden, Wasser und Pflanzen in geringen Konzentrationen nachweisbar und teils natürlichen und teils anthropogenen Ursprungs. Bereits geringe Konzentrationen können vor allem bei folgenden Schwermetallen bedenklich im Hinblick auf ihre Wirkung für Mensch und Umwelt sein: Blei (Pb), Chrom (Cr), Cadmium (Cd), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Nickel (Ni) und Quecksilber (Hg) (BRAY 2008). Zur Einschätzung der Stabilität von Schwermetallen und organischer Substanz im Sediment dient das Redoxpotenzial.

3.2 Gewinnung durch Entsedimentierungsmaßnahmen

Bei der Entnahme von Lockersedimenten (Baggergut) aus Talsperren handelt es sich um sogenannte Entsedimentierungsmaßnahmen. Sie dienen dazu, die Funktion der Talsperren auch zukünftig uneingeschränkt zu gewährleisten. Voraussetzung für die Entnahme von Baggergut sind unter anderem eine exakte Vermessung des Stausees und die Ermittlung des Stauvolumens (GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ABWASSERTECHNIK 2001). Die Gewinnung des Sediments erfolgt in der Regel mittels Trocken- oder Nassbaggerung. Bei der Trockenentnahme werden gängige Erdbaugeräte (Bagger) genutzt, die nach der Entwässerung der Talsperre eingesetzt werden. Die Entwässerung kann allerdings einen längeren Zeitraum in Anspruch nehmen und damit den Betrieb der Talsperre für die Dauer der Entnahmemassnahme stark einschränken. Zu berücksichtigen sind darüber hinaus insbesondere die ökologischen Auswirkungen durch das Absenken des Wasserspiegels (PIANC WG 100 2009). Häufig muss aus ökologischen oder – im Fall von Talsperren, die zur Energiegewinnung genutzt werden – auch aus Gründen der Aufrechterhaltung einer fortlaufenden Energieerzeugung ein niedriger Wasser-

stand im Gewässer erhalten bleiben, sodass eine Trockenbaggerung nicht infrage kommt.

Die Nassentnahme hingegen kann bei normalem bzw. leicht abgesenktem Wasserstand durchgeführt werden, wodurch sich geringere Einschränkungen des Regelbetriebes im Rahmen der Entnahmemaßnahme als bei der Trockenbaggerung ergeben. Das Lösen des Materials sowie dessen Transport an Land erfolgen mechanisch oder hydraulisch. Mechanisch werden beispielsweise das Lösen und die Entnahme des Materials aus dem Staubereich mithilfe von diskontinuierlich arbeitenden Greifbaggern oder kontinuierlich arbeitenden Eimerkettensystemen realisiert. Das entnommene Sediment kann nachfolgend mithilfe von Bandanlagen an Land transportiert werden, die auf Pontons installiert sind.

Die hydraulische Gewinnung erfolgt meist mithilfe von Saugbaggern. Diese fördern ein Gemisch aus Sediment und Wasser, das wiederum hydraulisch, zum Beispiel über schwimmende Rohrleitungen, an Land transportiert werden kann. Die maximale, wirtschaftlich noch vertretbare Förderentfernung liegt hier bei etwa 2,5 km. Gegebenenfalls ist diese Entfernung durch Druckerhöhung in Zwischenpumpstationen verlängerbar. Der Nachteil der hydraulischen Gewinnung liegt in der Notwendigkeit des Einsatzes von Spezialgeräten und deren vergleichsweise geringer Förderleistung. Es kann während der Entnahme zudem zu Trübeströmen innerhalb des Gewässers kommen, welche das Ökosystem signifikant beeinflussen könnten (MORRIS & FAN 1998).

Neben den beschriebenen Maßnahmen zur Entfernung von Sedimenten im Stausee gibt es alternativ Möglichkeiten, um deren Akkumulation in Talsperren zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Hier sind insbesondere Elemente im Einzugsgebiet zu nennen, die beispielsweise dem Erosionsschutz und dem Geschieberückhalt dienen. Diese bewirken meist eine Verlagerung des Sedimentanfalls in Vorsperren oder Geschieberückhaltebecken. Zudem sind Vorkehrungen an der Talsperre selbst möglich. So können beispielsweise Talsperren erhöht oder der Stauspiegel während sedimentreicher Hochwasserphasen abgesenkt werden. Diese Maßnahmen bedürfen jedoch eines vergleichsweise hohen Aufwandes (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. 2006).

Eine neue Methode, der Verlandung entgegenzuwirken besteht darin, das Sediment im Unterstrom kontinuierlich auszutragen. Im Rahmen des vom Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH Aachen durchgeführten Projektes „Konsed“ (Kontinuierliche Sedimentverlagerung zur Wiederherstellung eines natürlichen Sedimenttransports) wurden Untersuchungen zu dieser Methode durchgeführt. Ein natürlicher Sedimenttransport wird in diesem Fall durch ein neu entwickeltes Arbeitsgerät wiederhergestellt. Es nimmt Sedimente bis zu einer bestimmten Korngröße mittels Saug- und Druckleitung auf und transportiert diese zu den Abflussorganen der Stauanlage, wodurch sie stromabwärts befördert werden. Reguläre Abflussorgane sind beispielsweise Schütze, Wehre oder Turbinen (SCHÜTTRUMPF et al. 2012).

3.3 Transport

Nach der Entnahme des Baggerguts muss dieses zur Aufbereitung oder direkt zum Einsatzort an Land transportiert werden. Die Eigenschaften des Baggerguts und die örtlichen Gegebenheiten bestimmen hierbei die Anforderungen an den Transport.

Bei der im vorangegangenen Kapitel erläuterten Nassentnahme ist ein Transport über Wasser erforderlich, um das Baggergut an Land zu befördern. Dies kann diskontinuierlich über Schuten erfolgen, die mithilfe eines Eigenantriebs oder durch einen Schlepper bewegt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Baggergut über Rohrleitungen, die auf dem Wasser schwimmen, an Land zu transportieren. Durch diese Rohrleitungen kann ein kontinuierlicher Förderprozess realisiert werden, da diese entweder direkt mit dem Saugbagger verbunden sind oder nach einem diskontinuierlichen Zwischenschritt mit Schuten für das Leerpumpen der Ladekähne installiert werden können (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. 2006; QUANDT 2007).

Wird das Baggergut nicht direkt am Gewässer genutzt, muss es weiter über Land transportiert werden. Die Auswahl des Transportmittels ist neben der Art und Menge des Sediments von dessen Wassergehalt und dem weiteren Aufbereitungsbedarf abhängig. Zudem spielt der

Charakter des Transportgeländes (nicht öffentliche Baustelle oder öffentlicher Straßenverkehr) eine Rolle. Genutzt werden können zum einen konventionelle Lastkraftwagen mit den notwendigen Aufsätzen sowie Muldenfahrzeuge. Rohrleitungen sind besonders zur (kontinuierlichen) Förderung nassen Materials geeignet, während Bandförderanlagen eher trockenes bzw. feuchtes Sediment transportieren können. Aufgrund des höheren Investitionsaufwandes und der bereits erwähnten kontinuierlichen Arbeitsweise sind die beiden letztgenannten vor allem bei einem längerfristigen Betrieb in Betracht zu ziehen (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. 2006; QUANDT 2007).

3.4 Aufbereitungsverfahren

Im Folgenden wird die Aufbereitung von Baggergut ausschließlich vor dem Hintergrund einer weiteren Nutzung betrachtet. Die Beseitigung im Sinne des KrWG ist nicht Teil der Untersuchung. Das Kapitel gibt einen kurzen Überblick über die Verfahren zur Aufbereitung.

Die Aufbereitung der Sedimente verfolgt hauptsächlich folgende ökonomische und ökologische Ziele (PATZOLD et al. 2008):

- Nutzung der maximal möglichen Menge des vorhandenen Materials
- Gewährleistung bzw. Einhaltung der Qualitätsanforderungen der entsprechenden Regelwerke
- Minimaler Ressourcenverbrauch (Energie und Wasser)
- Minimale Schadstoffbelastung anfallender Abwässer
- Hohe technische Zuverlässigkeit und Flexibilität

Die zukünftige Nutzung des Materials bestimmt, ob und wie das gewonnene Baggergut aufbereitet werden muss (vgl. Abb. 1).

Eine Aufbereitung wird notwendig, wenn das geförderte Baggergut nicht direkt weiterverwertet werden kann. Beispielsweise kann es zu hohe Wassergehalte aufweisen oder die Korngrößenverteilung muss an die Vorgaben des Abnehmers angepasst werden. Teilweise ist es zudem notwendig, Schadstoffe vor der weiteren Nutzung insbesondere aufgrund rechtlicher Regelungen abzutrennen (DEUTSCHE VEREINIGUNG

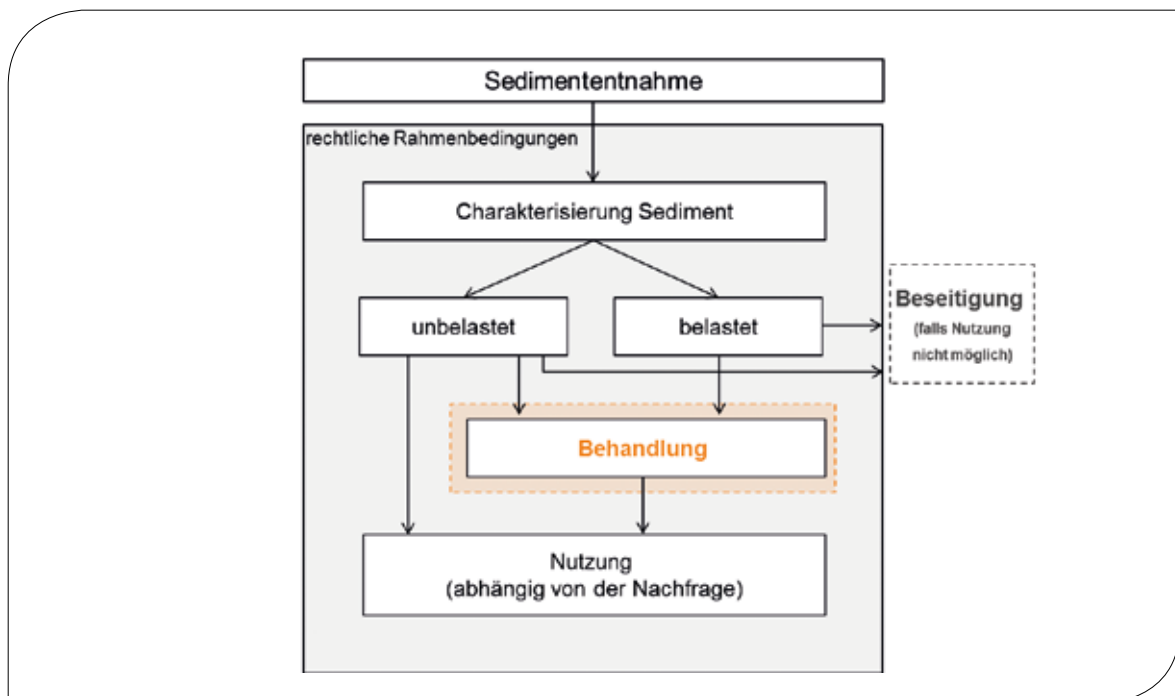


Abb. 1: Einordnung der Aufbereitung von Sediment in den Gesamtprozess

Tab. 4: Überblick über Aufbereitungsverfahren für Sedimente
(eigene Aufstellung in Anlehnung an DETZNER et al. 2007;
UMWELTBEHÖRDE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL 1995)

Aufbereitungsziel	Aufbereitungsverfahren
Entwässerung/Trocknung	Spülpolder Entwässerungssiebe Trocknung auf Reifemieten Siebbandpressen Kammerfilterpressen Geotextilien
Trennung nach der Korngröße (Klassierung)	Siebung
Trennung nach anderen physikalischen Eigenschaften (Sortierung)	Dichtentrennung
Schadstoffabtrennung	Chemische Extraktion Thermische Desorption
Schadstoffzerstörung	Biologischer Abbau Chemische Oxidation Thermische Oxidation
Schadstoffeinbindung	Thermische Einbindung Chemische Einbindung

FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. 2006). Einen Überblick über einige mögliche Aufbereitungsschritte gibt Tabelle 4.

Der erste Schritt der Aufbereitung ist meist die Abtrennung einzelner Korngrößenfraktionen über verschiedene Klassierungsverfahren. Hier kommen meist Siebe (Siebtürme) und gelegentlich Läutertrommeln zum Einsatz. Die anorganische Grobfraktion wird hierbei zunächst von der organischen Grobfraktion und der in der Regel schadstoffreicheren Feinfraktion abgetrennt.

Die Separation schadstoffarmer Sedimentpartikel wird durch Integration von Sortierprozessen in die Aufbereitungsanlagen erreicht. Diese trennen die einzelnen Partikel aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften, etwa in Bezug auf Oberflächenbeschaffenheit und Dichte. Ein Beispiel für Sortierungsverfahren ist die Sortierung mithilfe von Wendelscheidern oder Setzmaschinen, deren Funktion auf den unterschiedlichen Dichten der Materialien basieren (UMWELTBEHÖRDE DER FREIEN HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL 1995).

Die Entwässerung spielt bei der Behandlung von Baggergut eine besondere Rolle, da das Material für eine weitere Verwendung meist in einem möglichst trockenen Zustand vorliegen

muss. Die Entwässerung kann den genannten Verfahren zur Abtrennung von schadstoffarmem Material nachgeschaltet werden oder auch eigenständig, ohne vorherige Aufbereitung, erfolgen. Spülpolder bzw. Rinnen oder Entwässerungssiebe sind technisch einfache Methoden, die für Sande und Kiese genutzt werden können. Die Entwässerung von Schluff erfordert meist eine aufwendigere Technik wie beispielsweise Siebband- oder Kammerfilterpressen, deren Anwendung üblicherweise mit einem erhöhten Energiebedarf verbunden ist (HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2006). Ein neues Verfahren besteht darin, nach Vorabscheidung der Kiese und groben Sandfraktionen die Sedimente der Feinsand-, Schluff- und Tonfraktion mithilfe von wasserdurchlässigen Geotextilien aufzufangen und soweit zu entwässern, dass das Material transportfähig wird.

Die Trennung von nutzbarem Sediment und Schadstoffen kann über chemische Verfahren, zum Beispiel über die Zugabe von Extraktionsmitteln, erfolgen. Dabei werden organische Schadstoffe oder Schwermetalle in die flüssige Phase überführt und mit ihr vom Feststoff abgetrennt. Zudem besteht die Möglichkeit, mittels thermischer Desorption Schadstoffe im Sediment zu reduzieren. Durch Erhitzen werden bei diesem Verfahren organische Schadstoffe aus dem Sediment abgedampft (DETZNER et al.

Tab. 5: Technische Kriterien für Aufbereitungsverfahren – bewertet nach Umweltstandards (eigene Darstellung in Anlehnung an DETZNER et al. 2007)

Aufbereitungsverfahren	Sediment			Schadstoffbehaftung		Art der Schadstoffbehaftung	
	Schluff	Schluff/Sand	Sand	niedrig	hoch	organisch	anorganisch
Klassierung	√	√	√	√	√	√	√
Sortierung	√	√	√	√	√	√	√
Mechan. Entwässerung	(√)	√	√	√	√	√	√
Chemische Extraktion	√	√	√		√		√
Thermische Desorption	√	√	√		√	√	
Biologischer Abbau		√	√	√	√	√	
Chemische Oxidation	√	√	√		√	√	
Thermische Oxidation	√	√	√	√	√	√	
Thermische Einbindung	√	√	√	√	√	√	√
Chemische Einbindung	√	√	√	√	√	√	√

(√) eingeschränkt verwendbar

2007; UMWELTBHÖRDE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL 1995). Teilweise ist es ausreichend, an Schadstoffen angereicherte Korngrößenfraktionen mechanisch abzutrennen (siehe oben).

In den stark schadstoffbehafteten (Rest-)Fraktionen des Sediments, die bei den bereits genannten Verfahren anfallen, können die Schadstoffe unter anderem durch biologischen Abbau zerstört werden (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. 2006). Über einen Zeitraum von einigen Jahren werden durch das Einstellen optimaler Milieubedingungen für die Mikroorganismen die natürlichen Prozesse des biologischen Abbaus (organischer Schadstoffabbau) beschleunigt (HAFENBAUTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2006; UMWELTBHÖRDE DER FREIEN HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL 1995). Organische, biologisch nicht abbaubare Stoffe können durch chemische oder thermische Oxidation entfernt werden.

