



# DIPLOMARBEIT Master Thesis

## **Mobile Flusssedimentaufbereitung**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Arthur Schönwälder

E234-1

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement – Baubetrieb und Bauwirtschaft

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ivan Topalovic, B.Sc.

0625265

Lambacherstraße 46  
4623 Gunskirchen

Gunskirchen, am 25.02.2014

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Hans Georg Jodl, der mir die Bearbeitung dieses Themas ermöglicht hat.

Großer Dank gebührt auch Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Arthur Schönwälder für die wissenschaftliche Betreuung meiner Arbeit.

Dem Urheber und Einleiter dieses Diplomarbeitsthemas, Bmst. Ing. Hans Wolfsteiner, bekennde ich meine Dankbarkeit. Ohne seine fachliche und moralische Unterstützung wäre die Ausarbeitung dieses Themas in diesem Umfang nicht möglich gewesen.

Meine Diplomarbeit widme ich meiner Frau, Danijela Topalovic, und meinen Eltern, Zeljko und Marica Topalovic. Besonders meiner Frau danke ich für die bedingungslose und tatkräftige Unterstützung während meines Studiums. Vor meinen Eltern, die mein Studium ermöglichen und mich in allen weiteren Belangen sorgsam unterstützt haben, will ich mich verneigen und Danke sagen.

Zudem bedanke ich mich bei meinem Freund und Studienkollegen, Arnel Muzaferovic, mit dem ich sechs Jahre im Studentenheim verbracht habe.

Nicht zuletzt möchte ich mich auch bei meinem gesamten Freundes- und Bekanntenkreis und allen anderen Personen bedanken, die hier nicht speziell angeführt sind, aber mich während meiner Studienzeit begleitet haben.

## Abkürzungsverzeichnis

[°C]	Celsius
[cm]	Zentimeter
[d]	Tag
[€]	Euro
[g]	Gramm
[h]	Stunde
[ha]	Hektar
[kWh]	Kilowattstunde
[kN]	Kilonewton
[km]	Kilometer
[kNm]	Kilonewtonmeter
[kg]	Kilogramm
[kW]	Kilowatt
[LS]	Ladespiele
[l]	Liter
[min]	Minute
[µm]	Mikrometer
[m]	Meter
[mm]	Millimeter
[m³]	Kubikmeter
[Mo]	Monat
[%]	Prozent
[PS]	Pferdestärke
[to]	Tonne
[U]	Umdrehung
Abb.	Abbildung
AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
A.u.V.	Abschreibung und Verzinsung
Bsp.	Beispiel
BBodSchg	Bundes Bodenschutzgesetz
bspw.	beispielsweise
DK	Deponieklasse
DN	Diameter nominal

etc	Et cetera
EU	Europäische Union
Fa.	Firma
FHM	Flockungshilfsmittel
GPS	Global Positioning System
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
kf	Durchlässigkeitswert
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LKW	Lastkraftwagen
M 20	Mitteilung 20
max.	Maximal
mind.	mindestens
ÖBGL	Österreichische Baugeräteliste
Stk.	Stück
TS	Trockensubstanz
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
w	Wassergehalt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
Z	Zuordnungswert
z.B.	zum Beispiel

## Kurzfassung

Eines der besonderen Merkmale von Flüssen ist die Fähigkeit Schwebestoffe und Geschiebe transportieren zu können. Solange die Fließgeschwindigkeit einen bestimmten Wert nicht unterschreitet, ist der kontinuierliche Transport der im Fluss befindlichen Stoffe gewährleistet. Da aber insbesondere die Nutzung der Wasserkraft eine Stauhaltung und somit eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit verlangt, kommt es zu ständigen Anlandungen. Ohne Entnahme der sedimentierten Stoffe aus dem Flussquerschnitt würden Stauhaltungen zu erheblichen Auswirkungen auf Mensch und Natur führen.

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung von Gerätekonzepten bei Nassbaggerarbeiten. Es werden verschiedene Geräte aneinander gekoppelt und zu einer funktionierenden Einheit zusammengefügt. Die Aufgaben der Geräte reichen vom Ausbaggern bis zum Transport der im Flussquerschnitt befindlichen Anlandungsmassen. Besonderes Augenmerk gilt den Kosten und Kosteneinsparungen gegenüber herkömmlichen Verfahren. Vor allem die Trennung des Baggergutes nach Korngrößen bietet mehrere Optionen hinsichtlich der Verwertung. Mögliche Einsparungspotentiale wurden auch in der Entwässerung des Baggergutes erkannt. Da die Wahl der zum Einsatz kommenden Geräte durch die Eigenschaften der Sedimente beeinflusst wird, sind Untersuchungen an Inhaltsstoffen und Bestimmungen der Korngrößenverteilungen unumgänglich. Ein weiterer Punkt dieser Ausarbeitung betrifft die rechtlichen Grundlagen. Jedes Baggergut wird im Vorfeld deklariert und bekommt somit seine Bestimmung hinsichtlich der Verwertbar- bzw. Deponierbarkeit. Vor allem die verschiedenen Verwertungsmöglichkeiten, die durch eine Aufbereitung der ausgebagerten Sedimente erreicht werden können, erfordern die Berücksichtigung verschiedener Disziplinen und derer Rechtsbereiche.

## **Abstract**

One of the characteristics of rivers is the ability to transport suspended particles. The continuous transport of the substances is guaranteed as long as the flow rate does not drop below a certain value. In the special case of dams the use of water power requires a reduction of the flow rate, which leads to constant sedimentations. If the sedimented particles are not removed from the river bed the effects on humans and nature could be significant.

This work deals with the development of device concepts for dredging. Different devices coupled to each other and joined to a functioning unity. The tasks of the devices reach from dredging up to the transport of the sedimentations. Special attention is paid to the costs and the cost savings compared to the usual methods of dredging. In particular, the separation of the dredged material according to particle size offers several options in terms of recovery. Potential savings have also been recognized in the dewatering of the dredged material. The choice of used devices is influenced by the qualities of the sediments. Therefore, studies of ingredients and determination of the grain size are essential. Another point of this thesis concerns the legal basis for this dredging works. Dredged material is declared in advance. The treatment of dredged sediments leads to diverse possibilities of utilisation. Therefore, a consideration of different fields of law is necessary.

1.	Einleitung .....	10
1.1	Problematik durch Stauhaltung .....	10
1.2	Ziel der Arbeit.....	12
2.	Allgemeine Grundlagen.....	13
2.1	Herkunft von Feststoffen .....	13
2.2	Abtrag von Feststoffen .....	13
2.3	Transport von Feststoffen .....	17
2.4	Ablagerung von Feststoffen.....	21
2.5	Anthropogener Eintrag und Schadstoffe im Wasser .....	24
2.5.1	Schad-/Stoffeintrag nach der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser.....	26
2.6	Umgang mit Baggergut .....	27
2.7	Baggerung und Aufbereitung.....	31
3.	Rechtliche Grundlagen.....	33
3.1	Baggergut als Abfall im gesetzlichen Sinne .....	34
3.2	Abfallschlüssel .....	35
3.3	Abfall zur Verwertung an Land, LAGA-Regelwerk .....	36
3.3.1	Bodenmaterial nach LAGA-Regelwerk (Teil II) .....	40
3.4	Abfall zur Beseitigung auf Deponien.....	44
3.5	Abfall zur Verwertung auf Deponien .....	45
4.	Verfahrenstechnik und Geräteauswahl.....	48
4.1	Nassbaggerung.....	49
4.1.1	Stelzenpontonbagger/Baggerstelzenponton.....	49
4.2	Transport am Gewässer .....	51
4.2.1	Schubboot.....	51
4.2.2	Schubleichter .....	53
4.3	Überleitung an Land mittels Tauchpumpe .....	54
4.4	Aufbereitung.....	56
4.4.1	Klassierung/Separierung .....	57
4.4.2	Eindickung und Ausleitung des Restwassers .....	62
4.4.3	Entwässerung .....	67

4.4.4	Transportgerät.....	72
4.4.5	Ladegerät.....	74
5.	Körnungslinien .....	75
5.1	Kornverteilung der Donausedimente .....	76
5.2	Kornverteilung des Speichers Großsölk .....	78
5.3	Kornverteilung des Wöhrdersees .....	79
5.4	Kornverteilung bayerischer alpiner Gewässer .....	80
5.5	Kornverteilung des Laufkraftwerkes in Mellach.....	81
6.	Beispiel einer Nassbaggerung.....	83
6.1	Lage der Schleuse und Anlandungsmassen .....	84
6.2	Bewertung der Proben .....	84
6.3	Baustelleneinrichtungsplan.....	86
6.4	Bodenparameter und Einheitswürfel.....	89
6.5	Kalkulation mit Aufbereitung.....	105
6.5.1	Randbedingungen.....	105
6.5.2	Leistung Hydraulikbagger.....	106
6.5.3	Leistung Aufbereitungsgeräte.....	107
6.5.4	Leistung Radlader .....	107
6.5.5	Leistung Sattelzug.....	108
6.5.6	Kostenermittlung .....	109
6.6	Kalkulation ohne Aufbereitung.....	116
6.6.1	Leistung Kettenbagger (Stelzenponton) .....	116
6.6.2	Leistung Radbagger (Umschlagplatz) .....	117
6.6.3	Leistung Sattelzug.....	117
6.6.4	Kostenermittlung .....	118
6.6.5	Kostenvergleich.....	120
6.7	Volumensvergleich.....	121
6.8	Variationen.....	123
6.8.1	Variation der Sieblinie .....	123
6.8.2	Zusammenhang zwischen Sieblinie und Kosten.....	126



6.8.3	Zusammenhang zwischen Distanz und Kosten .....	127
6.8.4	Zusammenhang zwischen Leistung und Kosten.....	128
6.8.5	Zusammenhang zwischen Kosten und Pumpdichte .....	130
6.9	Kalkulation mit Aufbereitung und Deponierung.....	132
7.	Resümee und Ausblick.....	135
8.	Abbildungsverzeichnis.....	138
9.	Tabellenverzeichnis.....	141
10.	Literaturverzeichnis.....	142
11.	Anhang 1 .....	144
12.	Anhang 2 .....	151

## 1. Einleitung

### 1.1 Problematik durch Stauhaltung

"Stauanlagen sind Wasserbauwerke, mit deren Hilfe Bäche und Flüsse aufgestaut werden. Man unterscheidet zwischen Talsperren und Flusssperren (Abb. 1). Eine Talsperre riegelt den gesamten Talquerschnitt ab und der Fluss oder Bach wird bis zu den Talflanken hin aufgestaut. Die Flusssperre dagegen erfasst nur den Bereich des Gewässers; parallel zum Fluss verlaufende künstliche Stauhaltungsdämme begrenzen den Aufstau seitlich im Tal und die Talflanken sind demnach nicht eingestaut.

(...)Sonderformen von Stauanlagen sind Hochwasserrückhaltebecken zum Auffangen bzw. zur Dämpfung von Hochwasserabflüssen, Pumpspeicherbecken zur Speicherung von elektrischer Arbeit, Sedimentationsbecken zum Rückhalt absetzbarer Schwebstoffe und Geschiebesperren zum Rückhalt von Geschiebefrachten.