Technische Kriterien für die Auswahl der Aufbereitungsverfahren

Die genannten Aufbereitungsverfahren können nicht für alle Arten von Lockergesteinen gleichermaßen genutzt werden, wie die Einschränkungen in Tabelle 5 aufzeigen. Dort sind die möglichen Verfahren in Abhängigkeit von der durchschnittlichen Korngröße des Sediments (vgl. Kapitel 3.1) und dem Grad und der Art der Schadstoffbehaftung aufgeführt. Ist ein Verfahren bei bestimmten Sedimenteigenschaften nicht mit einem Haken gekennzeichnet, so kann es aufgrund einschränkender Umweltvorschriften¹ nicht angewendet werden (DEZNER et al. 2007). In Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Sediments können die Aufbereitungsverfahren miteinander kombiniert werden.

¹ Umweltstandards sind emissionsbezogene, produktbezogene oder biologische Normen und Standards (UMWELTBHÖRDE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL, 1995).

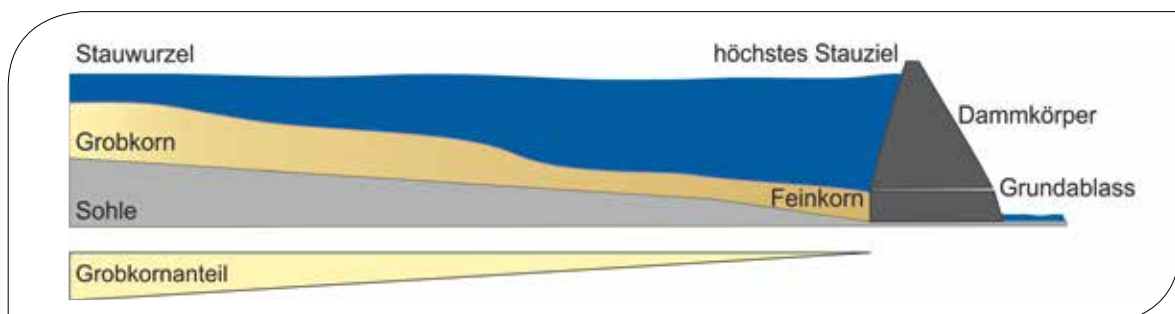


Abb. 2: Charakteristisches Verlandungsmuster von Stauseen

3.5 Verwertungsmöglichkeiten

In Deutschland wird Baggergut aktuell vor allem aus dem Küstenbereich genutzt (DEIBEL et al. 2007; NETZBAND et al. 2002; PIANC 2001). Eine Nutzung von Talsperrensedimenten ist jedoch nicht weit verbreitet. Große Stauseen werden etwa alle 30 bis 60 Jahre entsedimentiert; kleine Stauseen häufiger (BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN 2011). Zur Bewertung des Nutzungspotenzials von Talsperrensedimenten sind möglichst genaue Informationen über die anfallenden Mengen und Qualitäten des Baggerguts in den Talsperren erforderlich. Die Analyse der Sedimenteigenschaften bzw. möglicher Einflussfaktoren im Hinblick auf die Sedimentbeschaffenheit hilft, besonders geeignete Einsatzbereiche zu identifizieren. Im Rahmen dieser Studie werden dafür zum einen die verfügbare Literatur sowie Erkenntnisse aus der Praxis herangezogen, zum anderen werden die Resultate spezieller, an ausgewählten Talsperren durchgeführter Untersuchungen (vgl. Kapitel 4) dargestellt.

Stauseen und Talsperren ohne Vorsperren weisen ein charakteristisches Verlandungsmuster auf. Größere Korngrößenfraktionen (Kies bis Sand) werden verstärkt im Bereich der Stauwurzel abgelagert, während die Feinfraktionen (Schluff und Ton) bevorzugt in den strömungsärmeren, tieferen Bereichen in der Nähe des Dammkörpers sedimentieren (Abb. 2). Das Verlandungsmuster hängt von der Menge und Größe (Sinkgeschwindigkeit) der eingetragenen Feststoffe und von der Fließgeschwindigkeit (Sohlschubspannung) ab. Folglich wird das Verlandungsmuster besonders durch die Geometrie und die Bewirtschaftung des Stauraums beeinflusst (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. 2006).

Enthält der Stausee eine Vorsperre, so durchfließt das Fließgewässer zunächst die Vorsperre, bevor es den eigentlichen Hauptstauraum erreicht. Aufgrund der deutlich reduzierten Fließgeschwindigkeit sedimentieren die Partikel bevorzugt im Bereich der Vorsperre, in den Hauptstauraum gelangen somit deutlich weniger Sedimentpartikel. Im Verlandungsfall können Vorsperren einfach und separat beräumt werden. Besteht die Möglichkeit, das Wasser der Vorsperre abzulassen, so kann eine Beräumung sogar in Trockenbaggerung erfolgen. Der Hauptstauraum bliebe von einer solchen Maßnahme weitgehend

unberührt. Vorsperren erfüllen neben dem Sedimentrückhalt noch weitere Aufgaben. Sie dienen der Gefahrenabwehr für den Hauptstauraum und wassergütespezifischen Zwecken.

Die chemisch-physikalische Beschaffenheit der in den Talsperren sedimentierten Feststoffe hängt von ihrem Liefergebiet ab. Der Hauptanteil der Sedimente wird abhängig von Witterung, Topographie, Hydrologie, Geologie und Vegetation durch Zuflüsse in den Stausee eingetragen. Ein geringerer Anteil entsteht durch die Produktion und das Absterben von Biomasse im Wasser, was als biogene Verlandung bezeichnet wird.

Der Aufbereitungsweg der Talsperrensedimente sollte auf die gewünschten Anforderungen des „Endprodukts“ – die Korngrößenfraktionen – abgestimmt sein. Diese können dann in zahlreichen Anwendungen genutzt werden. Tabelle 6 zeigt einige Nutzungspfade für Baggergut in Abhängigkeit von der Korngröße. Es wäre demnach vorstellbar, Talsperrensedimente entweder vollständig direkt oder nach einem oder mehreren Aufbereitungsschritten als Zuschlagstoffe für die Baustoffindustrie oder im Erdbau zu verwenden. Gemäß der Korngrößenverteilung wäre ein Einsatz als Zuschlag, beispielsweise für die Beton-, Zement- oder Ziegelproduktion, denkbar. Im Erdbau könnte der Einsatz geeigneten Materials etwa im Deichbau bzw. als durchwurzelbare Bodenschicht erfolgen. Einige Beispiele werden im Folgenden näher erläutert.

3.5.1 Nutzung als durchwurzelbare Bodenschicht

Wird Baggergut auf landwirtschaftlich genutzten Flächen aufgebracht, wird das Material als durchwurzelbare Bodenschicht genutzt. Die Mächtigkeit des aufgebrachten Baggerguts beträgt bei landwirtschaftlicher Nutzung mindestens 0,5 m, im Durchschnitt 2 m (DIN 19731 und Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV 2002). Eine sachgemäße Aufbringung des Bodenmaterials ist unabdingbar, da landwirtschaftliche Böden die Voraussetzung für gesunde Nahrungsmittel sind und nicht beschädigt werden dürfen (BRÄUNIG et al. 2004). Laut BÄR (2011) ist diese Verwertungsmöglichkeit für Talsperrensedimente die beste Variante und stellt die ökonomisch und ökologisch günstigste Option dar.

Tab. 6: Beispielhafte Nutzungspfade in Abhängigkeit von der Korngröße
(in Anlehnung an PIANC WG 104 & ENVICom WORKING GROUP 14 2009;
BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG 2012)

Potenzielle Produkte	Mögliche Nutzungsarten
Kies (> 2 mm)	Betonzuschlag Deponiebau Erdbau allg.
Sand (0,063–2 mm)	Betonzuschlag Deichbau durchwurzelbare Bodenschicht Erdbau allg. Straßenbau Wiederaufspülung von Stränden
Schluff (0,002–0,063 mm)	Deichbau/Schutzdämme Deponiebau durchwurzelbare Bodenschicht Erdbau allg. Straßenunterbau Ziegelindustrie
Ton (< 0,002 mm)	Erdbau allg. Deichbau Deponiebau durchwurzelbare Bodenschicht Oberboden Straßenunterbau Zementindustrie Ziegelindustrie

Ziel der Aufbringung von Talsperrensedimenten ist die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Dies kann durch die Erhöhung des Humusgehaltes, den Ausgleich unterschiedlicher Humusgehalte verschiedener Teilflächen, die Anhebung des Tongehaltes, den teilflächenspezifischen Ausgleich der Bodenart, die Anhebung des pH-Wertes zur Erreichung eines pH-Optimums, die Verbesserung der Lagerungsdichte oder die Erhöhung des Niveaus nasser Flächen erreicht werden (HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2006). Nach dem Aufbringen des Sediments fördern Maßnahmen wie der Anbau tiefwurzelnder Pflanzen, der Zwischenfruchtanbau oder die Kalkung beziehungsweise Düngung des Sediments die spätere landwirtschaftliche Nutzung. Trockene Jahreszeiten sollten für die Bewirtschaftungs- und Pflegemaßnahmen genutzt werden (BRÄUNIG et al. 2004). Geeignet für die landwirtschaftliche Nutzung sind drei Korngrößenfraktionen, wovon Schluff am besten geeignet, Sand geeignet und Ton am wenigsten geeignet ist. Der Grobbodenanteil, also die Bodenfraktion mit Korngrößen über 2mm, sollte im Optimalfall geringer als 1% sein. Weiterhin nutzbar ist ein Grobbodenanteil bis 10%; nur eingeschränkt ist

Boden mit einem Anteil von 10% bis 30% Grobbodenanteil (DIN 19731, 1998) verwendbar.

Das Baggergut kann entweder direkt oder nach Vorbehandlung aufgebracht werden. Die Vorbehandlung beginnt mit der Einspülung und Trocknung des Baggerguts auf Spülpoldern. Darauf folgen die Trocknung auf Reifemieten, der Transport des Materials sowie die nachfolgende Verteilung auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Direktaufbringung unterscheidet sich vom zuvor beschriebenen Verfahren darin, dass das Material ohne vorherige Trocknung aufgebracht wird. Die Gewinnung erfolgt mit Saugbaggern, der Transport sowohl land- als auch wasserseitig über Rohrsysteme. Das Sediment wird auf der Fläche dann über eine Verteilereinheit ausgebracht (QUANDT 2007).

3.5.2 Verwendung als Deichkern und als Deckschicht

Ein weiteres potenzielles Anwendungsgebiet für Sedimente aus Talsperren stellt die Verwendung

bei Deichbaumaßnahmen dar. Deiche müssen aus einem besonders stabilen Material gebaut werden, um den angreifenden Kräften des Wassers standzuhalten. Konsolidierte Stein-, Kies- und Tonmischungen werden bevorzugt für den Bau von Binnen- und Küstendeichen genutzt. Auch Baggergut aus Talsperren kann hier als nutzbares Material infrage kommen. Im Fall von nicht-konsolidiertem Material muss dieses allerdings zuvor behandelt werden (PIANC WG 104, 2009). Vorzugsweise kommt eine Nutzung von Baggergut sowohl als Deichkern als auch als Deckschicht infrage. Für den Kern wird sandiges Baggergut benötigt, das den standardmäßig verwendeten Seesand ersetzen könnte. Eine Verwendung als Deckschicht erfordert kohäsives Material, welches dem Deich eine ausreichende Standsicherheit bietet und eine hohe Erosionsstabilität und ein geringes Rissbildungspotenzial aufweist (HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2006).

Aufgrund der regional nicht immer preiswert und in großen Mengen zur Verfügung stehenden Mergel bzw. Tone, die üblicherweise als Deichbaumaterial an der Nord- und Ostsee genutzt werden, wird dort aus ökologischen und ökonomischen Gründen der Ersatz durch entwässertes, feinkörniges, organisches Baggergut angestrebt. In einer Machbarkeitsstudie vom Bremischen Deichverband am linken Weserufer wurde die Eignung von Feinbaggergut für den Deichbau untersucht. Trotz der Schwermetallbelastung des Materials zeigen die Ergebnisse (ORTLAM 1989), dass eine Verwendung von Baggergut sinnvoll ist. Sie weist zum einen Vorteile bei der erdbautechnischen Verarbeitung auf, zum anderen ist der Einbau unter der Einhaltung rechtlicher Rahmenbedingungen möglich. In diesem Fall erlaubt das BBodSchG keine Aufbringung als Deckschicht, sondern auf Basis der Angaben der LAGA lediglich den Einbau unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht (BREMISCHER DEICHVERBAND AM LINKEN WESERUFER 2012).

An der Küste Mecklenburg-Vorpommerns ist das gebaggerte Material zumeist unbelastet und kann daher ohne weitere Einschränkungen und Auflagen im Deichbau eingesetzt werden. Die Nutzung von Spülfeldern ermöglicht die Verwendung von Sand als Deichkern sowie die getrennte Nutzung des feineren, bindigen Materials als Deckschicht. Jährlich werden etwa 100.000–130.000 m³ Baggergut bei einer Verwertung von annähernd 100 % genutzt. Diese Verwertungsquote ist dem Umstand geschul-

det, dass das Material auch anderweitig genutzt werden kann, beispielsweise als durchwurzelbare Bodenschicht (KIBBEL & HENNEBERG 2004).

Die bisherigen Forschungs- bzw. Pilotprojekte (unter anderem HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2006; KIBBEL & HENNEBERG 2004, UNIVERSITÄT ROSTOCK & UNIVERSITÄT DANZIG 2012) zeigen, dass auch für Talsperrensedimente die Verwertung im Deichbau eine Alternative darstellen könnte, da das Material grundsätzlich die notwendigen Eigenschaften erfüllt.

3.5.3 Nutzung bei der Herstellung von Zement

„Der Ausdruck Zement bezeichnet im weiteren Sinne jede Art von Material, das als Bindemittel einzelne Komponenten zu einem Ganzen verbindet“ (BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZEMENTINDUSTRIE E.V. & VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE E.V. 2002). Zemente in der Bauindustrie dienen als hydraulisches Bindemittel für Mörtel und Betone.

Da für die Herstellung von Zement ca. 70 % bis 80 % Kalkstein und 20 % bis 30 % Ton benötigt werden, könnte auch dieser Bereich eine weitere Nutzungsmöglichkeit für kalziumkarbonatreiches Talsperrensediment darstellen.

Praxisbeispiele für eine Verwertung von Baggergut bei der Zementherstellung gibt es bisher kaum. Eine technische Machbarkeit wird jedoch grundsätzlich nicht bezweifelt (HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2002). Das kalzitische Talsperrensediment müsste hierzu getrocknet und gemahlen werden. In einem Drehrohrofen würde das Material dann zu Zementklinker umgewandelt (HEIDELBERGCEMENT AG 2012).

3.5.4 Verwendung als Zuschlag in der Ziegelproduktion

Ein weiteres Anwendungsgebiet für Sedimente aus Talsperren könnte die Verwertung bei der Produktion von Ziegeln darstellen. Ziegel werden aus tonhaltigem Material geformt und in Öfen gebrannt. Sie zählen zu den ältesten vorgefertigten Bauelementen. Die Nutzung von Talsperrensedimenten kann in diesem Fall nur nach einer Aufbereitung erfolgen (HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2006).

Vor allem, wenn Sedimente nicht unbehandelt weiterverwendet werden können, stellt deren Verwertung als Ziegel, unter anderem als Mauerziegel, Sielbauziegel oder Pflastersteine, eine Möglichkeit der Nutzung dar. Der Korngrößenbereich des Sediments muss dann jedoch unter 0,1 mm liegen (BÄÄTJER & DETZNER 1997).

Bisher konnten umfangreiche Erfahrungen zur Herstellung von Ziegeln aus Baggergut in der Pilot-Aufbereitungsanlage METHA in Hamburg dokumentiert werden. Aus Elbsedimenten wurde dort vor einigen Jahren ein Ziegelstein hergestellt, der die Bezeichnung HANSEATEN-Stein trug. Durch die Anlage konnten mehr als 70 % des entwässerten Baggergutes aus dem Hamburger Hafen anstelle von natürlichem Klei für die Ziegelproduktion genutzt werden. Das Baggergut wurde mit speziellen Naturtonen und anderen Additiven gemischt und thermisch getrocknet. Danach wurden die Rohziegel gepresst und in einem speziellen Ziegelofen bei 1.200 °C gebrannt. Beim Brennvorgang wurde der größte Teil der organischen Bestandteile verbrannt sowie Schwermetalle in das Ziegelprodukt fest eingebunden. Abnehmer der Steine waren vor allem kommunale Bauherren und Käufer aus der Industrie. Probleme bei der Anwendung des Ziegelsteins traten nicht auf (HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2006).

Im Gegensatz hierzu wiesen die Produkte der Testanlage zur Ziegelproduktion „Kennemer Mop“ in den Niederlanden nach einigen Jahren Schäden auf. Dies führte zu einem Rückgang der Nutzung und im Ergebnis dazu, dass der Stein in der Praxis nicht mehr genutzt wurde (CLAASSEN & VAN DER KOOIJ 2002).

Aus dem bisherigen Forschungsstand und den genannten bereits entwickelten Produktionsverfahren können für Baggergut aus Talsperren folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

Eine Verwertung als Grundstoff für die Ziegelherstellung ist nur unter vergleichsweise hohem Aufwand möglich. Daher kommt diese Alternative nur dort infrage, wo das Material direkt (d. h. ohne weiteren Aufbereitungsaufwand) in einen Herstellungsprozess eingebunden werden kann (HAMER et al. 1999). Zudem sollten große Mengen an Baggergut über einen langen Zeitraum verfügbar sein, um die Amortisation der hohen Investitionen zu ermöglichen.

4 Untersuchung und Beurteilung der Verlandung deutscher Talsperren

4.1 Einteilung von Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken

Gemäß DIN 4048-1 i. V. m. DIN 19700-11 werden Talsperren als Stauanlagen bezeichnet, die einen Wasserlauf über dessen Querschnitt hinaus aufstauen. Dabei kann ein ganzer Talquerschnitt gesperrt werden. In der Regel besteht eine Talsperre aus Hauptsperre und Speicherbecken sowie Vorsperren. Zu den Talsperren gehören ebenfalls die Nebenanlagen, die für ihre Funktionstüchtigkeit notwendig sind, beispielsweise Umleitungsstollen, Beileitungen, Geschiebesperren, entfernte Vorbecken, Messstellen sowie Betriebsgebäude.

In der zuvor genannten DIN wird eine Einteilung nach Talsperrenklassen vorgenommen. In der Talsperrenklasse 1 sind alle Talsperren enthalten,

- deren Absperrbauwerk höher als 15 m sind (gemessen vom tiefsten Punkt der Gründungssohle bis zur Krone) oder
- die mindestens einen Gesamtstauraum von 1 Mio. m³ besitzen.

Diese Talsperren werden gemeinhin als große Talsperren bezeichnet. Kleinere Talsperren sind der Talsperrenklasse 2 zugeordnet. Neben der Definition der DIN existiert noch eine weitere Möglichkeit der Klassifizierung großer Talsperren. Die ICOLD (International Commission on Large Dams) schlägt die folgenden drei Varianten der Einteilung vor (ICOLD 2011):

- Variante 1: Die Höhe des Absperrbauwerks (gemessen vom tiefsten Punkt der Gründungssohle bis zur Krone) ist größer als 15 m.
- Variante 2: Die Höhe des Absperrbauwerks ist größer als 10 m **und** die Kronenlänge ist größer als 500 m **oder** der Gesamtstauraum ist größer als 1.000.000 m³ **oder** das Bemessungshochwasser ist größer als 2.000 m³/s.
- Variante 3: Der Gesamtstauraum der Talsperre ist größer als 3 Mio. m³.

Es fällt auf, dass die Einordnungen nach DIN und nach ICOLD nicht vollkommen kongruent sind.

Eine Liste mit deutschen Talsperren nach Kriterien der ICOLD wird vom Deutschen Talsperrenkomitee (DTK) herausgegeben. Sie beinhaltet alle großen deutschen Talsperren und enthält neben dem Namen ihres Hauptabsperrbauwerks weitere Angaben zur Geometrie, zum Ausbau, zu den Betriebseinrichtungen und zur Nutzungsart der Talsperren.

Nicht nur in konventionellen Talsperren, sondern auch in Hochwasserrückhaltebecken (HRB) können große Sedimentfrachten abgelagert werden. Die Merkmale großer HRB decken sich zum Teil mit denen der Talsperrenklasse 1. Definiert und kategorisiert werden HRB nach DIN19700-12. HRB mit einer Höhe des Absperrbauwerks von mehr als 15 m und einer Größe des Gesamtstauraumes von mehr als 1.000.000 m³ werden dabei analog zur Definition der Talsperren als große Stauräume gewertet. Hauptkriterium für die Einordnung sind, ebenfalls wie bei der Talsperrenklassifikation, Sicherheitsbetrachtungen. Die Betriebsweise von HRB ist mit denen der konventionellen Talsperren annähernd identisch, da HRB im Hauptschluss auch unmittelbar vom Gewässer durchflossen werden und dauerhaft mit Wasser gefüllt sind. Im Hochwasserfall werden überdurchschnittlich viele Sedimente im Gewässer mobilisiert. Zusätzlich können starke Niederschläge den Stoffeintrag erhöhen. Diese Sedimentfracht setzt sich vorrangig in den für den Hochwasserrückhalt gebauten HRB ab. Die Hochwasserrückhaltebecken müssen dauerhaft frei von hohen Sedimentfrachten gehalten werden, um ihre puffernde Wirkung im Hochwasserfall weiterhin gewährleisten zu können. Die Unterhaltung dieser Hochwasserschutzbauwerke obliegt den Betreibern. Sie umfasst eine dauerhafte Sicherung und damit auch die Beräumung des Hochwasserrückhalteraaumes.

4.2 Ergebnis einer Befragung von Betreibern von Talsperren

Für eine praxisnahe Bewertung des ökonomischen Potenzials der bei der Beräumung von Talsperren anfallenden Sedimente war es notwendig, die Betreiber direkt anzusprechen. Daher wurde durch den Lehrstuhl und das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der RWTH-

Aachen eine Anfrage in Form eines Fragebogens an Talsperrenbetreiber und Wasserversorger gerichtet. Abgefragt wurden einerseits rechtliche und behördliche Anforderungen und andererseits sedimentspezifische Parameter. An der Befragung nahmen 15 deutsche Betreiber teil, die nach eigenen Angaben für insgesamt 163 große Talsperren sowie große HRB verantwortlich sind. Ausgehend von der Annahme, dass alle genannten Anlagen in der DTK-Liste aufgeführt sind, deckt diese Umfrage rund 50 % der deutschen Talsperren und HRB ab. Die Auswertung lässt unter diesen Voraussetzungen verallgemeinerbare Aussagen zu verschiedenen Fragestellungen bezüglich der Nutzbarkeit von Talsperrensedimenten zu.

Befragt nach der Aktualität der Problematik der Verlandung von Talsperren zeigte sich ein inhomogenes Bild. Während vier von 15 Betreibern angaben, aktuell in einzelnen Talsperren einer zunehmenden Verlandung mit verschiedenen Maßnahmen entgegenzuwirken, maßen acht der Thematik eine eher geringe Bedeutung bei. Für drei Betreiber spielt die Verlandung derzeit keine Rolle.

Jeder Talsperrenbetreiber untersteht einer Aufsichtsbehörde. Oftmals ist diese die jeweilige Bezirksregierung. Sie stellt Sicherheitsanforderungen und führt die vorgeschriebene jährliche Talsperrenschau mit dem Betreiber durch. Zusätzlich ist jährlich ein Sicherheitsbericht zu erstellen. In den wassermengen- bzw. wassergütwirtschaftlichen Betriebsplänen sind keine Angaben über die Sedimentfracht enthalten, auch wenn die Betreiber der Auflage unterliegen, größere Ablagerungen zu entfernen. Bei dem überwiegenden Teil der Befragten bestehen keine weiteren Regelungen im Umgang mit den Sedimenten. Zwei Betreiber sind verpflichtet, in festgesetzten Intervallen Talsperren zu beräumen.

Im Umgang mit Sedimenten, bei denen eine Verwertung nach Abfallrecht vorgesehen ist, ist die jeweilige Abfallbehörde einzubinden. Zudem müssen die zuständigen Wasserbehörden (oberste, lokale und/oder regionale Behörden) über eine bevorstehende Beräumung informiert werden. Die Zuständigkeiten sind, wie bereits erwähnt, von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich geregelt.

Aus Sicht der Betreiber ist die Entfernung von Sedimenten aus den Stauräumen aus verschiedenen Gründen notwendig. In der Regel werden Stauräume entsedimentiert, um den Stauraum zu vergrößern bzw. das ursprüngliche Stauraumvolumen wiederherzustellen. Darüber hinaus dient die Beräumung der Sicherstellung der Wasserqualität sowie der Gewährleistung der Abführung der Wassermengen. Der Anteil des bisher in ihren Anlagen durch Verlandung verlorengegangenen durchschnittlichen Stauvolumens wird von den Betreibern mit maximal 5 % als eher gering eingeschätzt.

Durch die Beantwortung der Fragebögen konnten mehrere Anlagen mit Verlandungsproblematik identifiziert werden. Neun von 15 Betreibern haben in mindestens einer Anlage bereits Untersuchungen zu Verlandungsraten, abgelagerten Mengen, Korngrößenverteilungen oder der chemischen Zusammensetzung der Sedimente durchgeführt. Im Betrieb der Talsperren sind nur bei zwei Betreibern periodische Beräumungen vorgesehen. Bei zwei weiteren sind überhaupt keine Maßnahmen geplant. In elf von 15 Fällen finden Beräumungen nur nach Bedarf statt.

Im Fragebogen wurde gezielt auch nach Vorsperren gefragt. Die Vorsperren dienen demnach bei elf der 15 befragten Betreiber maßgeblich dem Sedimentrückhalt und sind meist Bestandteil der Hauptplanung gewesen. Nachträglich errichtet wurden und werden Vorsperren in der Regel nicht. Die Hochwasserrückhaltebecken besitzen überwiegend keine Vorsperren. Maßnahmen zur Entfernung abgelagerter Sedimente beschränken sich in Talsperren hauptsächlich auf die Bereiche der Vorsperren, da sich diese aus betrieblicher Sicht leichter, d. h. mit weniger Aufwand, beräumen lassen.

Im Fall einer Beräumung bevorzugen die Betreiber unterschiedliche Verfahren. Die vorgegebenen Antwortvarianten (Verfahren der Nass- und Trockenbaggertechnik) wurden von allen Betreibern als praktikable Möglichkeiten der Sedimententnahme beurteilt. Unter der Voraussetzung, dass eine Verwertung nicht möglich ist, wird eine terrestrische Ablagerung des Baggerguts innerhalb der Stauanlage angestrebt (zehn von 15 Betreibern). Eine subaquatische Ablagerung wird nicht angewendet und auch eine Deponierung wird nur von drei Betreibern als Option gesehen. Ein klares Bild

zeigt sich auch bei der Ermittlung einer etwaigen Nutzung der Sedimente. Derzeit haben zehn von 15 Betreibern keine Verwendungsmöglichkeiten für ihre Talsperrensedimente. Für den Fall, dass eine Verwendung in der Vergangenheit bestand, wurde das Sediment von fünf Betreibern als Boden innerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht verwendet. Drei Betreiber konnten ihre Sedimente in Bodenschichten unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht einbringen oder hatten eine andere Verwendungsmöglichkeit.

Die Einschätzung der Kosten der Entnahme von Talsperrensedimenten durch die Betreiber ist für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Bezug auf eine mögliche Nutzung ein entscheidender Faktor. Die Betreiber waren aufgefordert, eine grobe Einschätzung der Kosten für die von ihnen durchgeführten Beräumungen vorzunehmen und die Hauptkostenträger zu identifizieren. Die Einschätzung der nachfolgenden Kostenrechnung (Kapitel 5.3) basieren zum Teil auf den Erfahrungswerten der Betreiber.

Die einzelnen Einschätzungen unterscheiden sich deutlich voneinander. Ein einheitlicher Hauptkostenträger konnte beispielsweise nicht ermittelt werden. Es wurden als wesentliche Kostenträger jedoch die Bereiche Deponierung, die abfallgerechte Förderung und Entsorgung, der Transport und die Entwässerung der Sedimente genannt. Die Analyse zeigt, dass einer der möglichen Hauptkostenträger häufig mehr als 50 % der Gesamtkosten ausmacht. Dies gaben sechs von 15 Betreibern an, drei von 15 schätzten den Anteil immerhin auf 25 % bis 50 %.

Die Kosten für spezifische Entsedimentierungsmaßnahmen, wie zum Beispiel für die einzelnen Baggerverfahren, sind aus der Umfrage nicht eindeutig abzuleiten. Die höchsten Kosten entstehen nach Angaben der Betreiber durch die Entsorgung. Eine eindeutige Aussage bezüglich der anfallenden Kosten pro m³ Entnahmegut konnte nicht ermittelt werden. Die Angaben variieren zwischen < 20 €/m³ und max. 150 €/m³, wobei die niedrigeren Kosten keine Entsorgung der Sedimente und des Wassers beinhalten, sondern lediglich die Förderung der Sedimente und die Umlagerung des Materials an Land.

4.3 Analyse der Sedimente ausgewählter Stauseen und Hochwasserrückhaltebecken

4.3.1 Auswahl der Talsperren und Beprobung

Nach einer ersten Sichtung der Datenlage wurden solche Talsperren und HRB in eine Vorauswahl aufgenommen, die ein erhöhtes Potenzial für eine Sedimentnutzung aufweisen könnten. HRB, sofern sie nicht als Talsperren geführt werden, sind in keiner einheitlichen Statistik aufgeführt. Es wurden daher nur HRB in die Vorauswahl aufgenommen, bei denen sich aufgrund vorhandener Daten ein erhöhtes Verlandungspotenzial ableiten lässt.

Für eine aussagekräftige Bewertung des wirtschaftlichen Nutzungspotenzials von Talsperresedimenten aus deutschen Talsperren und HRB müssen die Stauanlagen der Vorauswahl ein möglichst großes Potenzial an verwertbarem Material aufweisen. Die minimale Stauraumgröße für die Vorauswahl wurde daher auf 3.000.000 m³ festgelegt. Sie liegt damit höher als das Kriterium der DTK für große Talsperren – vor dem Hintergrund der Tatsache, dass die Stauräume nicht vollständig verlandet sind und in der Regel nicht der ganze Stauraum, sondern die Vorsperren der Talsperren entsedimentiert werden. Die beräumten Sedimentmengen sind daher deutlich geringer als die eigentlichen Kapazitäten der Stauräume.

Das aufgestaute Gewässer selbst wurde im Hinblick auf das Sedimenttransportvermögen ebenfalls berücksichtigt. Einen starken Einfluss auf den Sedimenteintrag in die Staubecken der Talsperren haben Hochwasserereignisse. Durch den stark erhöhten Abfluss während solcher Ereignisse werden in den Gewässern in kurzer Zeit große Sedimentmengen (re-)mobilisiert und gelangen in die Stauräume. Anhand der DTK-Liste kann das Hochwasserpotenzial der Gewässer abgeschätzt werden. In der DTK-Liste ist beispielsweise vermerkt, bei welchen Talsperren der Wasserstand in den Wintermonaten stark abgesenkt wird, um die Schmelzwassermengen des Frühjahrs aufnehmen zu können.

Für eine Abschätzung der Eigenschaften der Zusammensetzung der Sedimente ist die

Betrachtung der Böden und Bodenausgangsgesteine im Einzugsgebiet zielführend. Für dieses Kriterium wurden die ausgewählten Talsperren in der Karte der Bodenausgangsgesteine verortet (Abb. 3). Ein weiteres Merkmal ist die Größe der Einzugsgebiete der Talsperren, aus dem die Sedimentfracht mobilisiert werden kann. Auch hier wurde ein vergleichsweise großes Einzugsgebiet von 1.500 km² als minimale Fläche gewählt. Von erheblicher Bedeutung sind zudem die Einzugsgebiete der Haupt- und Nebenzuflüsse.