(...)An einer Flusssperre wird der gewünschte Aufstau durch Wehrbauwerke bewirkt. Es entsteht eine Staustufe, die einen Stausee erzeugt. Dient die Staustufe auch der Erzeugung elektrischer Energie, wird neben dem Wehr eine Wasserkraftanlage errichtet. Als weitere Bauwerke kommen bei schiffbaren Flüssen Schleusen hinzu. Wehr, Wasserkraftwerk und Schleusen bilden das Absperrbauwerk und zusammen mit den Stauhaltungsdämmen die Flusssperre"<sup>1</sup>

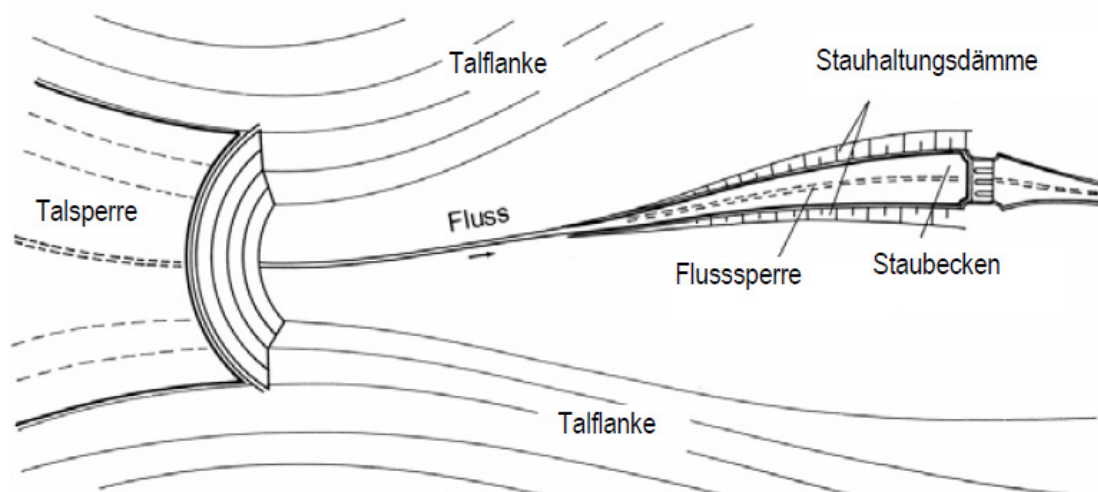
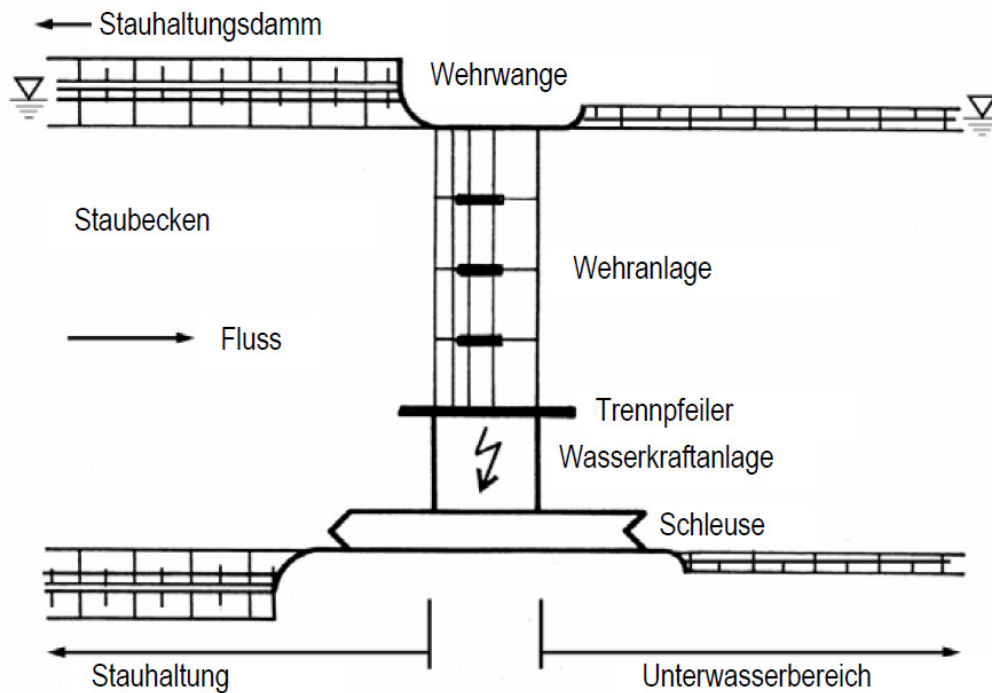


Abb. 1: Unterscheidung zwischen Tal- und Flusssperre (STROBL, T.)

<sup>1</sup> STROBL, T.; ZUNIC, F.: Wasserbau Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen, 2006, S. 125 - 127



**Abb. 2: Bestandteile einer Flusssperre (STROBL, T.)**

Da sich ein Großteil der Quellen dieser Arbeit auf Flusssperren bzw. Schiffsschleusen bezieht, werden die Bestandteile der Flusssperre (Abb. 2) verdeutlicht. Die Beräumung (Entlandung) von Schiffsschleusen ist wesentlicher Bestandteil der nachfolgenden Kapitel.

Als Aufgaben einer Flusssperre gelten folgende Punkte:<sup>2</sup>

- Steigerung der Wasserhöhe zur Erzeugung elektrischer Energie
- Anhebung des Grundwasserspiegels (Oberstrom)
- Erhöhung der Fahrwassertiefe für Schifffahrt (Oberstrom)
- Aufstau nach Oberstrom für Ausleitungen (Schiffbarkeit, Bewässerung, Trinkwasser)
- Rückhalt im Hochwasserfall
- Sohlstabilisierung durch Verringerung der Fließgeschwindigkeit (keine Eintiefungen)

Die Energieerzeugung durch Wasserkraft wird oftmals als saubere und umweltfreundliche Angelegenheit dargestellt. Jedoch können bei fehlender Einbindung aller das Flusssystem betreffender Disziplinen schwere und weitreichende Folgen für Mensch und Natur entstehen.

<sup>2</sup> STROBL, T.; ZUNIC, F.: Wasserbau Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen, 2006, S. 127 - 128

Zu den möglichen Auswirkungen einer Flusstauung zählen:<sup>3</sup>

- Änderung der Wasserqualität durch Verringerung der Fließgeschwindigkeit
- Veränderungen der im Staubereich lebenden Tier- und Pflanzengemeinschaft
  - Unterbrechungen des Geschiebe- und Schwebestofftransports
  - Ständig anwachsende Anlandungsmassen (Sedimentation) im Staubereich
  - Eintiefungstendenzen (Erosion) im unterstromigen Bereich
- Grundwasserspiegeländerungen
- Schiffbarkeit durch Schleusenverlandung nicht gewährleistet

*"Grundsätzlich gilt, dass die Veränderungen im Flusslauf um so geringer ausfallen, je niedriger der Aufstau ist. Wird die Fließgeschwindigkeit im Stauration von  $u = 0,3$  m/s nicht unterschritten, geht man heute von einem ökologisch vertretbaren Aufstau aus."*<sup>4</sup>

### 1.2 Ziel der Arbeit

Diese Arbeit soll einen Überblick über die Thematik des Umganges mit Baggergut liefern. Dabei wird auch erläutert wie Anlandungs- bzw. Baggergutmassen entstehen. Ebenso werden die wichtigsten rechtlichen Grundlagen, die die Aktivitäten beim Umgang mit Baggergut regeln, aufgezeigt.

Besonderes Augenmerk gilt der maschinellen Umsetzung und Aufbereitung des Baggergutes. Hierbei werden verschiedene Gerätekonzepte entwickelt und durch eine Kostenkalkulation bewertet. Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Erfassung der zusätzlichen Kosten, die vor allem durch die Aufbereitung der ausgebagerten Massen entstehen. Darüber hinaus soll auch eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit der Aufbereitungsmethode getroffen werden indem die Kosten einer konventionellen Variante ohne Aufbereitung mit denen einer Variante mit Aufbereitung verglichen werden.

Da diese Diplomarbeit im Zusammenwirken mit der Firma Felbermayr, die häufig Nassbaggerarbeiten in Deutschland durchführt, erstellt wurde, beziehen sich die rechtlichen Aspekte auf die deutsche Gesetzgebung und Normenlandschaft.

---

<sup>3</sup> STROBL, T.; ZUNIC, F.: Wasserbau Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen, 2006, S. 128

<sup>4</sup> STROBL, T.; ZUNIC, F.: Wasserbau Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen, 2006, S. 128

## 2. Allgemeine Grundlagen

### 2.1 Herkunft von Feststoffen

Das Erdkrustenmaterial wird als Gestein bezeichnet. Seine Bestandteile setzen sich aus den chemischen Elementen Sauerstoff, Silizium, Aluminium, Eisen und Kalzium zusammen. Diese wiederum bilden Mineralien wie Quarz, Glimmer et cetera. Grundsätzlich werden drei Gesteinsarten unterschieden:<sup>5</sup>

- Erstarrungsgesteine (magmatische Gesteine)
- Sedimentgesteine (Ablagerungen von verwitterten und abgetragenen Gesteinen)
- Metamorphe Gesteine (oben genannte Gesteine unter Druck und Temperatur)

Die für diese Arbeit bedeutendste Gesteinsart ist das Sedimentgestein bzw. Lockersediment. Lockersedimente entstehen durch Verwitterung und Abtragung bestehender Gesteine. Eine Klassifizierung der Sedimente (Partikel) kann nach den unterschiedlichen Korngrößen (Tab. 1) vorgenommen werden.

Bezeichnung		Kornstufen [mm]	
Siebkorn		Blöcke (Steine)	> 60
	Kieskorn	Grobkies	60 - 20
		Mittelkies	20 - 6
		Feinkies	6 - 2
	Sandkorn	Grobsand	2 - 0.6
		Mittelsand	0.6 - 0.2
Feinsand		0.2 - 0.06	
Schlammkorn	Schluffkorn	Grobschluff	0.06 - 0.02
		Mittelschluff	0.02 - 0.006
		Feinschluff	0.006 - 0.002
		Ton (Feinstes)	< 0.002

Tab. 1: Korngrößenverteilung für Lockersediment nach DIN 4022

### 2.2 Abtrag von Feststoffen

Der flächenhafte Abtrag des durch Verwitterung entstandenen Lockergesteins ist in der Literatur häufig unter dem Begriff Denudation zu finden. Im Gegensatz dazu bedeutet Erosion die linienhafte Abtragung, z.B. durch Flüsse oder Gletscher. Der Abtrag erfolgt unter Wirkung der Schwerkraft (Hangneigung), oft unterstützt durch Niederschlagswasser, seltener auch

<sup>5</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.4

durch Wind. Betrachtet man alle Denudationsarten, so wird häufig festgestellt, dass vor allem die Spüldenudation die größten Abtragungsraten erreicht.<sup>6</sup> Dabei muss die Schleppkraft der Strömung ausreichend groß sein, um die Feststoffpartikel zu transportieren. Ebenso ist die durch den aufprallenden Regentropfen entstehende kinetische Energie, die für das Herauslösen der Gesteinspartikel aus der Matrix zuständig ist, von hoher Bedeutung.

Wesentliche Denudationsarten sind:<sup>7</sup>

- Schwerkraftbedingte Massenbewegungen von Fels und Schutt
  - Felssturz, Bergsturz, Rutschung
- Massenbewegungen unter Mitwirkung von Porenwasser, Eis oder Schnee
  - Muren, Abtragung durch Lawinen
- Massenbewegung mit maßgeblicher Frostwirkung
  - Blockgletscher
- Abtragung und Materialtransport durch auftreffenden Regen und unkonzentrierten Abfluss von Niederschlagswasser
  - Spüldenudation
- Abtragung und Transport durch den Wind

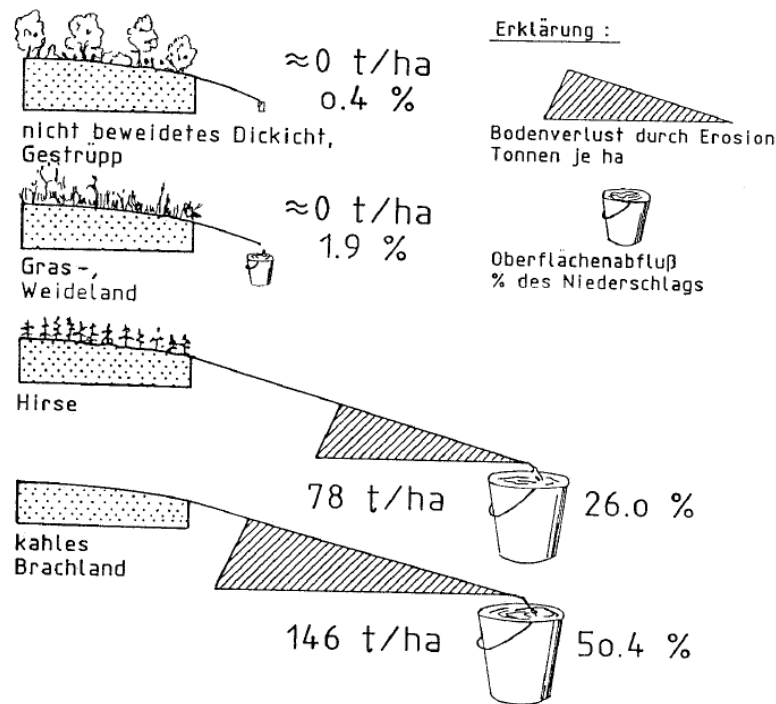
*"Die flächige Erosion bzw. Denudation wird von mehreren Faktoren beeinflusst, wie z. B. Gesteins-Bodenart, Vegetationsart und -zustand, Gefälle, Länge des betrachteten Teilgebietes, Niederschlagsmenge und -intensität."<sup>8</sup>*