Ebenfalls von Bedeutung ist die Nutzung der Talsperren. Für Talsperren mit dem vorrangigen Zweck der energetischen Nutzung könnte die Wiederherstellung des Wasservolumens durch Beräumung möglicherweise Vorteile bei der Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bedeuten, falls durch das gewonnene Wasservolumen die installierte Leistung erhöht werden kann.

Sollten sich zukünftig Trockenzeiten in Deutschland aufgrund klimatischer Veränderungen verlängern, würden Talsperren zur Aufhöhung des Niedrigwasserstandes ein immer größeres Wasservolumen benötigen, was eine häufigere Beräumung notwendig machen könnte. Talsperren zur Niedrigwasseraufhöhung geben in Trockenzeiten mehr Wasser ab als in Regenperioden und sichern damit zum Beispiel schiffbare Wasserstände in den Gewässern im Unterstrom. Ebenso gewährleisten sie einen regelmäßigen Wasserabfluss und halten ausreichend Brauchwasser für die Verbraucher vor.

Im Rahmen der Studie wurden Talsperren und HRB in Bayern, Sachsen und Nordrhein-Westfalen zur Beprobung ausgewählt, unter anderem um Unterschiede in der Sedimentzusammensetzung in Abhängigkeit von den umgebenden Gesteinsformationen bzw. deren Verwitterungsprodukten und mögliche Anwendungsgebiete ermitteln zu können. Insgesamt waren jedoch die Zugänglichkeit und die allgemeine Durchführbarkeit der Beprobungen entscheidend für die Auswahl der Probenahmeorte. Nur wenige Talsperren und HRB werden jedes Jahr beräumt, weshalb nicht nur Talsperren der Vorauswahl, wie zunächst geplant, sondern auch weitere Talsperren und HRB zur Beprobung ausgewählt wurden.

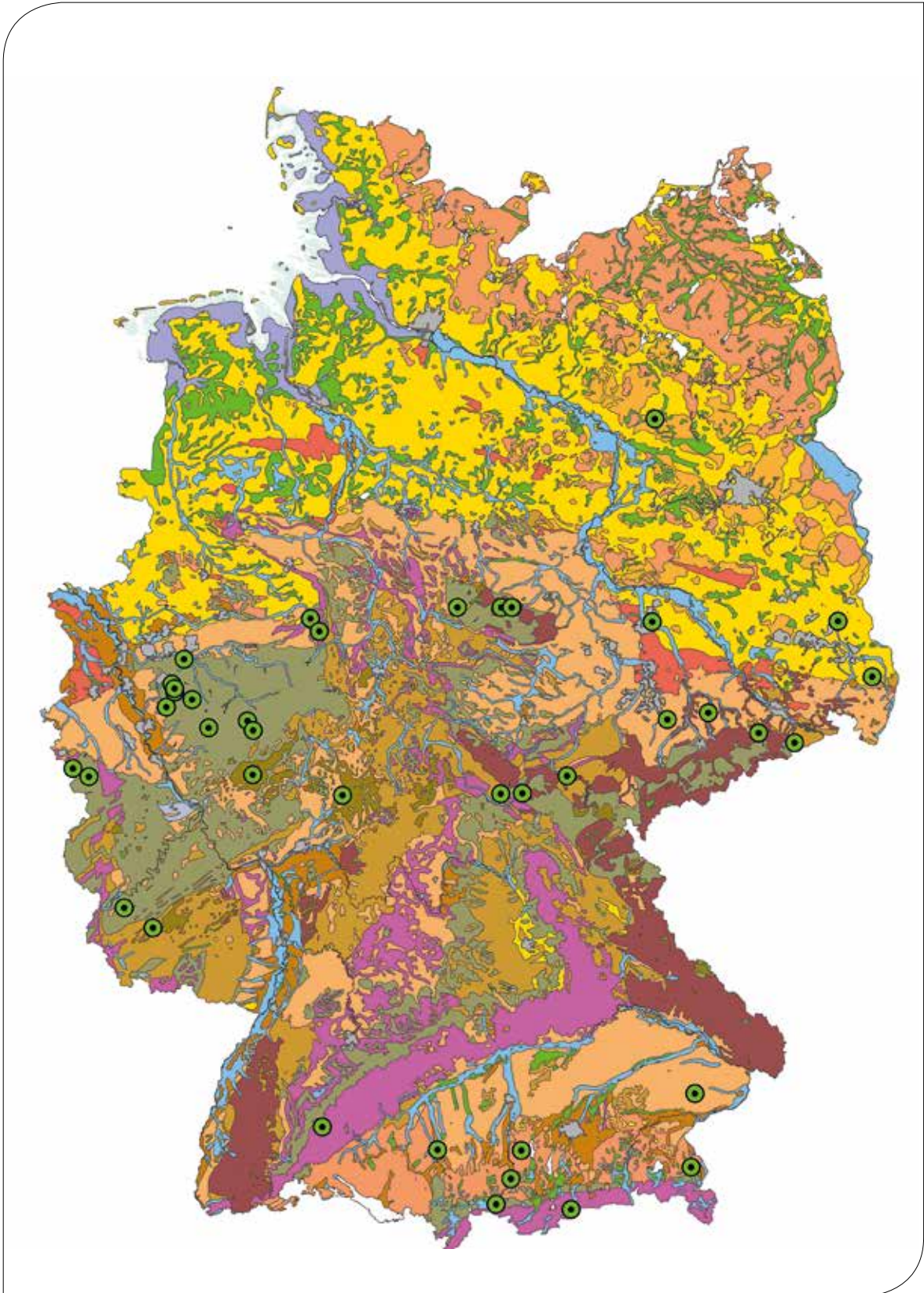


Abb. 3: Ausgewählte Talsperren und HRB mit möglicherweise erhöhtem Potenzial für eine Sedimentnutzung, aufgetragen auf der Karte der Bodenausgangsgesteine Deutschlands (Talsperrenkoordinaten nach DEUTSCHES TALSPERRENKOMITEE 2012; Karte: BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE 2007)

Es wurden Sedimente von sechs Talsperren (TS 1–6) und zwei Hochwasserrückhaltebecken (HRB 1 und 2) beprobt und anschließend analysiert. Diese Untersuchungen sollten Aufschluss darüber geben, inwieweit sich Sedimente in den Stauräumen unterschiedlicher Regionen unterscheiden und wie sie granulometrisch, chemisch und mineralogisch zusammengesetzt sind. Es wurden jeweils Einzelproben entnommen, weshalb die Proben nur eingeschränkt repräsentativ für die Gesamtheit der Sedimente im Stauraum sind. Dieses Vorgehen war ausreichend, um sich einen ersten Eindruck über die Zusammensetzung der Sedimente zu verschaffen.

Um exemplarisch eine Abschätzung für die Kornfraktionierung in Staubecken zu erlangen, wurde ein Stausee (TS 1) an vier Punkten, von der Stauwurzel bis hin zum Absperrbauwerk, entlang der Strömungsmittellinie beprobt. Bei den anderen Talsperren und HRB war dies aufgrund der eingeschränkten Zugänglichkeit nicht möglich.

Die Beprobung wurde jeweils den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Die Probenahme mithilfe eines Van-Veen-Greifers (Abb. 4–6) war bei drei Stauhaltungen (TS 1, TS 2, TS 3) möglich. Dieses

Werkzeug erlaubt die Entnahme von Material aus der oberen 0,4 m mächtigen Sedimentschicht der Gewässersohle. Die Einzelproben der beprobten Abschnitte wurden anschließend zu Mischproben zusammengefasst.

Die einzelnen Beprobungspunkte der übrigen Talsperren (TS 4 bis 6) und des HRB 2 konnten zu Fuß erreicht werden, die Witterungsverhältnisse sowie die örtlichen Gegebenheiten ließen einen Einsatz des Van-Veen-Greifers dort teilweise auch nicht zu. In zwei der Talsperren (TS 4 und TS 5) wurden die Vorsperren beprobt. In der TS 5 wurde zudem einer nahegelegenen Halde Sedimentmaterial der Talsperre (Probe 9) entnommen. Die Randbereiche der TS 6 konnten zu Fuß erreicht werden, da aufgrund der Absenkung des Wasserspiegels in den Wintermonaten dieser Bereich direkt zugänglich war. Der Stauspiegel war in den Talsperren zum Teil soweit abgesenkt, dass Sliprampen nicht mehr benutzt werden konnten. Es wurden von jedem Messpunkt Mischproben erstellt.

Im Fall des HRB 1 konnten keine Gesamtproben entnommen werden, da das Material mithilfe eines Saugbaggers gefördert und die Suspension über Rohrleitungen in einen Puffer-



Abb. 4: Erstellung von Mischproben mithilfe eines Van-Veen-Greifers (IWW der RWTH Aachen University)



Abb. 5: Teilprobe – geborgen mithilfe eines Van-Veen-Greifers
Mehrere dieser Proben wurden anschließend zu einer Mischprobe zusammengefasst
(IWW der RWTH Aachen University)



Abb. 6: Beprobung mithilfe eines Bootes und eines Van-Veen-Greifers
(IWW der RWTH Aachen University)

Tab. 7: Probenanzahl und Probenbenennung

Stausee/HRB	Probenanzahl	Probenbenennung
HRB 1	2	Proben A und B
HRB 2	1	Probe 8
TS 1	4	Proben 1–4
TS 2	1	Probe 5
TS 3	1	Probe 6
TS 4	1	Probe 7
TS 5	2	Proben 9 und 10
TS 6	4	Proben 11–14

container geleitet wurde, der als Absatzbecken für die gröberen Korngrößen diente, bevor die feinere Fraktion weiter in geotextile Schläuche gepumpt wurde. Es konnte hier lediglich dem Puffercontainer (Probe A) und dem Zulauf der geotextilen Schläuche (Probe B) jeweils eine Probe entnommen werden. Insgesamt wurden den Stauseen und HRB 16 Proben entnommen (Tab. 7).

4.3.2 Analysemethoden

Die Analyse der Proben wurde von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführt. Dabei wurde zunächst die **granulometrische Zusammensetzung** der Mischproben im Körnungsband von $< 2 \mu\text{m}$ bis $> 2\text{mm}$ betrachtet. Die gröberen Fraktionen wurden durch Siebanalysen und die Feinfraktionen mittels Sedigraph erfasst. Eine weitere Unterteilung der Kiesfraktion erfolgte nicht. Da die Proben des HRB 1 keine Gesamtpuben darstellen (siehe Kapitel 4.3.1), konnten für diese keine Summenkurven der Korngrößenverteilung erstellt werden.

Die **chemische Zusammensetzung** der Proben wurde über die Röntgenfluoreszenz-Analytik (RFA) ermittelt. Analysiert wurden 38 Haupt-, Neben- und Spurenelemente, unter anderem Kupfer, Blei, Zink, Chrom und Nickel, deren Werte mit denen der Grenzwerte der BBodSchV und der LAGA M20 verglichen werden konnten. Die Einordnung der Sedimentproben nach BBodSchV und LAGA-Regeln konnte jedoch nur eingeschränkt und exemplarisch erfolgen, da die Elemente Arsen, Cadmium, Thallium und Quecksilber nicht analysiert wurden. Die Untersuchung dieser Ele-

mente erfolgt über spezifische Analyseverfahren, die nicht Teil des hier durchgeführten Analyseprogramms waren. Zudem wurde der organische Kohlenstoffgehalt (Total Organic Carbon, TOC) der Proben und der Glühverlust (Loss On Ignition, LOI) analysiert.

Die **mineralogische Zusammensetzung** der Proben wurde mittels Röntgenbeugungsanalyse (XRD) ermittelt und die mineralischen Haupt- und Nebenbestandteile der Sedimente identifiziert.

4.3.3 Ergebnisse

Korngrößenverteilung

Die Fraktionierung der Sedimente erfolgt innerhalb eines Stausees in der Regel nach der Korngröße. Sie ist auf die hydraulischen Verhältnisse in den jeweiligen Talsperren zurückzuführen und abhängig von der Auslegung (Querschnitt, Strömungsgeschwindigkeit etc.) der einzelnen Talsperren. Anhand der Beprobung eines Stausees, von der Stauwurzel bis hin zur Staumauer, konnte dies verdeutlicht werden. Im Stauwurzelbereich lagert sich durch die deutliche Gerinneaufweitung und die damit verbundene Abnahme der Fließgeschwindigkeit zunächst das gröbere Sediment der Geschiebefracht ab. Zur Staumauer hin sedimentieren dann sukzessive auch die feineren Sedimente. Exemplarisch ist diese Abfolge der Korngrößenverteilung anhand der Proben der Talsperre TS 1 nachzuvollziehen (Abb. 7).

Die Kornverteilungskurven der Sedimente unterscheiden sich je nach Einzugsgebiet deutlich voneinander. In Regionen mit tonigen Ausgangsgesteinen finden sich vorwiegend auch

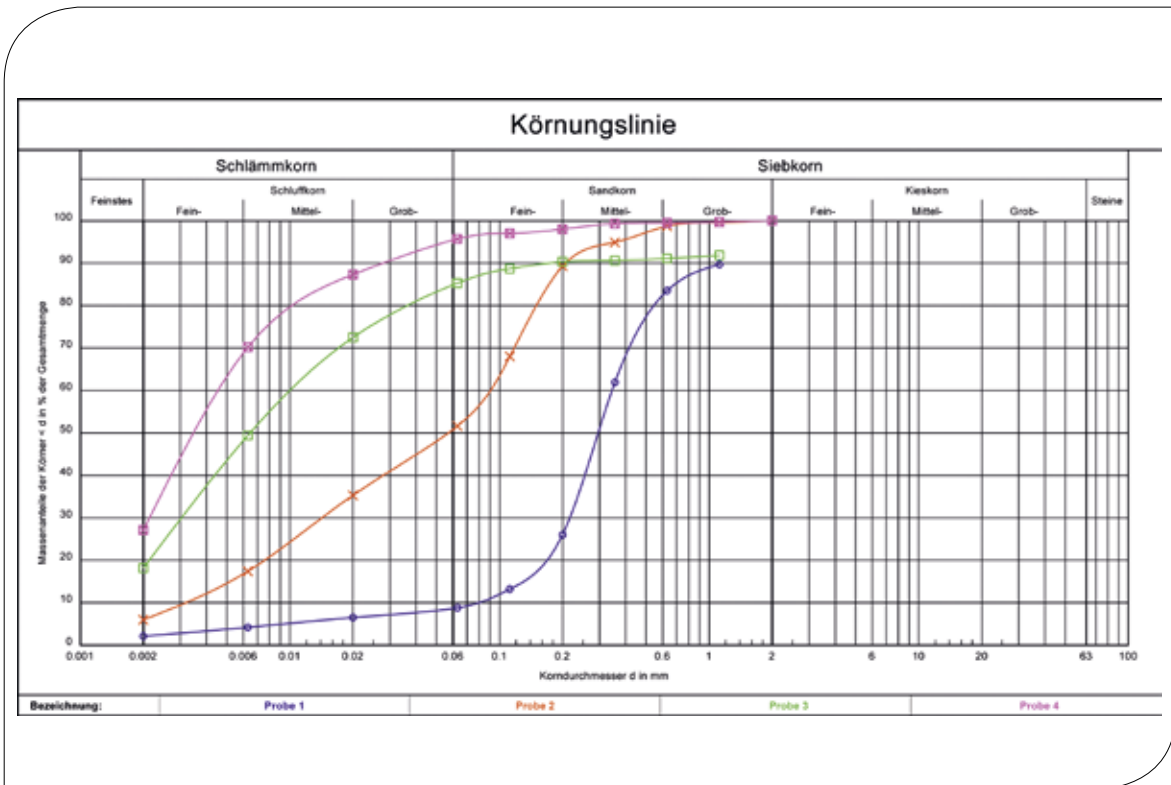


Abb. 7: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Proben der TS 1 von ihrer Stauwurzel (Probe 1) bis zum Absperrbauwerk (Probe 4)

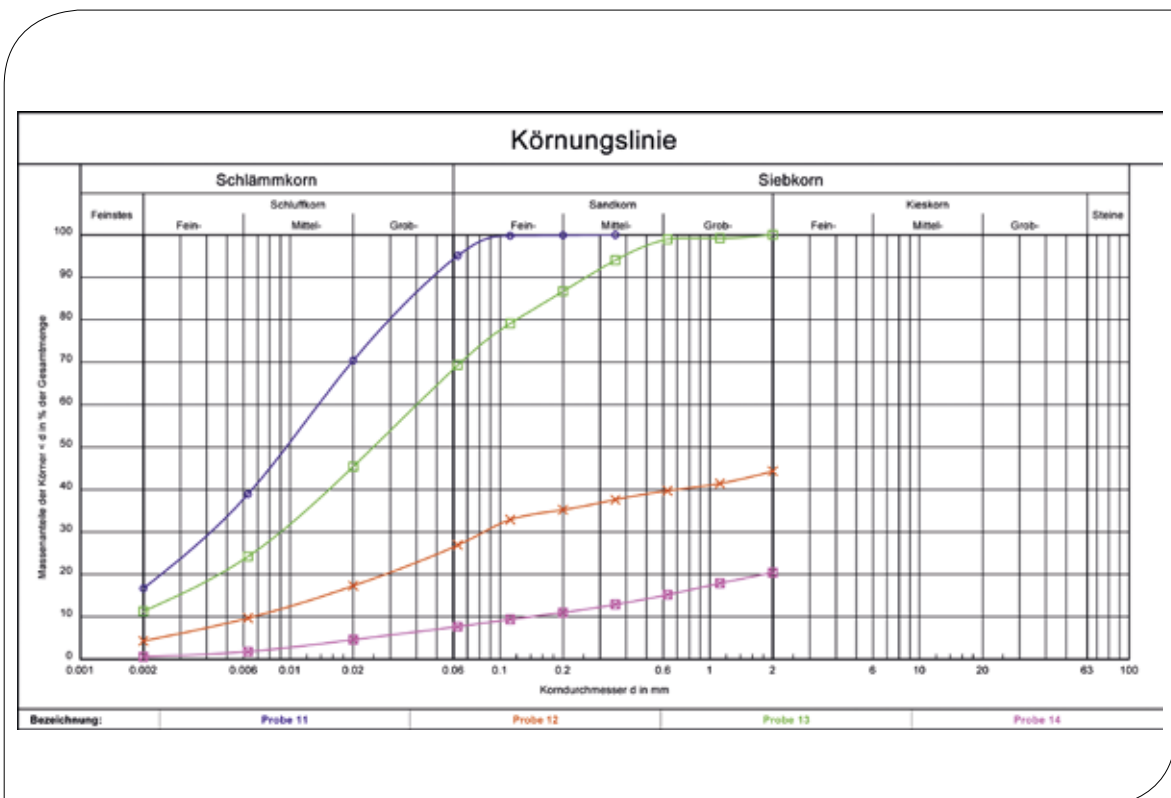


Abb. 8: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Proben der TS 6

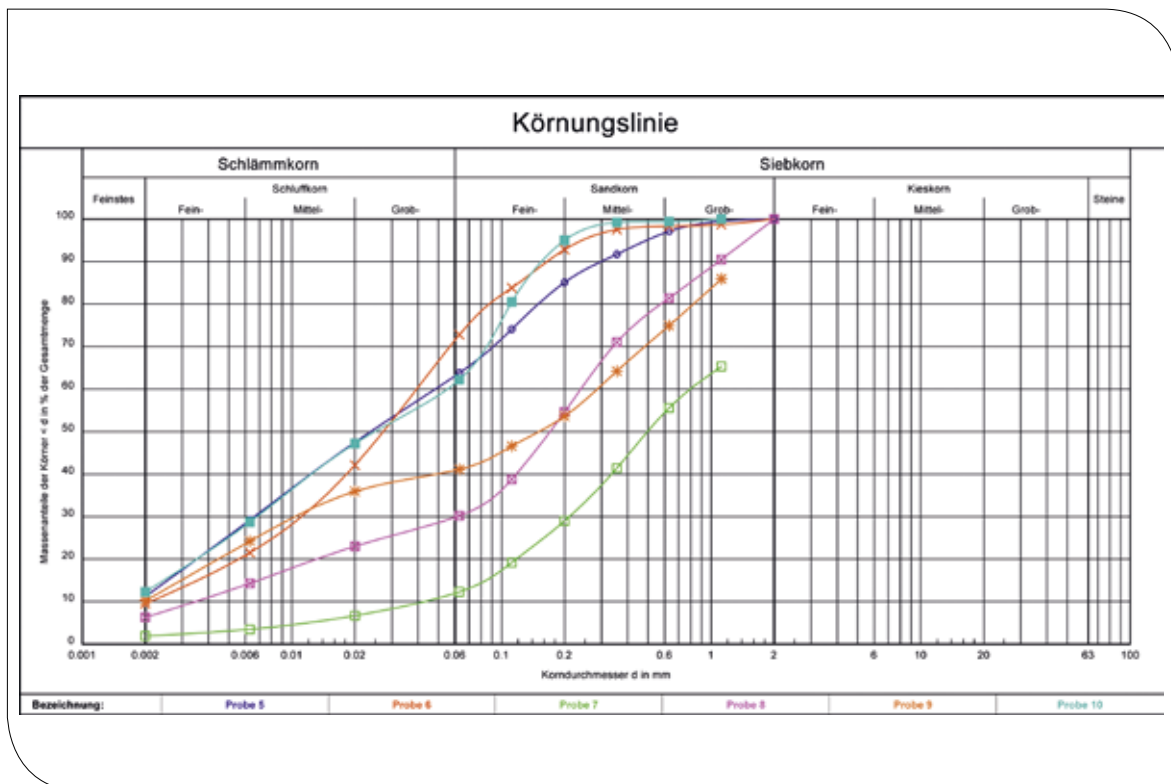


Abb. 9: Summenkurve der Korngrößenverteilung der Proben der TS 2 bis 5 und des HRB 2

feinere Fraktionen in den Seesedimenten, im Stausee in voralpiner Lage (TS6) sind deutlich mehr Sedimente mit einer durchschnittlichen Korngröße im Sand- oder Kiesbereich anzutreffen (Abb. 8). Dort lagern sich im Stauwurzelbereich bzw. in den Bereichen von Zuflüssen teilweise sehr grobe Kiese ab (TS6, Abb. 8, Sieblinien 12 und 14). Der höhere Kiesanteil könnte in diesen Regionen durch hohe Schmelzwasserzuflüsse begünstigt werden. Die Kies- und Steinfraktion wurde in der Talsperre 6 nicht weiter unterschieden, weshalb die Kornsummenkurven der Proben 12 und 14 bei einer Korngröße von 2 mm enden, ohne dass 100% erreicht sind (Abb. 8).

Die Korngrößenverteilung der Proben 5 bis 10 der Talsperren 2 bis 5 weisen ihr Maximum in der Sandfraktion auf. Die Kornsummenkurven der Proben 1, 3, 7 und 9 enden nicht bei 100%, da sie einzelne grobe Kiese enthalten, die aufgrund der vergleichsweise geringen Probenmengen nicht seriös quantifizierbar sind (Abb. 7 und 9). Daher wurden die Korngrößen > 1,12 mm nicht weiter unterschieden und die Kornsummenkurven enden deutlich unterhalb der 100%.

Chemische und Mineralogische Zusammensetzung der Fraktion < 2 mm

Die **chemische und mineralogische Analytik** diente einer ersten Bestimmung der Zusammensetzung der Proben aus den Stauseen. Hierfür war es ausreichend, die Korngrößenfraktion < 2 mm zu untersuchen. Mit Ausnahme der Proben 12 und 14 (Talsperre 6) konnte hierüber die Gesamtzusammensetzung der Proben bestimmt werden. Dies gilt insgesamt auch für die Proben 1, 3, 7 und 9, die einzelne grobe Kiese enthalten, die jedoch nicht mitberücksichtigt wurden, da die vergleichsweise geringe Probenmenge keine repräsentative Aussage über ihre Verteilung im Sediment zulässt.

Die Proben der Talsperren unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Liefergebiete der Sedimente deutlich in den chemischen Elementgehalten und der mineralogischen Zusammensetzung. Bei allen Stauhaltungen ist zu erkennen, dass die abgelagerten Sedimente die Chemie und Mineralogie der Ausgangsgesteine bzw. der Verwitterungsprodukte des Einzugsgebietes der Stauseen widerspiegeln. So bestehen die

Proben aus dem voralpinen Bereich (TS6) überwiegend aus Karbonaten, während die anderen Proben im Wesentlichen aus Quarz und anderen Silikatmineralen wie Feldspat, Glimmer und Tonmineralen bestehen (Tab. 8). Dementsprechend sind die voralpinen Proben (TS 6) chemisch überwiegend aus Calcium- (CaO) und Magnesiumoxid (MgO) zusammengesetzt, wohingegen in den Proben der anderen Regionen Silizium- (SiO₂) und Aluminiumoxid (Al₂O₃) dominieren (Tab. 9). Die Sedimente aus dem Stausee in voralpiner Lage wären aufgrund des hohen Karbonatanteils daher nicht als Zuschläge für Ziegel verwertbar. Entsprechend der Zusammensetzung sind daher für jedes Sediment nur einzelne Nutzungsarten möglich.

Wichtig für den Einsatz als Boden sind die Einordnungen der Sedimente nach LAGA M 20 bzw. BBodSchV. Die Vorsorgewerte sind den Tabellen in Kapitel 2.3.2 zu entnehmen. Da die Proben in der Regel ein Korngrößenmaximum in der Sandfraktion aufweisen, wurden in Tabelle 9 die Vorsorgewerte der LAGA M20 und für Z0 die Werte für Sand verwendet.

Abgesehen von den hohen TOC-Gehalten würden die Proben den Einbauklassen Z1 oder Z2 entsprechen, unter anderem aufgrund einiger leicht erhöhter Metallgehalte wie etwa Zink (Zn) (Tab. 9). Allerdings ist zu beachten, dass sich diese Aussagen nur auf die durch die Röntgenfluoreszenz-Analyse gewonnenen Erkenntnisse stützen und keine Eluate gemessen wurden.

Da Talsperren „Sedimentfallen“ sind, kann es bei den abgelagerten Sedimenten zu Schadstoffakkumulationen kommen, deren Ursprung einerseits in einer industriellen Vorprägung der Böden im Einzugsgebiet (anthropogen) liegt, andererseits aber auch geologisch bedingt (geogen) sein kann. Eine Einzelfallprüfung und detaillierte Untersuchung ist daher vor der Entscheidung einer Nutzung notwendig.

Tab. 8: Mineralogische Zusammensetzung der Fraktion < 2mm der Proben

Probe	Illit/ Muskovit	Kaolinit/ Chlorit	Quarz	Pyroxen/ Hornblende	Feldspat	Karbonate	Sulfate	Oxide	Corg
1	15	10–15	50–55		5–10	< 1		5–10	1–5
2	15	10–15	35–40		10	1–5		1–5	20
3	15–20	20–25	35–40		5–10	< 1		5–10	5–10
4	15	25–30	30–35		5–10	< 1		5	10–15
5	15	20	30–35	< 1	10–15		1–5	5–10	10–15
6	10	10–15	50–55	< 1	10		< 1	1–5	10
7	10–15	10	40–45	1–5	20–25			1–5	5
8	10–15	10	40	5	15–20			1–5	5–10
9	15	20–25	30–35		10–15		< 1	5–10	5–10
10	15	20–25	30–35		10–15		< 1	5–10	10–15
11	5	5–10	10–15		1–5	70–75		1–5	< 1
12	5	5	10–15		1–5	70–75		< 1	1–5
13	5	5–10	10–15		1–5	65–70		1–5	5
14	5	1–5	5–10		1–5	80–85		< 1	< 1
A	1–5	< 1	75–80		10	1–5		1–5	1–5
B	5–10	5–10	50–55		10	1–5		5–10	10–15

Tab. 9: Chemische Zusammensetzung der Fraktion < 2mm der Proben; (n. b. = nicht bestimmt); Einteilung nach Vorsorgewerten: Z0; Z1, Z2 (Verwertungsklassen), > Z2 (Deponieklasse) nach LAGA M20

		HRB1		TS 1				TS 2	TS 3	TS 4	HRB2	TS 5		TS 6			
		A	B	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	%	87,52	66,63	70,69	54,59	58,20	52,77	56,74	67,86	69,38	64,90	57,43	54,27	16,34	15,81	16,50	10,12
TiO ₂	%	0,43	0,62	0,61	0,73	0,86	0,77	0,78	0,74	0,49	0,81	0,98	1,01	0,20	0,18	0,20	0,10
Al ₂ O ₃	%	3,27	7,65	11,48	11,70	15,12	15,40	13,76	9,41	12,10	11,49	15,27	15,26	3,86	3,51	4,27	2,15
Fe ₂ O ₃	%	1,10	3,20	5,48	5,09	6,37	7,75	6,30	4,11	3,13	4,38	6,98	6,58	1,70	1,54	1,82	1,03
MnO	%	0,02	0,04	0,10	0,11	0,11	0,12	0,09	0,13	0,05	0,09	0,07	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04
MgO	%	0,26	0,64	1,30	1,03	1,24	1,26	2,40	0,79	0,98	1,52	1,39	1,34	12,51	13,27	11,52	14,91
CaO	%	1,24	1,73	0,45	0,52	0,31	0,33	0,81	0,69	0,77	1,53	0,62	0,68	27,34	26,76	26,16	29,70
Na ₂ O	%	0,41	0,75	0,47	0,42	0,46	0,36	0,85	0,65	1,91	1,24	0,76	0,83	0,21	0,18	0,11	0,04
K ₂ O	%	0,92	1,64	2,04	2,05	2,65	2,56	2,53	1,92	3,08	2,47	2,71	2,71	0,72	0,68	0,95	0,46
P ₂ O ₅	%	0,18	0,47	0,13	0,29	0,39	0,46	0,24	0,29	0,21	0,23	0,55	0,44	0,06	0,06	0,09	0,05
LOI	%	4,21	16,12	7,00	23,13	13,89	17,81	15,02	12,79	7,62	10,80	12,77	16,34	36,76	37,69	38,08	41,22
TOC	%	2,05	(7,7)	2,80	(9,48)	4,43	(5,92)	(5,36)	4,76	2,32	3,22	4,22	(5,8)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Summe	%	99,77	99,63	99,75	99,69	99,66	99,65	99,61	99,47	99,76	99,72	99,62	99,64	99,89	99,88	99,89	99,92
Ba	ppm	231	499	380	438	562	534	511	457	631	547	803	644	73	79	88	< 39
Bi	ppm	< 2	3	< 2	< 2	3	4	< 2	< 2	< 2	3	< 2	3	3	< 2	< 2	< 2
Ce	ppm	39	56	67	64	92	72	67	68	30	63	75	108	< 18	34	30	< 18
Co	ppm	4	11	23	23	26	29	17	16	11	16	21	23	6	5	5	4
Cr	ppm	78	101	108	101	121	121	127	237	48	68	129	91	36	30	37	16
Cu	ppm	21	59	35	46	50	55	40	164	24	30	182	71	37	58	54	55
Ga	ppm	3	10	15	16	19	19	19	12	16	16	22	22	7	4	7	4
Hf	ppm	18	11	< 6	8	< 6	< 6	< 6	11	7	7	7	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6
La	ppm	21	25	24	37	49	48	34	44	30	39	35	63	19	< 15	< 15	25
Nb	ppm	11	16	13	18	19	17	15	18	10	18	21	21	8	7	7	3
Nd	ppm	< 13	< 12	14	21	28	37	22	26	21	< 13	33	39	< 13	< 13	< 13	< 13
Ni	ppm	9	31	53	64	71	71	65	97	26	44	65	65	26	24	23	9
Pb	ppm	32	130	69	97	123	143	206	580	51	68	105	62	6	9	14	6
Rb	ppm	34	66	87	88	119	120	116	80	134	114	135	130	30	31	42	21
Sb	ppm	< 31	< 30	< 30	51	< 30	< 29	< 30	< 30	< 31	< 31	< 30	< 30	< 33	< 32	< 33	< 33
Sc	ppm	< 8	< 8	9	17	12	8	10	< 8	< 8	10	14	14	< 9	12	< 9	< 9
Sm	ppm	< 13	< 13	< 14	< 13	17	< 14	< 14	28	< 14	< 14	< 14	21	< 14	< 13	< 14	< 13
Sn	ppm	< 12	47	< 12	< 12	< 12	15	< 12	< 12	< 13	< 12	21	< 12	< 12	< 12	< 12	< 12
Sr	ppm	50	82	57	62	69	65	73	74	112	107	97	95	257	219	173	160
Ta	ppm	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4	< 4
Th	ppm	11	12	11	12	15	15	12	10	8	7	15	16	4	< 4	5	< 4
V	ppm	20	52	78	85	105	112	106	59	41	81	115	96	34	35	36	25
Y	ppm	20	28	29	39	42	39	35	39	30	30	35	46	17	16	14	12
Zn	ppm	147	734	240	456	525	578	953	1184	141	170	387	433	33	30	46	18
Zr	ppm	657	436	219	312	298	215	244	522	196	235	200	289	42	43	47	21

5 Ökonomisches Potenzial der Nutzung von Talsperresedimenten

Eine wirtschaftliche Nutzung von Baggergut ist nur dann sinnvoll, wenn die Einnahmen aus dem Erlös der Produkte höher sind als die Kosten für die Aufbereitung und die Entsorgung der nicht verwendbaren Anteile des Baggerguts. Wenn dies nicht realisierbar ist, sollten die Gesamtkosten dieser Variante zumindest niedriger sein als die Kosten für die reine Entsorgung des gesamten Materials. Aus der empirischen Erhebung (vgl. Kapitel 4.2) geht hervor, dass die spezifischen Kosten der Beräumung (inklusive Entsorgung, ohne Nutzung) je nach Verfahren und Sedimentzusammensetzung zwischen $<20\text{ €/m}^3$ bis etwa 150 €/m^3 betragen können. Die folgenden Ausführungen stellen zum einen Literaturwerte für die spezifischen Kosten der verschiedenen Nutzungsformen zusammen und zeigen zum anderen im Rahmen einer Modellrechnung das wirtschaftliche Potenzial einer zumindest teilweisen Nutzung des anfallenden Baggergutes auf.