---

<sup>6</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.7

<sup>7</sup> BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.7

<sup>8</sup> BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.9



**Abb. 3: Einfluss der Vegetation auf Abflusssspende (%) und Erosion (t/ha) (RAPP et al., 1973)**

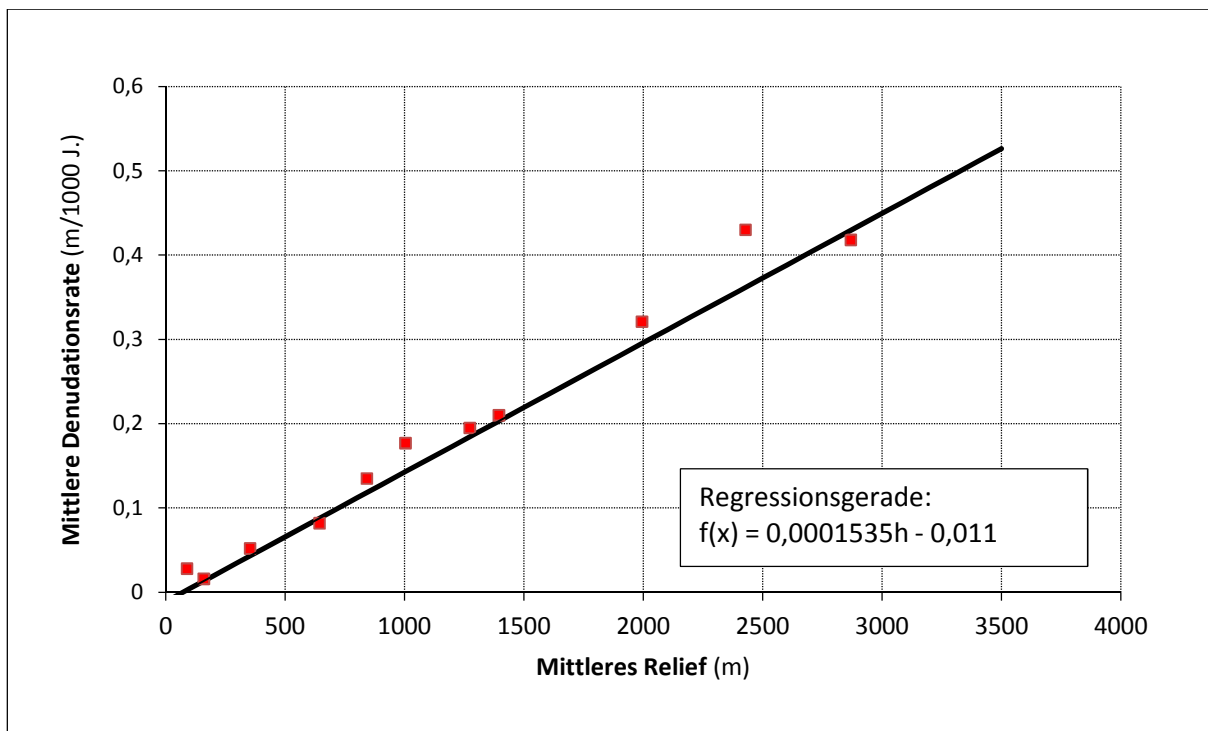
Abb. 3 zeigt jährliche Durchschnittswerte der Feststoffabträge, die aus einer 50 m<sup>2</sup> großen Versuchsfläche aus sandigem Lehm und einer Boden­neigung von 3,5 % errechnet wurden.

Eine der wichtigsten Erkenntnisse war die Abhängigkeit des Schwebstoff­transports von der Niederschlagstätigkeit. Der Schwebstoffhaushalt der Donau ist direkt vom Dargebot an Schwebstoffen aus den Einzugsgebieten abhängig. Zwischen Starkniederschlagsereignissen im Einzugsgebiet und der resultierenden Schwebstofffracht besteht eine enge Korrelation. So konnten die größten Schwebstoffmengen während den Hochwasserwellen, die aus Niederschlagsereignissen resultierten, beobachtet werden.<sup>9</sup> Ein Zusammenhang zwischen der Denudationsrate (Ab­tragungsr­ate) und dem Relief eines Gebietes, interpretiert als Regressionsgerade, konnte nach Auswertung einer Datensammlung festgestellt werden (siehe Tab. 15). Die Daten (Tab. 2) wurden aus weltweiten Einzugsgebieten verschiedener Flüsse erhoben.

<sup>9</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebstoffe, 1998, S.6

<i>Einzugsgebiet</i>	<i>Mittl. Relief h (m)</i>	<i>Mittl. Hangneigung sin <math>\alpha</math></i>	<i>Mittl. Denudationsrate d (m/1000 J.)</i>
Colorado River (USA)	89	0,033	0,028
Themse (England)	159	0,022	0,016
Canadian River (USA)	353	0,071	0,052
Green River (USA)	644	0,011	0,082
Escalante River (USA)	842	0,130	0,135
Bighorn River (USA)	1004	0,106	0,177
Animas River (USA)	1273	0,150	0,195
Saane (Schweiz)	1395	0,287	0,210
Alpenrhein (Schweiz)	1994	0,410	0,321
Kander (Schweiz)	2428	0,401	0,430
Waliser Rhone (Schweiz)	2869	0,361	0,418

**Tab. 2: Mittelwerte für Relief und Denudation (AHNERT, Frank, 1996)**



**Abb. 4: Zusammenhang zwischen Relief und Denudationsrate (AHNERT, Frank, 1996)**

Als mittlere Denudationsrate  $d$  wird ein langjähriges Mittel des aus einer definierten Fläche abtransportierten Gesteinsvolumens ( $m^3$  bzw.  $to$ ) bezogen auf die Fläche des Einzugsgebietes und die Zeiteinheit verstanden. Die Maßeinheit beträgt Meter/1.000 Jahre. Das mittlere Relief  $h$  bedeutet den Mittelwert der Höhenunterschiede in Meter zwischen dem jeweils höchsten und tiefsten Punkt in Quadranten ( $20\text{ km} \times 20\text{ km}$ ), die über das betreffende Einzugsgebiet verstreut sind.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Vgl. AHNERT, Frank, 1996



### 2.3 Transport von Feststoffen

Ein Fließgewässer ist sowohl in der Lage aus der Denudation eingetragenes Material als auch das eigene Flussbettmaterial zu transportieren. Jedoch bedarf es in der weiteren Folge einer Differenzierung zwischen den Transportfrachten.

Als Schwebstofffracht werden Feststoffpartikel geringerer Dichte, die durch die Turbulenzen des Wassers ins Schweben gehalten werden und sich annähernd mit der Fließgeschwindigkeit des Transportmediums fortbewegen, bezeichnet. Die Korngröße bewegt sich meist im Schluff- und Tonbereich. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten (Gefälle) wird auch Sand als Schwebstoff mitgeführt (Sandfracht).

Die Geschiebefracht umfasst dagegen, wiederum je nach Geschwindigkeit, gröbere Kornfraktionen wie Sand, aber auch Kies und Blöcke. Die Transportgeschwindigkeit ist insbesondere bei größeren Partikeln deutlich geringer als diejenige der Strömung. Geschiebe wird intermittierend transportiert.

Während bei Flachlandflüssen der größte Teil der Feststoffe als Schwebstoff transportiert wird, überwiegt im Oberlauf der Flüsse im Allgemeinen das in unmittelbarem Kontakt mit der Gewässersohle bewegte Geschiebe. Daneben wird unterschieden zwischen dem transportierten Bettmaterial, dessen Korngrößen auch in der Sohle vertreten sind, und der Spülfracht (eingetragenes Material), welche aus feinkörnigerem Material als die Gewässersohle besteht und aus der Denudation stammt. Während das Bettmaterial sowohl als Geschiebe als auch in schwebender Form transportiert werden kann, handelt es sich bei der Spülfracht um Partikel, welche ohne Kontakt mit der Sohle als Schwebstoffe durch den Querschnitt gespült werden. Die ausschlaggebenden Parameter für den Bettmaterialtransport sind Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Abfluss, Korngrößenverteilung des Sohlmaterials und Fließgeschwindigkeit. Für die Spülfracht besteht dagegen keine direkte Abhängigkeit von diesen Parametern, sie wird von den Tätigkeiten (Niederschlag, Bodenart, Vegetation, Geländeneigung, etc.) im Einzugsgebiet beeinflusst.<sup>11</sup>

Der Feststofftransport wird grundsätzlich durch folgende Einflussgrößen bestimmt:<sup>12</sup>

- Eigenschaften des Feststoffes
  - Dichte, Durchmesser, Form und Sinkgeschwindigkeit des Korns

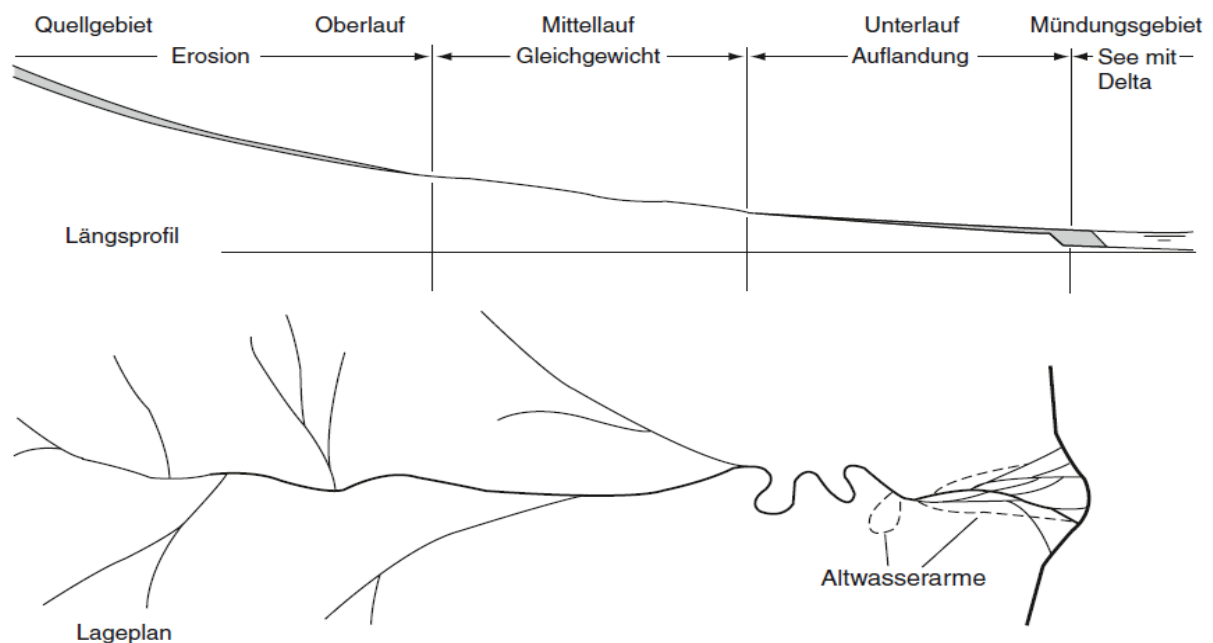
---

<sup>11</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.52

<sup>12</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.22

- Eigenschaften der Gewässersohle und des Flussbetts
  - Querschnitts- und Gefälleänderungen, Bänke, Kolke, Krümmungen, etc.
- Eigenschaften der Strömung
  - Sohlenschubspannung, Verteilung der Fließgeschwindigkeit und Turbulenz
- Eigenschaften des Transportmediums
  - Dichte und Zähigkeit des Wassers

Abb. 5 verdeutlicht insbesondere die durch die Gefälleänderungen eines Flusslaufes hervorgerufenen Zustände. Der Oberlauf ist durch das höhere Gefälle und somit höhere Fließgeschwindigkeit von Erosionsvorgängen gekennzeichnet. In diesen Zonen überwiegt der Geschiebetransport. Im Mittellauf sind die vor allem die Mantelreibungskräfte nicht ausreichend stark genug um flächigen Abtrag hervorzurufen. Dagegen kann die Schwebstofffracht ohne erwähnenswerte Verluste transportiert werden. Im Unterlauf zeichnen sich Anlandungsvorgänge ab, die durch das geringe Gefälle und den Zusammenstoß mit einem stehenden Gewässer begründbar sind.<sup>13</sup>



**Abb. 5: Flusslauf vom Quellgebiet bis zur Mündung (PATT, H., 2011)**

Abb. 6 zeigt den mit der Flusslänge steigenden Abfluss, der durch die Anhäufungen der Anschlüsse erklärt ist, an. Deutlich wird auch der Frachtwechsel zwischen Geschiebe und Schwebstoff. Im Schlussabschnitt eines Flusslaufes findet eine Mäanderbildung statt.

<sup>13</sup> Vgl. PATT, H.: Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen, 2011, S.77

Merkmal	Tendenz/Charakteristik
Abfluss	
Struktur der Sohle	
Geschiebe- fracht	
Schwebstoff- fracht	
Laufform	

Abb. 6: Veränderungen der Charakteristika im Fließverlauf (OTTO, 1991)

Das Hjulström-Diagramm (Abb. 7) beschreibt, ab welcher Fließgeschwindigkeit ein Sedimentkorn aus der Sohle erodiert wird, in welchem Bereich dieses transportiert wird und bei welcher Fließgeschwindigkeit das Sandkorn sedimentiert. Dieses Diagramm zeigt auch, dass eine höhere Geschwindigkeit notwendig ist um ein Sedimentkorn aus der Sohle zu lösen als das selbe herausgelöste Korn nur zu transportieren.