5.1 Kostenabschätzung für unterschiedliche Nutzungen

Trotz der stark variierenden Einflussfaktoren finden sich in der Literatur Angaben zu den Kosten für einzelne in dieser Studie untersuchte Nutzungspfade (Tab. 10):

Landwirtschaftliche Bodenschicht

Die Kosten für das Baggern, die Aufbereitung und die Bewirtschaftung der Bodenschicht betragen inklusive der Nebenkosten zur Aufbringung von Baggergut als durchwurzelbare Bodenschicht für eine Sedimentmenge von 3 Mio. m^3 laut QUANDT (2007) $10,10\text{ €/m}^3$ In-situ-Sediment. Für einen

Transport von maximal 10 km fallen Kosten von $6,50\text{ €/m}^3$ ($0,65\text{ €/m}^3 \times \text{km}$) zusätzlich an. Der Ausführungszeitraum wird auf etwa fünf bis zehn Jahre geschätzt. Mit Kosten von 5 bis 15 €/m^3 In-situ-Sediment geben ELSKENS & HARMSSEN (2007) Werte in einer ähnlichen Größenordnung an.

Deichbau

Die Kosten für 1 m^3 Baggergut (aufgrund der vollständigen Verwertbarkeit = 1 m^3 verwendbares Material) betragen laut UNIVERSITÄT ROSTOCK & UNIVERSITÄT DANZIG (2012) im Deichbau etwa 10 €/m^3 . Mit eingerechnet sind alle anfallenden Kosten von der Gewinnung bis zu einem Transport von maximal 40 km. In Bremen liegen die Kosten für die Verwendung des Baggerguts im Deichbau mit $>20\text{ €/m}^3$ wesentlich höher. Dieser Sachverhalt ist zum einen mit erhöhten Aufbereitungskosten, zum anderen mit einer reduzierten Nutzbarkeit des Baggerguts wegen erhöhter Schadstoffgehalte zu erklären (UNIVERSITÄT ROSTOCK & UNIVERSITÄT DANZIG 2012). Bei Talsperresedimenten lägen die Kosten möglicherweise in einem höheren Bereich, da diese zum Teil mit Schadstoffen belastet sind und vor der Nutzung aufbereitet werden müssen.

Zement

Die Kosten für den Einsatz von Baggergut in der Zementindustrie sind nicht seriös ermittelbar, da hierzu in der Literatur keine Werte vorliegen.

Ziegel

Die Kosten für eine Verwertung von Talsperresedimenten als Zuschlag für die Produktion von Ziegeln hängt neben den Materialeigenschaften von der maximal verwertbaren Menge des Baggerguts und somit der möglichen Größe der Aufbereitungsanlage ab (PIANC WG 04, 2009).

Tab. 10: Kosten der Nutzung (DETZNER 2012; ELSKENS & HARMSSEN 2007; QUANDT 2007; UMWELTBHÖRDE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL 1995; UNIVERSITÄT ROSTOCK & UNIVERSITÄT DANZIG 2012)

Art der Nutzung des Baggerguts	Kosten [€/m ³]
landwirtschaftliche Bodenschicht	ca. 15–20
Deichbau	> 20
Ziegelindustrie	50–60

Die Verfügbarkeit des Baggergutes über einen längeren Zeitraum muss in ausreichender Menge gegeben sein, sodass sich eine Aufbereitungsanlage amortisieren kann (HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT 2006). Ein Musterbeispiel war die Aufbereitungsanlage METHA in Hamburg, bei der die Kosten bei 30 €/m³ für In-situ-Material (Elbsediment) ohne Vorbehandlung lagen. Hinzu kamen 18 €/m³ für die Vorbehandlung und 15 €/m³ für die Deponierung des Baggergutes. Bei einem Zwei- und Drei-Schicht-Betrieb konnten etwa 1 Mio. m³ Baggergut im Jahr verarbeitet werden (DETZNER 2012). Die UMWELTBHÖRDE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL (1995) gaben die Verwertungskosten für Ziegel allerdings mit 100 €/t In-situ-Material bei einem Realisierungszeitraum von drei Jahren an, was je nach angenommener In-situ-Dichte der Größenordnung des Wertes von DETZNER (2012) entspricht.

5.2 Bedeutende Kostenfaktoren

Zur Erstellung eines adäquaten statischen Modells (vgl. Kapitel 5.3) sind im Wesentlichen die folgenden Kostenarten zu berücksichtigen, welche sich aus den einzelnen Prozessschritten ergeben:

- Entnahmekosten (für die Gewinnung des Baggerguts)
- Aufbereitungskosten (Eventualposition für die Konditionierung des Baggerguts für eine zukünftige Nutzung)
- Entsorgungskosten (für die Entsorgung des nicht nutzbaren Anteils des Baggerguts)

- Transportkosten (für den Transfer des Materials)
- Overheadkosten (für die Geschäftsführung etc.)

Entnahmekosten

Die Gesamtgewinnungskosten hängen besonders von der Baustelleneinrichtung, -vorhaltung, -sicherung und abschließenden -räumung ab (BÄR 2011). Zudem müssen eventuell die Wege zur Talsperre befestigt werden, um für den Transport eine Anbindung an das öffentliche Straßennetz zu ermöglichen. Die Gewinnungskosten hängen zudem vom gewählten Entnahmeverfahren ab, was wiederum die Kosten der anschließenden Aufbereitung des Baggerguts beeinflusst. Darüber hinaus spielen Fördermenge des Materials (möglichst technisch und wirtschaftlich optimiert) sowie der Wasseranteil im Baggergut und die Gesamtdauer der Entnahme eine wichtige Rolle bei der Ermittlung der Kosten. Bei der Entsedimentierung von Talsperren überwiegen Nassbaggerverfahren. Für die Entnahme von Baggergut aus Binnengewässern finden sich in der Literatur beispielsweise Kosten zwischen 2,0 €/m³ und 7,0 €/m³ (ELSKENS & HARMSSEN 2007).

Aufbereitungskosten

Die Kosten für die Aufbereitung des Baggerguts hängen neben dem angewandten Aufbereitungsverfahren maßgeblich von der lokalen Situation (Topographie, rechtlichen Rahmenbedingungen, Grad der Kontaminierung, Mengen, Nachfrage usw.) ab. Tabelle 11 gibt eine

Tab. 11: Kosten ausgewählter Aufbereitungsverfahren (eigene Darstellung in Anlehnung an DEIBEL et al. 2007; HAKSTEGE 2007; HAMER et al. 1999; NETZBAND et al. 2002; UMWELTBHÖRDE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL 1995)

Aufbereitungsverfahren	Kosten [€/m ³ In-situ-Material]
Klassierung	1–11
Sortierung	3–11
Biologischer Abbau	15–30
Thermische Desorption	25–45
Thermische Einbindung	14–70
Chemische Oxidation	60–100
Chemische Einbindung	60–100
Chemische Extraktion	55–150

Übersicht über die in der Literatur angegebenen Kosten in Euro pro m³ In-situ-Material.

ELSKENS & HARMSSEN (2007) geben an, dass in den meisten Fällen die Kosten für Aufbereitung und Entsorgung fünf- bis zehnmal höher sind als die Entnahmekosten. Daraus ergäbe sich ein Spielraum von 10 bis 70 €/m³. Somit wären alle nichtchemischen Verfahren aus Tabelle 11 in etwa abgedeckt. Da die in den vorigen Kapiteln dargestellten Nutzungsmöglichkeiten eher geringe Anforderungen an die Qualität des Materials stellen, dürfte in der überwiegenden Zahl der Fälle die Installation einer Klassierungs- bzw. Sortieranlage hinreichend sein, sodass mit Werten zwischen 3 und 11 €/m³ kalkuliert werden darf.

Die Entwässerung, bei der eine anschließende Wasseraufbereitung bzw. die Einleitung des Restwassers in die Vorflut weitere Kostenfaktoren darstellen, ist ebenfalls einzubeziehen.

Entsorgungskosten

Oftmals ist eine Entsorgung der gebaggerten Talsperrensedimente bzw. des nicht nutzbaren Anteils des Baggerguts notwendig. Die dafür im Rahmen der Befragung der Betreiber und der Literaturrecherchen ermittelten Kosten variieren deutlich und reichen je nach Belastung und Sediment von etwa 8 bis 100 €/m³ (eigene Abschätzungen in Anlehnung an den Fragebogen und Daten des STATISTISCHEN BUNDESAMTS 2011).

Transportkosten

Die Transportkosten zum endgültigen Ort der Nutzung sind maßgeblich von der Entfernung und von der Transporttechnologie abhängig. Lastkraftwagen stellen gegenüber Pumpen und Schif-

fen die kostenintensivste, zugleich aber auch die flexibelste Variante dar (Tab. 12). Bei Betrachtung der vollen Kosten sind im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsrechnung die Entnahmekosten, die Aufbereitung (inklusive Entwässerung), die Lagerung und der Transport als Kette mit unterschiedlich interagierenden Elementen zu berücksichtigen (PIANC WG 104, 2009). Das Ergebnis kann anschließend jeweils dem Ertrag aus der Nutzung des Baggerguts gegenübergestellt werden. Da diese Betrachtungen aber sehr stark von den individuellen Gegebenheiten vor Ort abhängen (Sedimentzusammensetzung, Wasserchemie etc.), werden sie in der folgenden Modellrechnung (vgl. Kapitel 5.3) nur überschlägig berücksichtigt.

5.3 Abschätzung von Kosten und Nutzen der Sedimentverwertung anhand eines Beispiels

Die beispielhafte Darstellung der Nutzungspfade zeigt, dass das größte Nutzungspotenzial aktuell in der Anwendung des Baggerguts als Zuschlag für Baustoffe oder als durchwurzelbare Bodenschicht liegt. Für den Talsperrenbetreiber ist im Rahmen der Entscheidung unter anderem maßgebend, ob das Produkt (zum Beispiel aufbereitetes Baggergut) langfristig einen Preis erzielen kann, der möglichst über den Kosten für Gewinnung, Aufbereitung und Transport liegt. Wie bereits zuvor erwähnt, wäre möglicherweise auch ein Preis akzeptabel, der die Gesamtkosten im Vergleich zu einer Gewinnung ohne Aufbereitung reduziert und auf diese Weise einen wirtschaftlichen Vorteil generiert. Eine Marktanalyse, die vor allem die Nachhaltigkeit der potenziellen Abnahme sowie daraus abgeleitete Preis- und Kostenszenarien beinhaltet, sollte der Abschätzung des wirtschaftlichen Risikos der Unternehmung dienen.

Tab. 12: Transportkosten (ELSKENS & HARMSSEN 2007)

Transportart	Kosten [€/t Nassmaterial/km]	Kosten bei 50 km Transportentfernung [€/m ³] (Dichte = 1,6 t/m ³)
Schiff	0,03–0,12	0,94–3,75
Pumpen	0,08–0,15	2,50–4,69
Lastkraftwagen	0,10–0,15	3,13–4,69

Tab. 13: Zusammenfassung der Kostenansätze aus der Recherche und Darstellung der Modellansätze

	Minimum [€/m³]	Mittelwert [€/m³]	Maximum [€/m³]	Annahme [€/m³]
Entnahme	2,00	4,50	7,00	4,50
Aufbereitung	3,00	7,00	11,00	7,00
Entsorgung	8,51	52,96	97,40	53,00
Transport	3,13	3,91	4,69	4,00

Im Folgenden wird ein Vergleichsmodell vorgestellt, dass der Ermittlung des wirtschaftlichen Vorteils bzw. des Kostenspielraums für die Aufbereitung dient.

Basis der Betrachtung ist die angenommene Entsedimentierung der Talsperre TS 1. Basis für die unterstellte Korngrößenverteilung ist das Ergebnis der Probe 1 (vgl. Abb. 7). Die Auswertung der Analysen zeigte, dass Sedimente des Beispielstausees möglicherweise als einfache Zuschläge in der Baustoffindustrie (Sand im Korngrößenintervall 63 µm bis 2 mm) verwendet werden könnten. Dazu müsste der Schluff- und Ton- sowie der Kiesanteil weitgehend abgetrennt werden, ebenso grobe organische Komponenten. Aus der Kornsummenkurve der Probe 1 ist abzuleiten, dass etwa 88 % des Materials in dieser Form verwertet werden könnten.

Der Stausee TS 1 besitzt ein Volumen von etwa 20 Mio. m³. Es wird für die nachfolgende Betrachtung von einer Sedimententnahme im Bereich des Zulaufs von ca. 100.000 m³ Sediment (mithin etwa 0,5 % des Gesamtvolumens des Stausees) ausgegangen². Bei einer angenommenen Projektlaufzeit von zwei Jahren ist somit von einer jährlichen Entsedimentierungsrate von 50.000 m³ auszugehen.

Für die Modellrechnung werden zwei Fälle unterschieden, die bei gleicher Entnahmerate und Sedimentbeschaffenheit zum einen die reine Entsorgung des gesamten Baggerguts und zum anderen eine teilweise Nutzung des Baggerguts unterstellen. Im ersten Fall wird davon

ausgegangen, dass keine Aufbereitungs- und Produkttransportkosten anfallen. Im Fall der Nutzung des Baggerguts sollen 60 % der verfügbaren Sandmenge für einen Preis von 6€/m³ verkaufbar sein.

Ausgehend von den ermittelten Kostenansätzen für die einzelnen Prozessschritte aus dem vorigen Kapitel fasst die folgende Tabelle 13 das Spektrum der Angaben zusammen und zeigt in der letzten Spalte die für das hier dargestellte Modell ausgewählten Ansätze. Dabei wurden sinnvolle Rundungen der Mittelwerte verwendet.

Diese Annahmen unterstellen die Abdeckung sämtlicher Aufbereitungs- und vor allem Entsorgungsaufwendungen (inklusive Wasser) und gehen überdies von einer Lohnarbeit aus. Es werden also keine direkten Investitionen betrachtet, sondern spezifische Leistungspreise pro Kubikmeter entnommenen Sediments (In-situ).

Unter Anwendung der zuvor getroffenen Annahmen ergibt sich für den betrachteten Modellfall ein wirtschaftlicher Vorteil in Höhe von ca. 1,2 Mio. € im Jahr bzw. ca. 38 % im Vergleich zu einer reinen Entsorgung des gesamten Baggergutes. Damit könnten die spezifischen Kosten pro Kubikmeter Sediment von ca. 63€ auf ca. 39€ gesenkt werden. Eine detaillierte Gegenüberstellung der rechnerischen Ergebnisse ist der folgenden Tabelle 14 zu entnehmen:

² Bei der Annahme für die Dichte des Materials von 1,6t/m³ (LANGE & AUST 2003) ergibt sich eine Entnahmemenge von 160.000t.