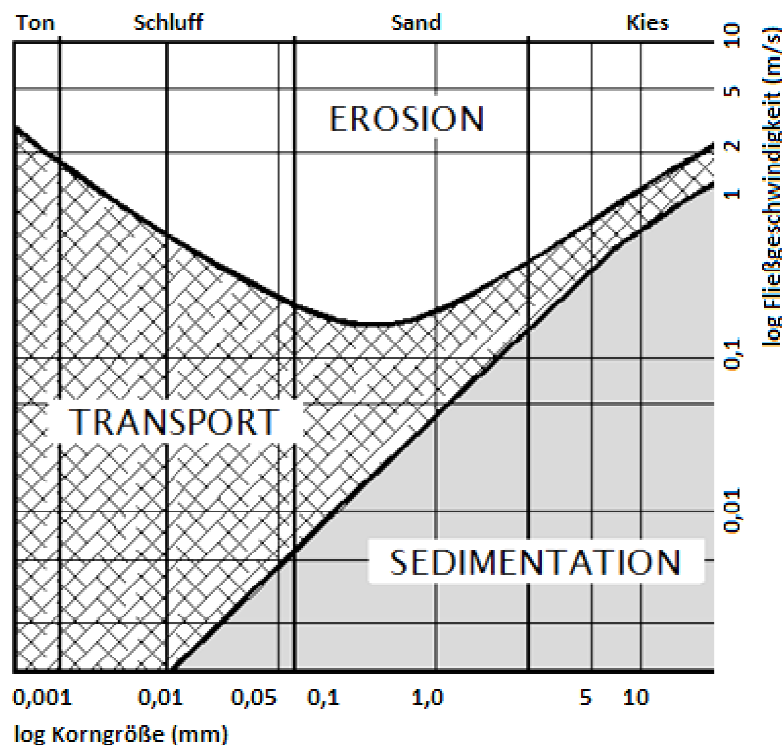


Abb. 7: Beziehung zwischen Fließgeschwindigkeit und Korngröße (HJULSTRÖM, 1935)

Im speziellen Beispiel des österreichischen Donauabschnittes liegen Schwebstoffmessungen vor, die bei allen Staustufen zwischen Passau und Wien ermittelt wurden. Den gesamten Feststofftransport der Donau gab GRUBER (1973) mit 14,4 Mio. to an, wobei der Schwebstofftransport mit 3,3 Mio. to in etwa 23 % ausmachte, den größten Anteil mit 10,8 Mio. to (75 %) jedoch die gelösten Stoffe hatten. Zur Geschiebefracht der Donau liegen allerdings keine neueren Angaben vor.<sup>14</sup> Der Anteil organischen Materials im Sediment liegt nach Daten des FPZ Arsenal (GEOTECHN. INSTITUT 1997) bei durchschnittlich 2 %.<sup>15</sup>

"Das Jahresmittel des Schwebstoffgehalts beträgt im Durchschnitt der Meßstellen 38 mg/l (1982-1995, aus Tageswerten). Die mittlere Jahresfracht beträgt 3,2 Mio. t, was einer mittleren Transportrate von 102 kg/s entspricht. Diese Werte sind als Mittelwerte der weitgehend homogenen Daten von 7 Messstellen gut abgesichert. Zum Vergleich: Als Vergleich dazu dient der Mittelwert für die deutsche Meßstelle Jochenstein (1975-1990) mit 3,5 Mio. t (BUNDESANST. F. GEWÄSSERKUNDE 1996), was - im Rahmen der Messgenauigkeit - in guter Übereinstimmung mit den österreichischen Werten (Abb. 8) steht."<sup>16</sup>

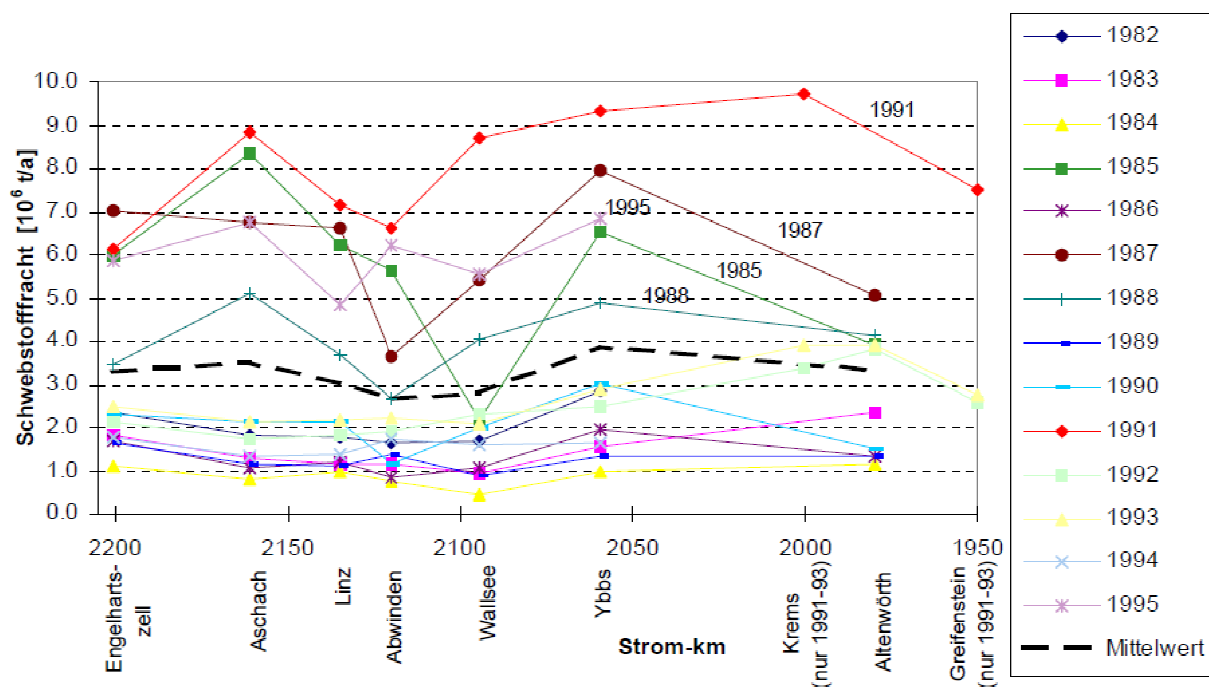


Abb. 8: Jahresmittel der Schwebstofffracht im Längsprofil (VERBUND, 1985-1992)

<sup>14</sup> Vgl. GRUBER, 1973

<sup>15</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.105

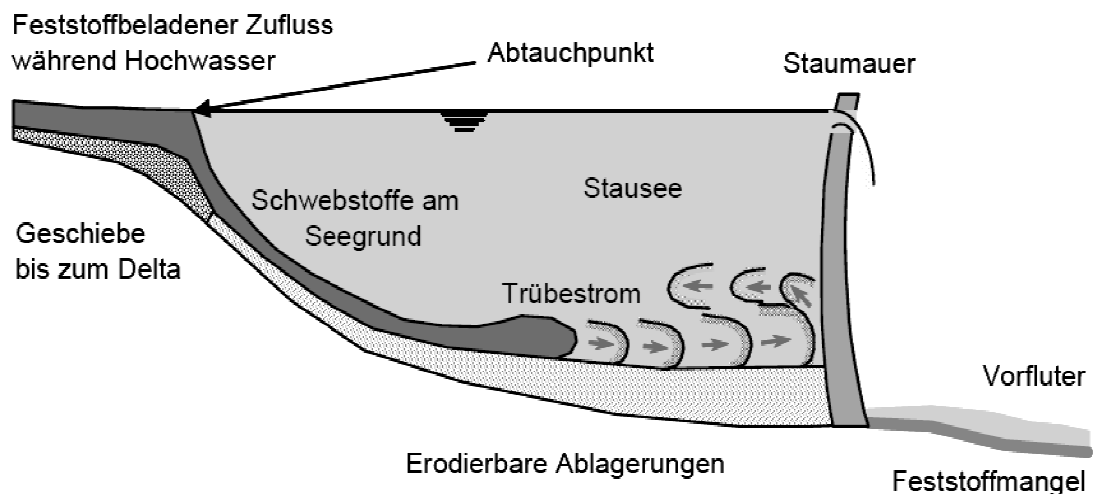
<sup>16</sup> NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.36

Eine Abgrenzung zwischen Geschiebe und Schwebestoff ist vor allem im sohnnahen Bereich schwer feststellbar, dennoch kann der Grenzkorndurchmesser mit 0,2 - 0,7 mm angegeben werden.<sup>17</sup>

*"Der Geschiebetransport ist von seiner Menge her (ca. 5 – 15 %) gegenüber dem Schwebstofftransport deutlich geringer, hat jedoch für die flussmorphologische Entwicklung und Ausbildung der Gewässersohle entscheidenden Einfluss."*<sup>18</sup>

## 2.4 Ablagerung von Feststoffen

Der Ablagerungsprozess der in einen Stausee eingetragenen Feststoffe kann durch den Zusammenhang zwischen Abfluss, Fließgeschwindigkeit bzw. Sohlenschubspannung und Korndurchmesser bzw. Sinkgeschwindigkeit sowohl für Geschiebe als auch für Schwebstoffe beschrieben werden. Damit wird klar, dass das Verlandungsmuster von der Art und Menge des eingetragenen Feststoffes ebenso abhängt wie vom Abfluss und von der Geometrie sowie Bewirtschaftung des Stauraumes.<sup>19</sup> Abb. 9 zeigt ein charakteristisches Verlandungsmuster eines Stauraumes. Das mitgeführte Geschiebe und die gröberen Sedimente setzen sich aufgrund des höheren Gewichtes schon im Zulaufbereich des Stauraumes ab. Die Schwebstofffraktion hingegen kann oft bis unmittelbar an das Absperrbauwerk geführt werden.



**Abb. 9: Schematische Darstellung eines Trübestroms in einem Speichersee (OEHY, 2002)**

Ein bekanntes Phänomen des Schwebstofftransportes im Stauraumbereich ist die Dichteströmung. Besonders in Zeiten der Hochwasserwellen, welche große Mengen an Feinsediment transportieren, können schon verlandete Massen wieder aktiviert werden. Im Prinzip

<sup>17</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.104

<sup>18</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.86

<sup>19</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.185

strömt die mit Feinsediment angereicherte Trübe in Richtung Absperrbauwerk und schiebt das ungetrübte und leichtere Wasser vor sich hin bis ein Impulsgleichgewicht erreicht wird. Plötzlich taucht die Trübe ab und unterströmt das leichtere Wasser. Die abtauchende Strömung wirbelt verlandete Feinsedimentmassen auf und setzt diese in Bewegung.

Welches Verlandungsmuster sich letztendlich im Stauraum einstellt, ist sehr stark von der Stauraumgeometrie abhängig. In einem schmalen, gestreckten Flusstausee und unter konstanten Randbedingungen schiebt sich die Geschiebebank relativ gleichmäßig von der Stauwurzel in Richtung Wehr. In breiteren Stauräumen verläuft die Verlandung hingegen ungleichmäßig. Schon kleinere Geschiebebänke, plötzliche Querschnittsaufweitungen (Seen) etc. können zu unerwarteten Verlandungsprozessen führen. Sedimentationsvorgänge werden auch von den zeitlichen Veränderungen von Zufluss, Wasserstand und Feststoffeintrag beeinflusst, so dass ein ständiger Wechsel zwischen Sedimentation, Gleichgewichtszustand und Erosion stattfindet. Eine besondere Rolle spielen kohäsive, anorganische Feinsedimente. Nach erfolgter Sedimentation findet hier eine längere Konsolidierungsphase statt, nach der sich die Erosionsschubspannung erhöhen kann. In der Folge können derartige Sedimentationsbereiche auch bei größeren Hochwässern nur mehr schwer ausgeräumt werden.<sup>20</sup>

Angaben betreffend der Stauraumverladung des österreichischen Donauabschnittes können anhand der Daten der Donaukraftwerke AG, die aus der Auswertung der regelmäßig (im Schnitt mindestens einmal jährlich) durchgeführten Stauraumvermessungen (Profilaufnahmen) resultieren, bezogen werden. Wichtig hierbei ist die Annahme der durchschnittlichen Dichte der Sedimentproben, die mit  $1,66 \text{ t/m}^3$  angenommen wurde. Diese Angabe sowie die Abschätzung des Schwebestoffanteils (60 %) stützen sich auf den Ergebnissen von Bohrungen im Stauraum Altenwörth.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.189

<sup>21</sup> Vgl. MÜLLER et al., 1989

	Errichtung bis 1997			1982 bis 1995		Ablagerungsrate pro Jahr (1982-95)	
	seit	Mio. m <sup>3</sup>	Mio. t	Mio. m <sup>3</sup>	Mio. t	Mio. m <sup>3</sup> /a	Mio. t/a
Jochenstein *	1955	2.0	3.3	0.0	0.0	0.00	0.00
Aschach	1965	21.9	36.4	4.1	6.8	0.29	0.48
Ottensheim	1972	3.2	5.3	1.0	1.6	0.10	0.16
Abwinden	1980	-2.8	-4.6	-2.1	-3.5	-0.15	-0.25
Wallsee *	1968	0.7	1.1	0.0	0.0	0.00	0.00
Ybbs *	1958	0.7	1.2	0.0	0.0	0.00	0.00
Melk *	1982	-0.5	-0.8	-0.5	-0.8	-0.04	-0.06
Altenwörth	1977	6.9	11.4	4.5	7.5	0.32	0.54
Greifenstein	1985	2.0	3.2	1.5	2.5	0.13	0.21
<b>Summe</b>		<b>34.0</b>	<b>56.5</b>	<b>8.5</b>	<b>14.1</b>	<b>0.65</b>	<b>1.09</b>