Tab. 14: Ergebnis der Vergleichsrechnung einer Talsperrensedimentierung mit und ohne Nutzung des Baggerguts

	ohne Nutzung/ ohne Aufbereitung	mit Nutzung/ mit Aufbereitung
Vorrat (m ³)	100.000	100.000
Dauer der Maßnahme (a)	2,0	2,0
Produktion (m ³ /a)	50.000	50.000
Anteil Sand (Prozent)	88 %	88 %
davon nach Aufbereitung verkaufbar (Prozent)	0 %	60 %
verkaufbares Produkt (m ³ /a)	0	26.400
zu entsorgendes Material (m ³ /a)	50.000	23.600
Kosten:		
<i>spezifisch:</i>		
Entsedimentierung (€/m ³)	4,50	4,50
Aufbereitung (€/m ³)	0,00	7,00
Transport (€/m ³)	0,00	4,00
Entsorgung (€/m ³)	53,00	53,00
Zwischensumme (€/m ³)	57,50	68,50
Overhead (10 % der Zwischensumme)	5,75	6,85
<i>jährliche Kosten:</i>		
Entsedimentierung (€/a)	225.000	225.000
Aufbereitung (€/a)	0	350.000
Transport (€/a)	0	105.600
Entsorgung (€/a)	2.650.000	1.250.800
Zwischensumme (€/a)	2.875.000	1.931.400
Overhead (10 % der Zwischensumme))	287.500	193.140
jährliche Kosten (€/a)	3.162.500	2.124.540
Gesamtkosten (€)	6.325.000	4.249.080
Erlöse:		
Erlös Sand (€/m ³)	6	6
jährlicher Erlös Sand (€/a)	0	158.400
Gesamterlös Sand (€)	0	316.800
Ergebnis:		
jährliches Ergebnis (€/a)	-3.162.500 €	-1.966.140 €
Gesamtergebnis (€)	-6.325.000 €	-3.932.280 €
wirtschaftlicher Vorteil (€/a)		1.196.360 €
wirtschaftlicher Vorteil (€)		2.392.720 €
wirtschaftlicher Vorteil (%)		37,83 %
spezifisches Ergebnis in (€/m ³)	-63,25 €	-39,32 €

Das Modell erlaubt weiterhin die Betrachtung des Einflusses der Variation einzelner Vorgaben. Dabei stellt sich erwartungsgemäß heraus, dass die Kosten für die Entsorgung des nicht nutzbaren

Anteils des Baggerguts den treibenden Faktor für den wirtschaftlichen Vorteil einer Nutzung der Sedimente gegenüber einer reinen Entsorgung darstellen. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die

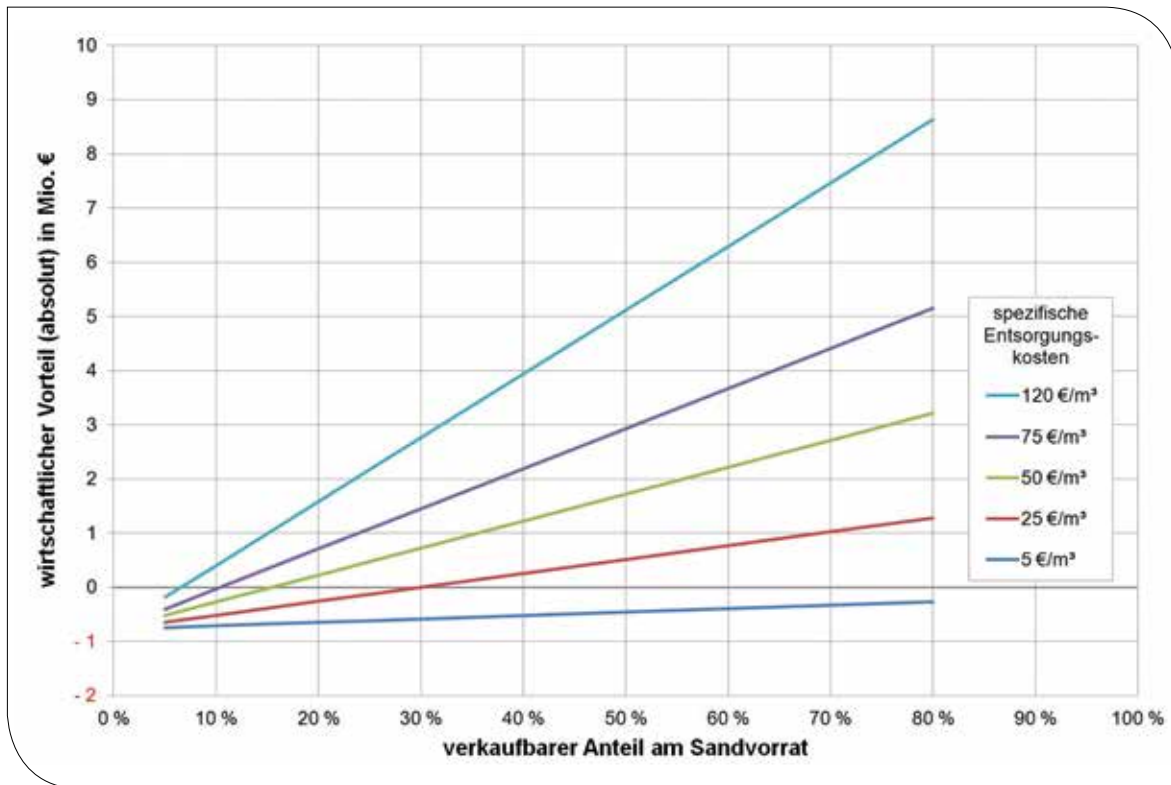


Abb. 10: Abhängigkeit des wirtschaftlichen Erfolgs (absolut in Mio. €) einer Nutzung von Talsperresedimenten im vorgestellten Beispiel

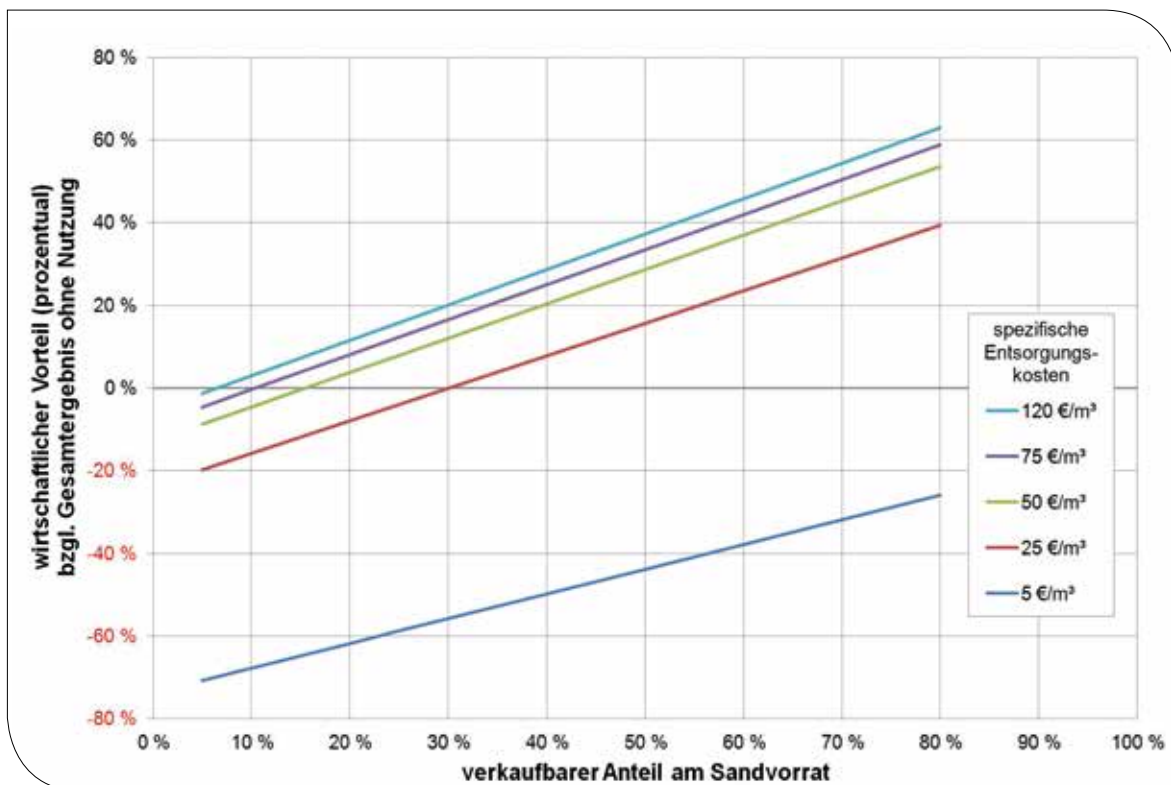


Abb. 11: Abhängigkeit des wirtschaftlichen Erfolgs (prozentual in Bezug auf die reine Entsorgung) einer Nutzung von Talsperresedimenten im vorgestellten Beispiel

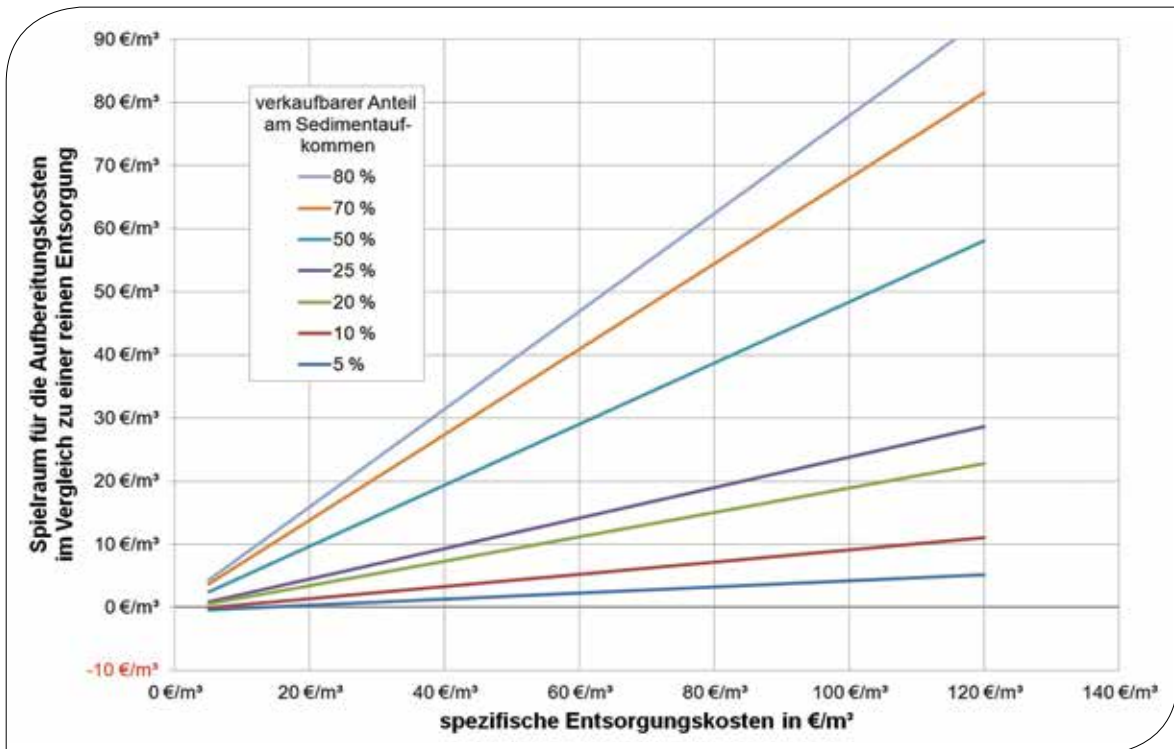


Abb. 12: Spielraum für die spezifischen Aufbereitungskosten in €/m³ bei Unterstellung der reinen Entsorgung des Baggerguts als Grenzkostenschwelle (farbige Linien geben verschiedene Anteile für die Nutzung des verfügbaren Sandanteils an)

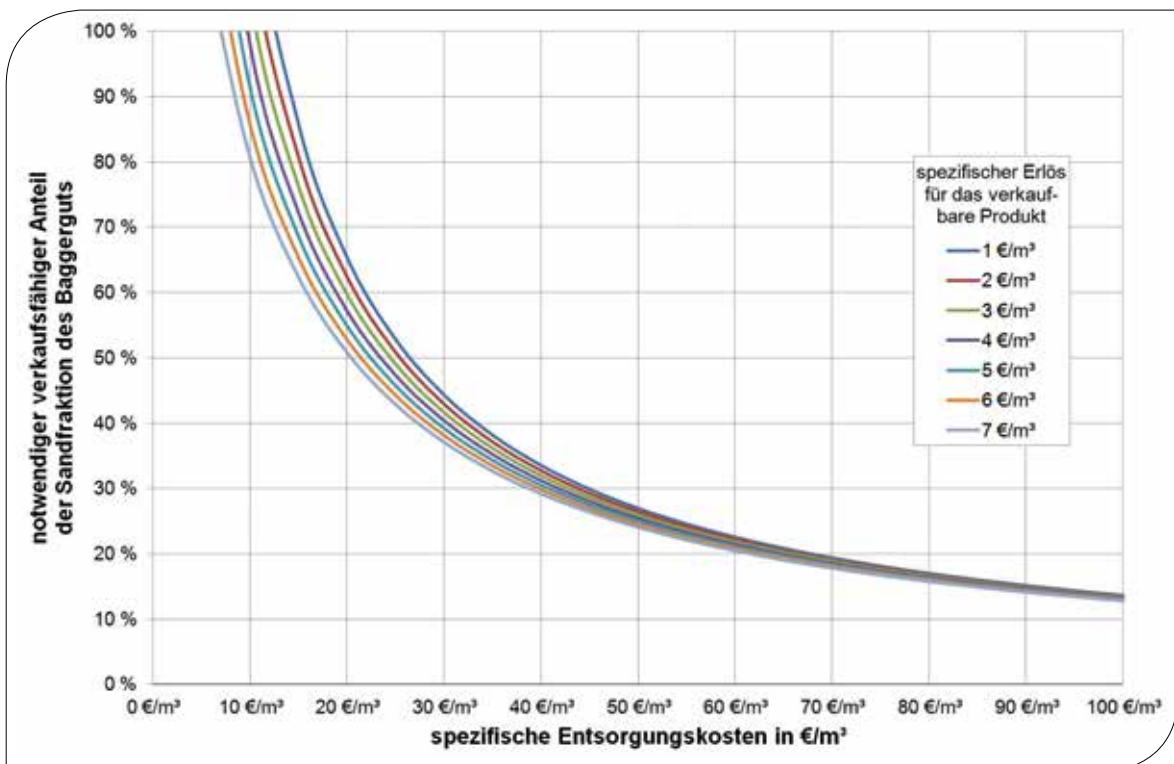


Abb. 13: Notwendiger verkaufsfähiger Anteil der Sandfraktion des Baggerguts in Abhängigkeit vom Verkaufserlös (farbige Linien) und von den spezifischen Entsorgungskosten

Abhängigkeit des wirtschaftlichen Erfolgs (absolut in Mio. € und relativ in %) von den spezifischen Entsorgungskosten ($\text{€}/\text{m}^3$) und dem verkauf- bzw. nutzbaren Anteil der Talsperrensedimente (in %). Es zeigt sich, dass bei Entsorgungskosten von $5\text{€}/\text{m}^3$ kein Vorteil in der Nutzung der Sedimente besteht. Bei höheren Entsorgungskosten ist der wirtschaftliche Vorteil einer Nutzung abhängig von den Entsorgungskosten.

Geht man davon aus, dass die reine Entsorgung des Baggerguts höhere Kosten verursacht als eine zumindest teilweise Nutzung, lässt sich aus dem Modell in Abhängigkeit von den Entsorgungskosten und dem nutzbaren Anteil der Sedimente ein Spielraum für die Aufbereitungskosten ermitteln. Dies ist in Abbildung 12 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass selbst für vergleichsweise geringe spezifische Entsorgungskosten und auch bei der Nutzung eines nur geringen Anteils des verfügbaren Baggerguts Spielräume für die Aufbereitung und damit ein gewisses wirtschaftliches Potenzial bestehen.