Abb. 10: Sedimentablagerung innerhalb der Donaustauräume (Donaukraftwerke AG, Verbund)

Die Stauräume Aschach, Altenwörth und Greifenstein, sind diejenigen mit der deutlichsten Verlandungstendenz (1982-1995). Die höheren Ablagerungen können durch die größeren Anlagenabmessungen (Fallhöhe über 11 m) und somit einer längeren Aufenthaltsdauer der Sedimente begründet werden. Abb. 11 zeigt den zeitlichen Verlauf der Verlandung für die wichtigsten vier Stauräume, deren Anteil am abgelagerten Sedimentvolumen zusammen mehr als 90 % beträgt.<sup>22</sup>

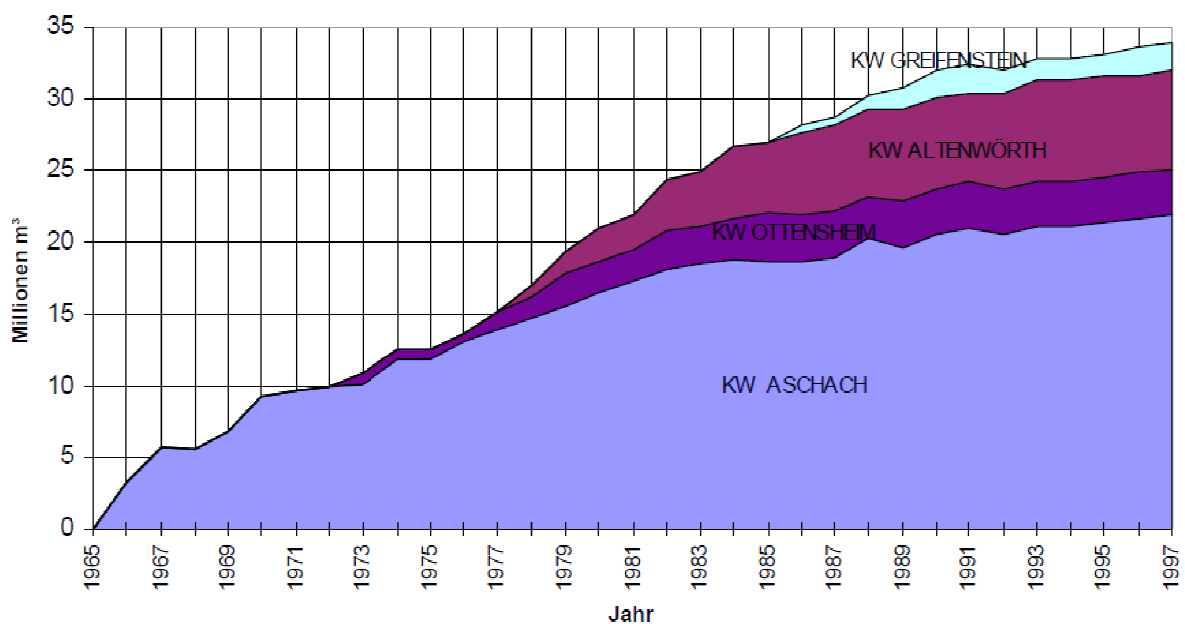


Abb. 11: Verlandungsprozess ausgewählter Donaustauräume (Donaukraftwerke AG)

<sup>22</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.130

Eine wichtige Erkenntnis bei der Bilanzierung der Anlandungsmassen ist die Feststellung der jährlichen Ablagerungsrate für Schwebestoffe. Diese Rate kann mit 0,65 Mio. to angesetzt werden. Betrachtet man auch die Transportraten für Schwebestoffe, die in Kapitel 2.3 mit etwa 3,2 Mio. to/a angegeben wurden, beträgt die Auffangwirkung der Donaustaukette ca. 20 %.

Die Ergebnisse der drei Bohrungen im Stauraum Altenwörth geben auch Aufschluss über die Anteile der Schwebestoffe und des Geschiebes.<sup>23</sup> Das festgestellte gewichtete Mittel (nach der Schichtmächtigkeit) des Sandanteils (Geschiebe) im Stauraum Altenwörth beträgt demnach 38 %, wobei in Fließrichtung (in Richtung Wehranlage) eine markante Abnahme des Sandanteils von 84 % über 39 % auf 15 % festzustellen ist. Die festgestellten 38 % der Sandfraktion können mit ca. 60 % Schwebestoffanteil und 2 % Organikanteil ergänzt werden. Von Bedeutung ist auch die gemessene Lagerungsdichte der tonig-schluffigen Ablagerungen in Wehrrnähe, die mit 1,54 to/m<sup>3</sup> angesetzt wurden.

### 2.5 Anthropogener Eintrag und Schadstoffe im Wasser

In diesem Kapitel wird nur auf die möglichen Schadstoffe und deren Quellen eingegangen. Das Aufarbeiten sämtlicher durch Menschen bzw. Schadstoffe (Nährstoffe) herbeigeführter Prozesse (Eutrophierung, usw.) im Stauraum würde den Rahmen dieser Arbeit überschreiten.

*"Neben den Feststoffen, die aus Erosion und Abrasion der Gesteine im Einzugsgebiet stammen, führt das Wasser auch viele andere Stoffe mit sich, die beabsichtigt oder unbeabsichtigt in das Wasser gelangen. So geraten zum Beispiel über die Vorfluter von Kläranlagen gelöste und ungelöste Stoffe in die Gewässer und damit u.a. in Stauseen. Zusätzlich werden verstärkt Schadstoffe über den Luftpfad auch in die Stauräume eingetragen. Sedimente der Stauräume können deswegen entsprechende Mengen von Schadstoffen enthalten. Daher ist mit einer Entlandung meistens auch eine weit reichende Umweltproblematik verbunden.*

*(...)Zu der bei der Entlandung von Stauräumen auftretenden Umweltproblematik zählt aber nicht nur eine eventuelle Schadstoffbelastung, sondern auch der Umstand, dass Gewässersedimente wertvolle Habitate für Tiere und Pflanzen sind. Mit einer Entlandung und Deponierung außerhalb des Gewässers ist jedoch unvermeidbar auch der Umstand verbunden, dass*

---

<sup>23</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.131



*dort angesiedelte Lebewesen mit dem Sediment entnommen und ihr Lebensraum vernichtet werden.*<sup>24</sup>

Bevor auf die Schadstoffe eingegangen wird, ist die besonders wichtige Wechselbeziehung zwischen gefährdenden Stoffen und den feinen Kornfraktionen zu erwähnen. Sedimente mineralischen oder organischen Ursprungs die einen Korndurchmesser < 20 µm besitzen, neigen dazu im Wasser gelöste Schadstoffe (Schwermetalle, organische Verbindungen) anzulagern.<sup>25</sup> Diese Anlagerungstendenzen führen zu höheren Schadstoffkonzentrationen, welche sogar ein Mehrtausendfaches der im Wasser gelösten Stoffe erreichen können. Besonders Flussabschnitte mit großen Feinsedimentanlagerungen weisen auf ein Gefährdungspotential für das Gewässer und seine Lebensgemeinschaften. Im Hinblick auf die Ausbaggerung und Umlagerung innerhalb eines Gewässers solcher Massen entsteht das Risiko einer Resuspension (Stoffe in Schwebelagung bringen). Obwohl das Gewässer an sich mit "Abwehrkräften" ausgestattet ist, reichen diese bei zu starker Verschmutzung nicht aus um ein Gleichgewicht wieder herzustellen. Genaugenommen besitzt das Fischhabitat die Fähigkeit organische Gewässerverschmutzungen oder Belastungen abzubauen. Die Selbstreinigungskraft von Gewässern ist abhängig vom Sauerstoffgehalt, der bei stehenden und langsamen Gewässern geringer ist. Mit dem Selbstreinigungsprozess ist aber zugleich auch eine Sauerstoffzehrung, welche zu anaeroben Zuständen führen kann, verbunden. Keinerlei Selbstreinigungskraft besitzen die Gewässer gegenüber vielen anthropogenen Schadstoffen wie Schwermetallen, einigen Pestiziden und Industrieabfallstoffen, für die es keine Stoffwechselwege in den Wasserorganismen gibt.<sup>26</sup>

Mögliche Quellen für den anthropogenen Schadstoffeintrag sind:<sup>27</sup>

- Kläranlagen
- Regenüberläufe (Regen- und Mischwasser)
- Industrieanlagen (Schwermetalle)
- Landwirtschaft (Agrarchemie, Düngemittel)
- Bergwerke und Tagebau
- Tunnelbaustellen und Stollenvortriebe
- Schiffsverkehr und Tourismus
- Niederschlag (von der Industrie verschmutzte Luft)
- Baggerungen und Verklappungen

---

<sup>24</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.235

<sup>25</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.246

<sup>26</sup> Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Selbstreinigung>. 25.05.2013

<sup>27</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.239

### 2.5.1 Schad-/Stoffeintrag nach der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

Ziel der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser ist es, länderübergreifende (Deutschland) und gemeinschaftliche, wasserwirtschaftliche und wasserrechtliche Fragestellungen zu erörtern, gemeinsame Lösungen zu erarbeiten und Empfehlungen zur Umsetzung zu initiieren. Nach der LAWA, die auch auf internationaler Ebene das Gewässer betreffende Problemstellungen behandelt, kann man die organischen und anorganischen Stoffe, die sich in gelöster oder partikulärer Form in einer Flusssstauhaltung ablagern können, in vier Gruppen unterteilen:<sup>28</sup>

- Nährstoffe: Zu den häufigsten Nährstoffen im Gewässer zählen Stickstoff und Phosphor. Sie stammen hauptsächlich aus Einleitungen von Abwässern und leisten zudem den größten Anteil an der Eutrophierung (Nährstoffanreicherung).
- Zehrstoffe:<sup>29</sup> Dazu zählen Kohlenhydrate, Eiweißverbindungen sowie Bakterien und Pilze. Sie verursachen einhergehend mit ihrem Abbauprozess eine so genannte Sauerstoffzehrung und reduzieren dadurch den Sauerstoffgehalt im Gewässer. Diese „zehrende“ Eigenschaft kann letztlich gar in Fischsterben resultieren.
- Störstoffe: Dies sind bspw. Algen, Öle, Fette und Salze. Meist verleihen sie dem Wasser durch ihre Abbau- und Stoffwechselprodukte einen unangenehmen Geruch.
- Schadstoffe: Darunter versteht man Schwermetalle, Pestizide und Halogenkohlenwasserstoffe. Diese zeichnen sich durch ihre toxische Wirkung auf Biozönosen (Organismengemeinschaft) schon bei geringen Konzentrationen aus.

Letztendlich müssen Untersuchungen an Sedimentablagerungen durchgeführt werden bevor diese entnommen, umgelagert, verwertet oder deponiert werden.

*"Der für die konkrete Einzelfallbewertung erforderliche Untersuchungsumfang muss auf die jeweiligen Randbedingungen abgestimmt werden. Hierbei ist die Möglichkeit der standardisierten Vorgabe des Untersuchungsprogramms auf Grund des breiten Spektrums der Randbedingungen nicht sinnvoll. Diese Feststellungen liegen vielmehr im Ermessen der Fachbehörden bzw. Gutachter und können nur im jeweiligen Einzelfall festgelegt werden."<sup>30</sup>*

---

<sup>28</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.241

<sup>29</sup> <http://www.umweltwirtschaft.com/umwelttechnik-wissen/abwasser/abwasserinhaltsstoff>. 25.05.2013

<sup>30</sup> DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau), 1992

Grundsätzliche Untersuchungsparameter sind:<sup>31</sup>

- Allgemeine Sedimentparameter: Korngrößenverteilung, Trockensubstanzgehalt, Kohlenstoffgehalt, Nährstoffgehalte, Glühverlust (organische Substanz), pH-Wert, usw.
- Schwermetalle: Quecksilber, Kupfer, Cadmium, Chrom, Arsen, Zink, Blei und Nickel
- Organische Schadstoffe: Diese werden in zwei Untersuchungsgruppen eingeteilt.  
*Gruppe 1*: Mineralöl-Kohlenwasserstoffe, Polychlorierte Biphenyle (PCB) , usw.  
*Gruppe 2*: Hexachlorbenzol (HCB), Chlorphenole, usw.
- Biotests für Wasserproben: Muscheltest, Fischttest, Leuchtbakterien-Abwassertest usw.