Betrachtet man umgekehrt den Zusammenhang zwischen dem wirtschaftlich erforderlichen verkaufsfähigen (zu nutzenden) Anteil des Sediments (aus dem Sandspektrum) in Abhängigkeit vom erzielbaren Erlös und der Höhe der spezifischen Entsorgungskosten (Abb. 13), so zeigt sich, dass bereits bei Entsorgungskosten zwischen 50 und $55\text{€}/\text{m}^3$ zum einen der Einfluss des Erlöses recht gering wird und zum anderen die Nutzung eines Anteils von 25% bis 30% des verfügbaren Sedimentaufkommens (aus dem Körnungsintervall „Sand“) einen wirtschaftlichen Vorteil ermöglicht.

6 Fazit

Die im Rahmen der Studie analysierten Proben weisen darauf hin, dass deutlich mehr Talsperrensedimente genutzt werden könnten, als dies bislang der Fall ist. Eine eingehende Analyse der Sedimente im Vorfeld ist jedoch notwendig, um abschätzen zu können, ob eine Verwendung möglich ist. Insgesamt weisen die Talsperrensedimente keine hohen Qualitäten auf, sodass die Verwendung in höherwertigen Anwendungen aufgrund der aufwendigen Aufbereitung wohl weiterhin einen Ausnahmefall darstellen wird. Die Verwendung der Talsperrensedimente als einfache Zuschläge für Baustoffe sowie inner- oder unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht könnte jedoch für einige Talsperrenbetreiber eine Alternative zur Deponierung darstellen. Denn bei diesen Anwendungen kann gegebenenfalls auf eine aufwendige Aufbereitung verzichtet werden. Einfache Verfahren könnten sich für die Erstellung eines marktfähigen Produktes als hinreichend erweisen. In Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen, den spezifischen Entsorgungskosten, der Qualität und dem Wert des Rohstoffs könnte eine Nutzung von Teilen der gewonnenen Sedimente somit eine Option darstellen, die Gesamtkosten der Beräumung zu reduzieren. Zu beachten sind insbesondere auch die rechtlichen Vorschriften, beispielsweise Regularien im Umweltbereich. Gemäß der Abfallhierarchie ist jedoch gegenüber der Deponierung immer der Nutzung Vorrang einzuräumen. Die Frage der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen verdient in diesem Kontext besondere Berücksichtigung.

7 Literaturverzeichnis

AVV: Abfallverzeichnis-Verordnung – Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 22 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

BÄÄTJER, M. & DETZNER, H. (1997): Elbsedimente: Zukunftsrohstoff für die Ziegelindustrie. – *HANSA International Maritime Journal*, 134(7), S. 8–11.

BÄR, F. (2011): Verwertung von Sedimenten aus Talsperren/Stauanlagen als durchwurzelbare Bodenschicht auf landwirtschaftlichen Flächen. – *Müll und Abfall*, Nr. 9, S. 424–429.

BAUPG: Bauproduktengesetz vom 05. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2449, 2450) – Gesetz zur Durchführung der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Umsetzung und Durchführung anderer Rechtsakte der Europäischen Union in Bezug auf Bauprodukte.

BGGWG: Brandenburgisches Wassergesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. März 2012 (GVBl.I/12, Nr. 20), geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 10. Juli 2014 (GVBl.I/14, Nr. 32)

BBODSCHG: Bundes-Bodenschutzgesetz – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch das Gesetz vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

BBODSCHV: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), die zuletzt durch Artikel 5, Absatz 31 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist.

BRÄUNIG, A.; KÖHLER, S. & HEINS, S. (2004): Auf- und Einbringung von Materialien in und auf den Boden. – Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG), Jena. Online im Internet: URL: http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/boden/merkblatt_bodenschutz.pdf [Stand: November 2014].

BRAY, R. N. (2008): Environmental aspects of dredging. – London, England; New York, USA: Taylor & Francis.

BREMISCHER DEICHVERBAND AM LINKEN WESERUFER (2012): Verwendung von Baggergut im Deichbau. – Online im Internet: URL: <http://www.deichverband-bremen-alw.de/baggergut.0.html> [Stand: 1. Februar 2012].

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2007): Karte der Bodenausgangsgesteine von Deutschland 1:5.000.000. – Online im Internet: URL: <http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Karten/Downloads/BAG5000.html>. [Stand: November 2011].

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (2012): Economy Efficiency and Environmental Challenges: Dredging Strategies in Germany. – Online im Internet: URL: <http://www.dredging-in-germany.de/downloads/bro-english.pdf> [Stand: 1. Dezember 2011].

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (2011): Sand- und Kiesabbau deckt Grundbedürfnisse. *dredging-in-germany*. – Online im Internet: URL: <http://www.dredging-in-germany.de/sites/deutsch/deutsch.html> [Stand: 7. November 2011].

BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN ZEMENTINDUSTRIE E. V. & VEREIN DEUTSCHER ZEMENTWERKE E. V. [Hrsg.] (2002): Zementrohstoffe in Deutschland: Geologie, Massenbilanz, Fallbeispiele. – Düsseldorf: Bau und Technik.

CLAASSEN, L. & VAN DER KOOIJ, A. (2002): De Kenemer Mop – Van baggerspecie tot baksteen. *waterbodem – actueel en verhelderend*. – Online im Internet: URL: <http://www.waterbodem.nl/artikel.php?id=51> [Stand: 3. Februar 2012].

DEIBEL, I., LAMPE, C., ULBRICHT, J.P., CNUDE, T., VAN DESSEL, G. (2007): Beneficial use. In: Bortone, G. & Palumbo, L. [Hrsg.]: *Sustainable Management of Sediment Resources – Sediment and Dredged Material Treatment*. – Amsterdam, Niederlande: Elsevier B. V., S. 119–131.

- DETZNER, H.; (2012): Mechanische Baggergutaufbereitung. dredging-in-germany. – Online im Internet: URL: http://www.dredging-in-germany.de/Hamburg/sites/metha/metha_m.html [Stand: 8. Februar 2012].
- DETZNER, H.; HAKSTEGE, A.L.; HAMER, KAY & PALLEMANS, I. (2007): Overview on treatment and disposal options. In: Bortone, G. & Palumbo, L. [Hrsg.]: *Sustainable Management of Sediment Resources – Sediment and Dredged Material Treatment*. – Amsterdam, Niederlande: Elsevier B.V., S. 59–65.
- DEUTSCHES TALSPERRENKOMITEE (2012): Talsperren in Deutschland. – Online im Internet: URL: http://www.talsperrenkomitee.de/interessantes_ueber_talsperren/interessantes_ueber_talsperren.htm [Stand: Januar 2012]
- DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (DWA) [Hrsg.] (2004): ATV-DVWK-M 362-2 – Umgang mit Baggergut – Teil 2: Fallbeispiele. – Hennef.
- DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (DWA) [Hrsg.] (2006): Entlandung von Stauräumen. – Hennef.
- DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (DWA) [Hrsg.] (2008): DWA-M 362-1 Umgang mit Baggergut – Teil 1: Handlungsempfehlungen. – Hennef.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (DIBt) [Hrsg.] (2011): Grundsätze zur Bewertung der Auswirkungen von Bauprodukten auf Boden und Grundwasser. – Berlin.
- DIN 19731 (1998): Bodenbeschaffenheit – Verwertung von Bodenmaterial.
- DIN 19700-11 (2004): Stauanlagen – Teil 11: Talsperren.
- DIN 19700-12 (2004): Stauanlagen – Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken.
- DIN 4048-1:1987-01 (1987): Wasserbau – Begriffe – Stauanlagen.
- DIN EN ISO 14688-1 (2003): Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden.
- ELSKENS, F. & HARMSSEN, J. (2007): Costs of treatment chains. In: Bortone, G. & Palumbo, L. [Hrsg.]: *Sustainable Management of Sediment Resources – Sediment and Dredged Material Treatment*. – Amsterdam, Niederlande: Elsevier B.V., S. 185–192.
- EU-BAUPVO: EU-Bauproduktenverordnung – Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 09. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. – Amtsblatt der Europäischen Union vom 04.04.2011; L 88/5.
- GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ABWASSERTECHNIK (2001): Volumenermittlung von Stauräumen. – Hennef: GFA.
- HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT (2002): Umgang mit Baggergut. – Hamburg: Fachausschuss Baggergut.
- HAFENTECHNISCHE GESELLSCHAFT (2006): Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste. – Hamburg: Fachausschuss Baggergut.
- HAKSTEGE, A. L. (Hrsg.) (2007): Description of the Available Technology for Treatment and Disposal of Dredged Material. In: Bortone, G. & Palumbo, L. [Hrsg.]: *Sustainable Management of Sediment Resources – Sediment and Dredged Material Treatment*. – Utrecht, Niederlande: Elsevier B.V., S. 68–118.
- HAMER, K.; WASCHKOWITZ, C.; ISENBECK-SCHRÖTER, M. & SCHULZ, H. D. [Hrsg.] (1999): Verwertung von Baggergut zur Ziegelherstellung. *Ressourcen-Umwelt-Management: Wasser, Boden, Sedimente: mit 36 Tabellen*. – Berlin [u. a.]: Springer Verlag.
- HEIDELBERGCEMENT AG (2012): Der Herstellungsprozess von Zement. – Online im Internet: URL: http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/1891C44F-008A-4452-B5AB-F537993D524B/0/HCHerstellungZement0808_rev4.pdf [Stand: 9. Februar 2012].
- HWG: Hessisches Wassergesetz vom 14. Dezember 2010 (GVBl. I S. 548), zuletzt geändert durch

Artikel 62 des Gesetzes vom 13. Dezember 2012 (GVBl I S. 622).

ICOLD CLASSIFICATION (2011): General Synthesis. – Online im Internet: URL: <http://www.icold-cigb.org/> [Stand: 28. März 2012].

KIBBEL, E.-M. & HENNEBERG, M. (2004): Baggergutmanagement an der Hansestadt Rostock. Rostock: Hansestadt Rostock, Universität Rostock. – Online im Internet: URL <http://www.dredging-in-germany.de/downloads/seehae1/04.pdf> [Stand: 1. Dezember 2011].

KÖTHE, H. (1995): Management of contaminated dredged material in the Federal Republic of Germany. – Vortrag auf der internationalen Konferenz „Sediment Remediation '95“ vom 8.–10. Mai 1995 in Windsor, Ontario, Kanada.

KRWG: Kreislaufwirtschaftsgesetz – Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das zuletzt durch §44 Absatz 4 des Gesetzes vom 22. Mai 2013 (BGBl. I S. 1324) geändert worden ist.

LAGA M 20 (2003): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil 1: Allgemeiner Teil, Technische Regeln Nr. 20, Länderarbeitsgemeinschaft Abfall.

LAGA M 20 (2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil 2: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), Technische Regeln Nr. 20, Länderarbeitsgemeinschaft Abfall.

LAGA M 20 (2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil 3: Probenahme und Analytik, Technische Regeln Nr. 20, Länderarbeitsgemeinschaft Abfall.

LANGE, G. & AUST, H. (2003): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten – Erkundungspraxis. – Berlin [u. a.]: Springer.

LAWA (2004): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. – Düsseldorf: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

LWAG: Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern vom 30. November 1992 (GVObI. M-V 1992, S. 669), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 4. Juli 2011 (GVObI. M-V S. 759, 765).

LANDESWASSERGESETZ NORDRHEIN-WESTFALEN: Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen vom 25. Juni 1995, zuletzt geändert durch Gesetz vom 5. März 2013 (GV. NRW. S. 133).

LANDESWASSERGESETZ RHEINLAND-PFALZ: Wassergesetz für das Land Rheinland-Pfalz vom 22. Januar 2004, zuletzt geändert durch Gesetz vom 23. November 2011 (GVBl. S. 402, BS 75-50).

MORRIS, G.L. & FAN, J. (1998): Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. – New York, USA: McGraw-Hill.

NETZBAND, A.; HAKSTEGE, A.L. & HAMER, K. (2002): Treatment and confined disposal of dredged material. – Online im Internet: URL: <http://www.sednet.org/download/DGE-Part-II-Treatment.pdf> [Stand: 1. Dezember 2011].

NWG: Niedersächsisches Wassergesetz vom 19. Februar 2010 (Nds. GVBl. 2010, 64), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 17. Dezember 2010 (Nds. GVBl. S. 631) geändert worden ist. Letzte berücksichtigte Änderung: Anlage 7, neu gefasst durch Verordnung vom 5. August 2014 (Nds. GVBl. S. 236).

ORTLAM, D. (1989): Geologie, Schwermetalle und Salzwasserfronten im Untergrund von Bremen und ihre Auswirkungen. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*. Bremen, S. 489–512.

PATZOLD, V.; DREBENSTEDT, C. & GRUHN, G. (2008): Der Nassabbau – Erkundung, Gewinnung, Aufbereitung, Bewertung. – Berlin: Springer.

PIANC (2001): Managing contaminated dredged material: PIANC'S technical brief about the management of contaminated dredged material within the navigation community. – Brüssel, Belgien: International Navigation Association.

PIANC MARCOM WORKING GROUP 6 (1984): Classification of soils and rocks to be dredged. – Brüssel, Belgien: PIANC Secrétariat Général.

PIANC WG 100 (2009): Dredging management practices for the environment: a structured selection approach. – Bruxelles, Belgique: PIANC Secrétariat Général.

PIANC WG 104 (2009): Dredged material as a resource. – Brüssel, Belgien: PIANC Secrétariat Général.

QUANDT, T. (2007): Sedimententnahme – Sedimentunterbringung. Sanierung der Darß-Zingster-Boddenkette. Rostock. – Online im Internet: URL: http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/bodden_quandt.pdf [Stand: 11. Januar 2012].

SÄCHSWG: Sächsisches Wassergesetz vom 12. Juli 2013 (SächsGVBl. S. 503)

SCHÜTTRUMPF, H., DETERING, M., FRINGS, R., KIRSCH, F. & JUREK, L. (2012): Kontinuierliche Sedimentverlagerung zur Wiederherstellung eines natürlichen Sedimenttransports (KonSed). – Abschlussbericht zum ZIM-Projekt, unveröffentlicht, Aachen.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2011): Jährliche Trinkwasser- und Abwasserentgelte in Deutschland am 1. Januar 2010 (in Euro). – Wiesbaden.

SWG: Saarländisches Wassergesetz vom 30. Juli 2004 (Amtsbl. S. 1994), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 3. Dezember 2013 (Amtsbl. I 2014 S. 2).

TALSPERRENBETRIEBSGESETZ SACHSEN-ANHALT: Gesetz zur Errichtung einer Anstalt des öffentlichen Rechts „Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt“ vom 17. Dezember 2003 (GVBl. LSA 2003, S. 359).

THÜRFBWG: Thüringer Gesetz über die Fernwasserversorgung vom 5. März 2003 (GVBl. S. 145).

THÜRFBWG: Thüringer Wassergesetz vom 18. August 2009 (GVBl 2009, 648).

UMWELTBEBÖRDE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG & LAHMEYER INTERNATIONAL (1995): Machbarkeitsstudie über die Verwertung von belasteten Sedimenten. Frankfurt am Main. – Online im Internet: URL: http://www.htg-baggergut.de/Downloads/LI_Machbarkeitsstudie.pdf [Stand: 15. Dezember 2011].

UNIVERSITÄT ROSTOCK & UNIVERSITÄT DANZIG (2012): DredgDikes – Baggergut im Deichbau. – Online im Internet: URL: <http://www.dredgdikes.eu/de/baggergut-im-deichbau-16> [Stand: 20. November 2011].

VERLAG FÜR ABWASSER, ABFALL UND GEWÄSSERSCHUTZ (1999): ATV-M 362-3: Umgang mit Baggergut – Teil 3: Mindestuntersuchungsprogramm für Baggergut. – Hennef, GFA Verlag für Abwasser, Abfall und Gewässerschutz.

VOLLZUGSHILFE ZU § 12 BBodSchV (2002): Vollzugshilfe zu den Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden (§ 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung), LABO in Zusammenarbeit mit LAB, LAGA und LAWA [Stand: 11. September 2002].

WG: Wassergesetz für Baden-Württemberg vom 3. Dezember 2013 (GBl. Nr. 17, S. 389), zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 29. Juli 2014 (GBl. I Nr. 15, S. 378).

WHG: Wasserhaushaltsgesetz – Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 76 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert worden ist.



**Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**

Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Germany
Tel.: +49 30 36993 226
Fax: +49 30 36993 100
dera@bgr.de
www.deutsche-rohstoffagentur.de

ISSN: 2193-5319
ISBN: 978-3-943566-15-4