### 2.6 Umgang mit Baggergut

Im Bereich von Wasserwirtschaft und Verkehrswasserbau beschreibt der Begriff Baggergut das bei Arbeiten im und am Gewässer anfallende Boden bzw. Sedimentmaterial. Abb. 12 zeigt ein typisches Verlandungsschema an einer Stauanlage und die letztendliche Notwendigkeit einer Baggerung.

---

<sup>31</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.249

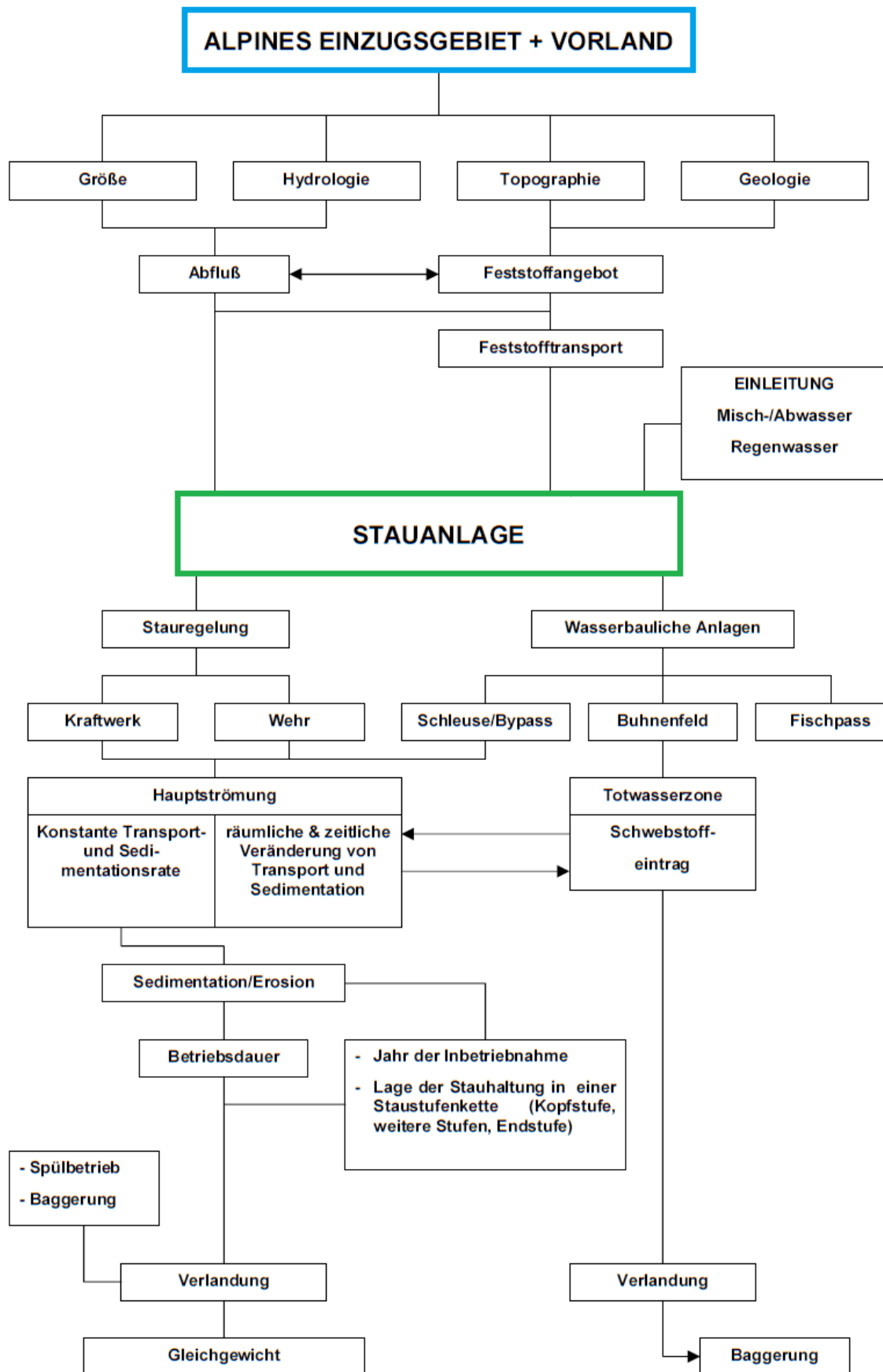


Abb. 12: Verlandungsschema an einer Stauanlage (WESTRICH, 1981)

Grundsätzlich gibt es für den Verbleib des Baggergutes nur zwei Möglichkeiten:

- Umlagerung innerhalb des Gewässers
- Landlagerung mit oder ohne Verwertung

Eine Verwertung des Baggergutes sollte als nachhaltigste Lösung gesehen werden. Ob jedoch eine Verwertung in Frage kommt, hängt hauptsächlich von der Belastung des Materials und den Kosten für die notwendigen Maßnahmen im Vorfeld der Verwertung ab. Der Verwertbarkeit des Baggergutes werden Aufbereitungsmaßnahmen wie bspw. Separierung und Klassierung der Korngrößen und Entwässerung der Feianteile vorausgesetzt. Abb. 13 zeigt grundsätzliche Verfahrensschritte beim Umgang mit Baggergut.

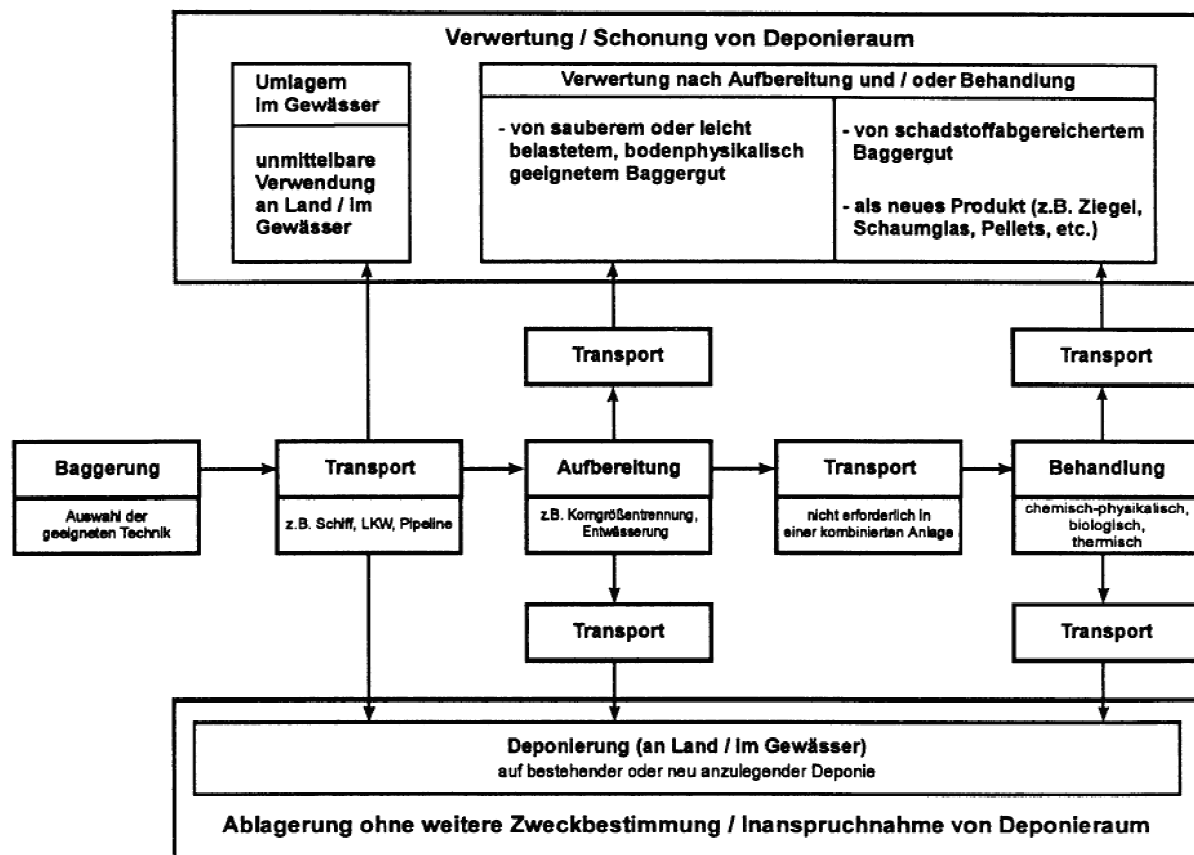


Abb. 13: Verfahrensschritte beim Umgang mit Baggergut (Geowissenschaften+Umwelt, 1999)

Da sich diese Arbeit insbesondere auf Projekte (Nassbaggerarbeiten) in Deutschland fokussiert wird in diesem Sinne die deutsche Normenlandschaft bevorzugt. Bezüglich der Verwertung des Baggergutes regelt die LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall 2004) die Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen bzw. Abfällen. Die LAGA stellt Regeln und Grenzwerte für Schadstoffe, die in Sedimente enthalten sind, auf und bestimmt somit deren Einsatzmöglichkeiten.

Die einzelnen Verwertungsmöglichkeiten werden hier nur formhalber aufgezählt. Ausführlich wird auf die Verwertungsmöglichkeiten bezüglich LAGA-Bestimmungen im Kapitel 3.3 eingegangen.

Grundsätzliche Verwertungsmöglichkeiten von Sedimenten sind:<sup>32</sup>

- Dünger in der Land- und Forstwirtschaft
- Sedimente für Landschaftsbau
- Sedimente für Bauvorhaben (Dämme, Tragschichten im Straßenbau, usw.)
- Im Deponiebau als:
  - Ausgleichsschicht
  - Schutzschicht
  - Geringleiterschicht (kf-Werte bis zu  $10^{-9}$  m/s)
  - Rekultivierungsschicht
- Aufarbeitung zu Baustoffen:
  - Als Kiesersatz (nur grobkörniges Material wie Kies und Sand)
  - Kalkstabilisierte Sedimente als Abdichtungsmaterial bei Erddämmen
  - Als Rohmaterial für Zementherstellung
- In Ziegelindustrie als Tonersatzstoff
- Bei Produktion von Blähtonpellets

Falls keine Verwertungsmöglichkeit für die Sedimente gefunden werden kann, bleibt als eine sehr teurere Entsorgungsmöglichkeit die Verbringung auf Deponien. Hier bleibt jedoch zu beachten, dass das Material bis zu einem gewissen Grad entwässert werden muss um noch einbaufähig zu sein. Eine weitere Entsorgungsmöglichkeit für unverwertbare Sedimente sind Kiesgruben und Steinbrüche. Eine wesentlich Frage hierbei ist, ob die Grube noch in Betrieb ist bzw. ob sich nach Stilllegung ein neuer Naturraum ausgebildet hat. Die Sedimentablagerung kann dann als Zustandszerstörung eingestuft werden. Als sehr wichtig muss auch die Grundwasserfrage erachtet werden. Die kontaminierten Sedimente dürfen die Qualität des Grundwassers nicht beeinträchtigen.<sup>33</sup>

Eine Umlagerung der Sedimente innerhalb eines Gewässers kann bspw. als Ausgleichsmaßnahme zwischen Sedimentüberschuss im Oberwasser und Sedimentfehlbetrag im Unterwasser verstanden werden. Solch eine Umlagerung kann mit Hilfe von Längsklappschuten vorgenommen werden.

---

<sup>32</sup> <http://www.htg-baggergut.de/Downloads/HTG%20Verwertungsbericht%200906.pdf>. 31.05.2013

<sup>33</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.263

## 2.7 Baggerung und Aufbereitung

Grundsätzlich wird zwischen zwei Entlandungsmaßnahmen unterschieden:

- Räumungen
- Spülungen

Bei einer Stauraumspülung werden entweder die Wehrklappen eines Wasserkraftwerks oder die Grundablässe (Talsperre) geöffnet. Zweck dieser Methode ist es die erhöhte Schleppkraft des Wassers bei abgesenktem Stauspiegel auszunutzen. Die Ablagerungen (Feinsedimente) im Stauraum werden dadurch in das Unterwasser des Kraftwerks ausgespült. Zu erwähnen bleibt jedoch, dass Stauraumspülungen schwere ökologische Folgen, wie etwa Fischsterben, Habitatsverlust oder Trübungsschäden mit sich ziehen.<sup>34</sup>

Eine Räumung hingegen bedeutet die Entfernung bzw. Umlagerung der Sedimente mittels Nass- oder Trockenbaggerung. Bei Trockenbaggerungen ist eine Absenkung des Wasserspiegels im Stauraum erforderlich, Nassbaggerungen können mit bzw. ohne Absenkung durchgeführt werden. In dieser Arbeit wird in späteren Abschnitten insbesondere auf die Nassbaggerungen ohne Absenkung eingegangen.

Die speziell für die Nassentnahme (Nassbaggerung) geeigneten Geräte sind bspw.:

- Hydraulikbagger mit Tieflöffel (auf Ponton/Schiff oder vom Ufer)
- Saugbagger (Schiff)
- Eimerkettenbagger (Schiff)
- Seilbagger (auf Ponton/Schiff oder vom Ufer)
- Schrapperanlagen (vom Ufer - für flaches Gewässer)

Wie schon in Abb. 13 ersichtlich ist, bedarf es beim Umgang mit dem Baggergut zweier weitere Gerätegruppen. Einerseits sind das die Transportgeräte für die Beförderung des Baggergutes sowohl an Wasser als auch an Land, andererseits die Aufbereitungsgeräte, die bspw. die Entwässerung, Klassierung und Separierung bewerkstelligen.

Frisch entnommene Sedimente aus Stauhaltungen zeigen sehr hohe Wassergehalte (ca. 60-80 %). In der Regel ist heutzutage eine mechanische Entwässerung oder eine statische Trocknung und Entwässerung der Sedimente erforderlich. Die Entwässerung bedeutet eine

---

<sup>34</sup> Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Stauraumsp%C3%BClung>. 01.06.2013

Volumsverringung und somit eine Ersparnis der möglichen Transport- oder Deponiekosten. Zudem ist es notwendig das Baggergut in eine stichfeste Form zu bringen um somit auch der letztendlichen Verwertungsmethode zu entsprechen. Beispielsweise ist bei der Verwertung als Dünger eine mindeste TS (Trockensubstanz) von 30 % gefordert um das Ausbringen mit dem Miststreuer zu gewährleisten. Ebenso kann eine mindeste Scherfestigkeit der Sedimente, die bei der Lagerung auf einer Deponie verlangt wird, nur über die Reduktion des Wassergehaltes ( $w < 50 \%$ ) erreicht werden.

Eine statische Trocknung auf Feldern kann nur dann stattfinden, wenn genügend Platz und Zeit zur Verfügung steht. Die ausgebagerten Massen benötigen hierfür das 4 bis 10 fache der ursprünglichen Ablagerungsfläche innerhalb der Stauhaltung.<sup>35</sup>

Falls die Sedimente in kurzer Zeit in stichfeste Form gebracht werden sollen, ist ein größerer technischer Aufwand notwendig. Vor dem Verfahrensschritt der Entwässerung kann auch, je nach Korngrößenverteilung des Baggergutes, eine Klassierung stattfinden. Im nachfolgenden werden mögliche mechanische Verfahrensschritte mit den dazugehörigen Geräten aufgezählt.

1. Klassieren: Hier werden Teilchen unterschiedlicher Korngrößen und Dichten voneinander abgetrennt. Zu den Klassiergeräten zählen:
  - Maschinensiebe
  - Hydrozyklone
  - Aufstromklassierer
  - Wendelscheider
2. Entwässern: Hier wird das Fluid vom Feststoff durch Zentrifugal-, Gravitations- oder Druckkräfte abgetrennt. Zu den Entwässerungsgeräten zählen:
  - Statische Eindicker mit Zugabe von Flockungsmitteln
  - Dekanterzentrifugen
  - Siebbandpressen
  - Kammerfilterpressen

---

<sup>35</sup> Vgl. STOLZ, Jörg: AWEL - Entsorgung von Sedimenten aus Stauhaltungen, 2003, S.10



### 3. Rechtliche Grundlagen

*"Bei der Handhabung von Baggergut muss eine Vielzahl von Rechtsgrundlagen herangezogen werden. Bislang gibt es keine nationale oder europäische Regelung, die den Umgang mit Baggergut umfassend und einheitlich regelt. Der konkrete Einzelfall einer Baggerung und dann insbesondere die auf den Verwertungszweck ausgerichtete Aufbereitung des Baggerguts und die Art und Weise der eigentlichen Verwertung bestimmen die anzuwendenden Regelwerke der verschiedenen Rechtsbereiche."<sup>36</sup>*

Nach der DIN 19731 und der DWA (ATV/DVWK) wird Baggergut als Boden, Bodenmaterial oder Aushubmaterial mit unterschiedlichem Anteil an mineralischen und organischen Bestandteilen, das im Zuge der Gewässerunterhaltung und bei Gewässerausbaumaßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs und des Wasserabflusses im oder am Gewässer anfällt, definiert.

Nach deutscher Auffassung kann das Baggergut, je nach Verwertungszweck und Verwertungsweise, in den Sphären verschiedener Rechtsbereiche behandelt werden. In der nachfolgenden Auflistung werden Verwertungsmöglichkeiten mit den zugehörigen Rechtsgebieten genannt.

1. Verwertung im Wasserbau
  - Wasserrecht
2. Verwertung im Erd-/ Landschaftsbau und der Landwirtschaft
  - Düngemittelrecht, Baurecht
  - Abfallklärslammverordnung, Bodenschutzrecht
3. Verwertung auf Deponien
  - Deponierecht
4. Verwertung in bergbaulichen Anlagen
  - Bergrecht, Bodenschutzrecht

Als Verwertung soll im Zusammenhang mit Baggergut nur die stoffliche Verwertung verstanden werden.<sup>37</sup> In diesem Sinne versteht man unter Verwertung die Substitution von Rohstoffen durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen (sekundäre Rohstoffe) oder die Nutzung

---

<sup>36</sup> Vgl. Hafentechnische Gesellschaft - Fachausschuss Baggergut, 2006, S.3

<sup>37</sup> § 4 Abs. 3 Satz 1 KrW-/AbfG

der stofflichen Eigenschaften der Abfälle für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke mit Ausnahme der unmittelbaren Energierückgewinnung.<sup>38</sup>

#### 3.1 Baggergut als Abfall im gesetzlichen Sinne

Nachfolgende Begriffe sind bei der rechtlichen Auseinandersetzung mit Baggergut als Abfall von großer Bedeutung:

- Umlagerung
- Verwertung
- Beseitigung

Wenn das Baggergut aus dem Gewässer entfernt und die seitliche Begrenzung des Gewässers überschritten wird, beginnt unter Berücksichtigung des geltenden Abfallrechts die Abfalleigenschaft von Baggergut. Zudem gilt Baggergut erst dann als Abfall, wenn sich dessen Besitzer entledigen will oder muss und keine unmittelbare Verwendung (Baggergut) gefunden werden kann.<sup>39</sup> Mit dieser Regelung wird die Umlagerung des Baggergutes innerhalb des Gewässers rechtlich von der Landlagerung unterschieden. Folglich gilt umgelagertes Baggergut nicht als Abfall und kann somit vom Abfallrecht nicht erfasst werden.

Die in diesem Kapitel auftretenden Begriffe wie Verwendung und Verwertung können folgendermaßen verstanden werden:<sup>40</sup>

1. Verwendung: Unmittelbare Nutzung des Baggergutes ohne vorgeschaltete Behandlung.
2. Behandlung: Gezielte, zeitlich begrenzte Verfahren zur Verbesserung der Eigenschaften des Baggergutes und/oder der Verminderung seiner Schädlichkeit zum Zweck der weiteren Verwertung oder Beseitigung. Mögliche Behandlungsverfahren sind:
  - Korngrößenklassierung, Entwässerung,
  - Biologischer Abbau (Zersetzung von Schadstoffen durch Mikroorganismen),
  - Thermische Verfahren (Oxidation, Desorption) und
  - Chemische Einbindung (Verhinderung des Herauslösens von Schadstoffen).

---

<sup>38</sup> Vgl. LAGA - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (I), 2003, S. 9

<sup>39</sup> Vgl. BFG - Bewertungskriterien für die Unterbringung von Baggergut an Land, 2005, S.2

<sup>40</sup> Vgl. HTG - Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste, 2006, S.2

3. Verwertung: Einsatz von Baggergut nach vorheriger Behandlung als Substitution zur Schonung natürlicher Ressourcen. (siehe auch Kapitel 3)

Zusammenfassend kann man feststellen, dass Baggergut zum Abfall im rechtlichen Sinn werden kann ohne dem konventionellen Begriff des Abfalls zu entsprechen. Demzufolge kann sauberer Sand auch als Abfall bezeichnet werden. Abfall kann entweder beseitigt oder verwertet werden. Eine Verwertung würde für den Entfall der Abfalleigenschaft sorgen weil das Baggergut wieder in den Stoffkreislauf eingeführt wird.<sup>41</sup>

## 3.2 Abfallschlüssel

Im Europäischen Abfall Katalog (EAK, 2000/532/EG), welcher der Vereinheitlichung der Abfallbezeichnungen dient, und in der deutschen Umsetzung, der Abfallverzeichnisordnung (AVV) wurde für Baggergut ein eigener Abfallschlüssel eingeführt. Unter dem Abfallschlüssel 1705 „Boden (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten), Steine und Baggergut“ finden sich die zwei Schlüsselnummern:<sup>42</sup>

- 17 05 05\* Baggergut, das gefährliche Stoffe enthält und
- 17 05 06 Baggergut mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 05 05\* fällt

Generell hat nach dem Abfallrecht der EU die Verwertung von Abfall (Baggergut) Vorrang vor dessen Beseitigung (Deponierung). Dieser Vorrang ist dann gegeben, wenn die Verwertung des Abfalls technisch möglich, umweltverträglich und wirtschaftlich zumutbar ist. Die Verwertung ist auch dann technisch möglich, wenn eine Vorbehandlung erforderlich ist. Wirtschaftliche Zumutbarkeit ist gegeben, wenn die Kosten der Verwertung nicht außer Verhältnis zu den Kosten der Abfallbeseitigung stehen. Der Vorrang der Verwertung entfällt, wenn die Beseitigung der Abfälle die umweltverträglichere Lösung darstellt.

Wie bereits erwähnt, führt eine Abfallverwertung zur Wiedereinführung des Baggergutes (Abfall) in den Stoffkreislauf. Diese Tatsache entspricht auch den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft, wonach alle Abfälle ordnungsgemäß und schadlos verwertet werden müssen. Die Verwertung erfolgt ordnungsgemäß, wenn sie im Einklang mit den Vorschriften des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) und anderen öffentlich rechtlichen Vorschrif-

---

<sup>41</sup> Vgl. KÖTHE, Harald: Baggergut im Kontext nationaler und europäischer Regelungen, 2002, S.23

<sup>42</sup> Vgl. HTG - Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste, 2006, S.4

ten steht, z.B. dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG).<sup>43</sup>

### 3.3 Abfall zur Verwertung an Land, LAGA-Regelwerk

Im Bereich "Abfall zur Verwertung" finden die Technischen Regeln 20 der Länderarbeitsgemeinschaft (LAGA 2004) Anwendung.<sup>44</sup> Dieses Regelwerk, welches in Abstimmung mit anderen Rechtsbereichen entwickelt wurde, soll vor allem für eine einheitliche (bundesländerübergreifend), schadlose und ordnungsgemäße Abfallverwertung sorgen. Die größte Bedeutung bei der Wahl der Verwertungsmethode kommt dem Boden- und Grundwasserschutz zu.

Das LAGA-Regelwerk (Abb. 14) setzt sich aus folgenden drei Teilen zusammen:<sup>45</sup>

1. Allgemeiner Teil: Dieser Teil befasst sich mit den Verwertungsgrundsätzen und Anforderungen unter Berücksichtigung der Nutzung und den Standortverhältnissen für die Verwertung von mineralischen Abfällen bei Baumaßnahmen (Erd-, Straßen- und Landschaftsbau).
2. Technische Regeln: Hier sind konkrete Festlegungen für die Untersuchungen der jeweiligen Abfälle sowie ergänzende Vorgaben für den Einbau, insbesondere Zuordnungswerte und Einbaubedingungen, enthalten.
3. Probenahme und Analytik: Dieser Teil gibt Auskunft über die allgemein gültigen und anerkannten Verfahren für die Probenahme sowie für die Probenaufbereitung und Analytik.

---

<sup>43</sup> Vgl. BERTRAM, Heinz: Fachliche Grundlagen für die Überarbeitung der LAGA-Mitteilung, 2002, S.1

<sup>44</sup> Vgl. BFG - Bewertungskriterien für die Unterbringung von Baggertgut an Land, 2005, S.2

<sup>45</sup> Vgl. LAGA - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (I), 2003, S.5

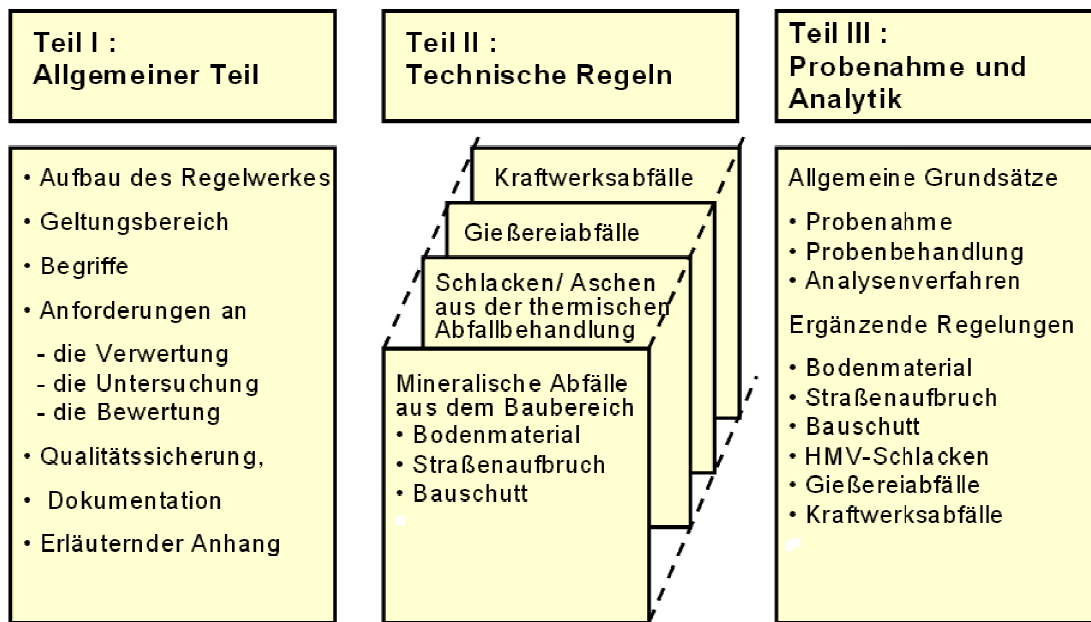


Abb. 14: Dreiteiliges LAGA Regelwerl (LAGA Mitteilung 20, 2003)

Die LAGA-Regeln gelten für die Bewertung der Schadlosigkeit der Verwertung von:<sup>46</sup>

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

Dieses Regelwerk gilt unter anderem nicht für:<sup>47</sup>

- das Auf- und Einbringen von Abfällen auf oder in eine durchwurzelbare Bodenschicht oder zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht,
- den Einbau von Abfällen in Deponien,
- das Einbringen von Abfällen in Gewässer und
- das Einbringen von Abfällen in bergbauliche Hohlräume für Maßnahmen der Bergsicherheit.

<sup>46</sup> Vgl. LAGA - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (I), 2003, S.6

<sup>47</sup> Vgl. LAGA - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (I), 2003, S.6

Wenn das LAGA Regelwerk angewendet werden darf, sieht eine typische Vorgehensweise folgendermaßen aus:<sup>48</sup>

1. Probenahme und Analyse:

Das Material muss im ersten Schritt beprobt werden, z.B. durch eine Haufwerksanalyse. Durch eine Analyse der gewonnenen Probe wird die chemische Zusammensetzung des Materials geklärt. Es wird gezielt nach bestimmten Inhaltsstoffen (Schadstoffe) wie verschiedenen Metallen, PCB, PAK und anderen Stoffen im Feststoff und im Eluat gesucht.

2. Vergleich der Analyseergebnisse:

Die erhaltenen Analysenergebnisse werden mit den in der LAGA M 20 enthaltenen Zuordnungswerten verglichen.

3. Einstufung in LAGA-Einbauklassen:

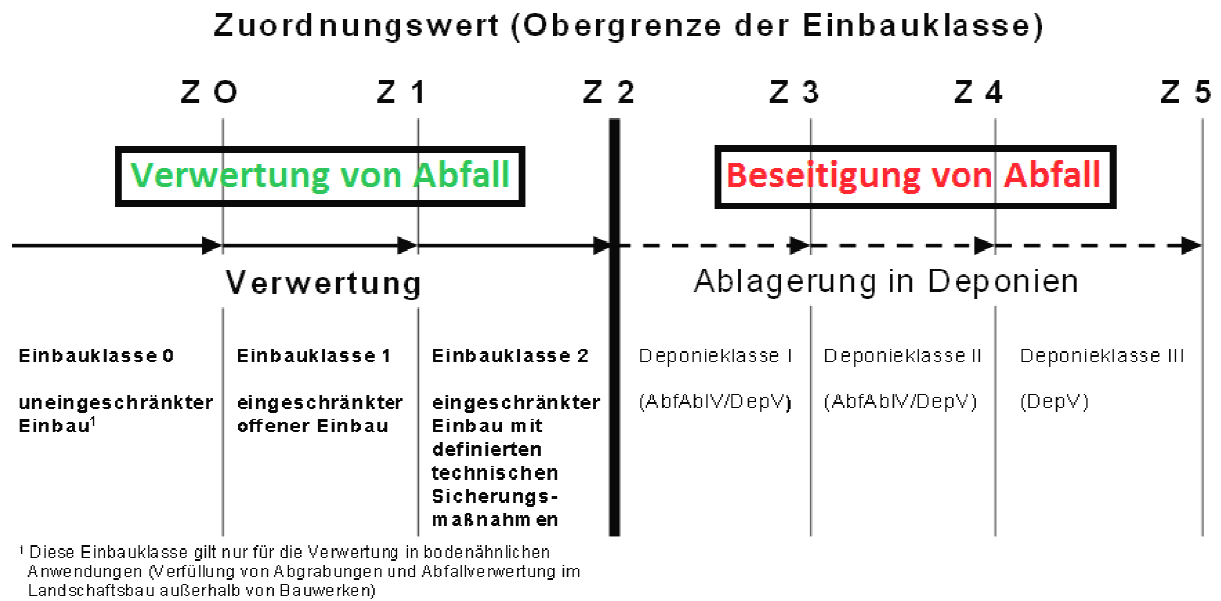
Je nach Belastungsgrad wird das Material in eine der LAGA – Einbauklassen eingestuft, welche die Möglichkeit zur weiteren Verwendung des Materials regeln.

Unter den erwähnten Zuordnungswerten (Z-Werte) sind zulässige Schadstoffkonzentrationen im Eluat (Eluatkonzentrationen) bzw. zulässige Schadstoffgehalte im Feststoff (Feststoffgehalte), die für den Einbau eines Abfalls festgelegt werden, damit dieser unter den für die jeweilige Einbauklasse vorgegebenen Anforderungen eingebaut/verwendet werden kann, zu verstehen.<sup>49</sup> Abb. 15 zeigt, dass die Verwertung von mineralischen Abfällen im Sinne der LAGA nur bis zum Zuordnungswert Z 2 reicht. Alle Werte die > Z 2 sind, fallen unter die Kategorie Beseitigung (Ablagerung in Deponien).

---

<sup>48</sup> Vgl. Wikipedia: [http://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4nderarbeitsgemeinschaft\\_Abfall](http://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4nderarbeitsgemeinschaft_Abfall). 08.06.2013

<sup>49</sup> Vgl. LAGA - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (I), 2003, S.10



**Abb. 15: Darstellung der Zuordnungswerte bzw. Einbauklassen (LAGA Mitteilung 20, 2003)**

Bei der Verwertung von mineralischen Abfällen ist aus Sicht des Bodenschutzes zwischen „bodenähnlichen Anwendungen“ und „technischen Bauwerken“ zu unterscheiden.

Bei den „bodenähnlichen Anwendungen“ steht die Sicherung und Herstellung natürlicher Bodenfunktionen im Vordergrund. Dies hat zur Folge, dass von den zur Verwertung geeigneten Abfälle nicht nur keine Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung ausgeht, sondern darüber hinaus nur geeignete Abfälle (nur Bodenmaterial) verwendet werden. „Bodenähnlichen Anwendungen“ sind:<sup>50</sup>

- Verfüllungen von Abgrabungen (Steinbrüche) und Senken mit Bodenmaterial
- Verwertung von Bodenmaterial im Landschaftsbau außerhalb von technischen Bauwerken

Dagegen muss bei den „technischen Bauwerken“, also mit dem Boden verbundenen Anlagen, die aus Bauprodukten und/oder mineralischen Abfällen (auch Bodenmaterial) hergestellt werden und technische Funktionen erfüllen aus Sicht des Bodenschutzes(nur) gewährleistet sein, dass von diesen insgesamt keine Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung ausgeht. „Technischen Bauwerke“ sind:<sup>51</sup>

- Straßen, Wege, Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen
- Lärm- und Sichtschutzwälle

<sup>50</sup> Vgl. LAGA - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (I), 2003, S.16

<sup>51</sup> Vgl. LAGA - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (I), 2003, S.9

- Gebäude einschließlich Unterbau

Diese strenge Unterscheidung zwischen „bodenähnlichen Anwendungen“ und „technischen Bauwerken“ ist letztendlich auch in den jeweiligen Zuordnungswerten ersichtlich. Wenn ein Abfall in seiner Verwertungsmethode eine natürliche Bodenfunktion erfüllen soll, muss dieser auch geringere Schadstoffkonzentrationen als ein Abfall für die Herstellung einer technischen Funktion aufweisen. Es ist vor allem darauf hinzuweisen, dass bodenähnliche Anwendungen von Abfall nur mit Einbau von Bodenmaterial (mineralischer Abfall) und sonst keinen anderen mineralischen Abfällen zulässig sind.

#### 3.3.1 Bodenmaterial nach LAGA-Regelwerk (Teil II)

Dieser Teil des LAGA Regelwerks geht auf die zulässigen Schadstoffkonzentrationen für die jeweiligen Einbauklassen (Zuordnungswerte) ein. Dabei wird auch der Zusammenhang zwischen dem für diese Arbeit wichtigen Begriff des Baggergutes, dem Abfallschlüssel und dem Bodenmaterial hergestellt.

Die Technischen Regeln (Teil II) gelten für die Verwertung folgender Abfallarten:

Abfallschlüssel (AS)	Abfallbezeichnung	geregelt in Kapitel
17 01 01	Beton	1.4 Bauschutt
17 01 02	Ziegel	1.4 Bauschutt
17 01 03	Fliesen, Ziegel und Keramik	1.4 Bauschutt
17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 01 06 fallen	1.4 Bauschutt
17 03 02	Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 03 01 fallen	1.3 Straßenaufbruch
17 05 04	Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen	1.2 Bodenmaterial
17 05 06	Baggergut mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 05 05 fällt	1.2 Bodenmaterial
17 05 08	Gleisschotter mit Ausnahme desjenigen, der unter 17 05 07 fällt	1.5 Gleisschotter

**Abb. 16: Abfall Baggergut nach Technischen Regeln der LAGA (Technische Regeln, 2004)**

Bodenmaterial im Sinne der Technischen Regeln ist unter anderem:<sup>52</sup>

- Bodenaushub aus nicht metallischen Bodenschätzen, der als Abfall entsorgt wird und

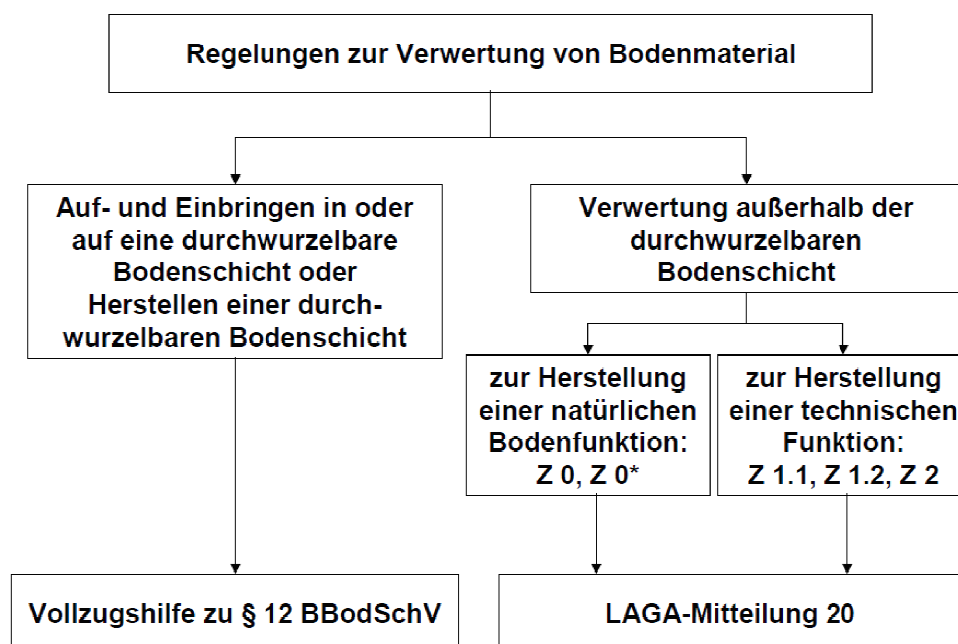
<sup>52</sup> Vgl. LAGA - Technische Regeln für die Verwertung von Bodenmaterial (II), 2004, S.3



- Baggergut (AS 17 05 06), das aus Gewässern entnommen wird und das aus Sanden bzw. Kiesen mit einem maximalen Feinkornanteil ( $<63 \mu\text{m}$ ) von  $< 10 \%$  Gewichtsprozent besteht.

Festzuhalten bleibt das Baggergut mit höheren Feinkornanteilen ( $> 10 \%$ ) nach technischen Regeln der LAGA nicht als Bodenmaterial (bodenähnlicher Funktion, technische Bauwerke) verwertbar ist. Diese Tatsache kann damit begründet werden, dass beispielsweise Feinteile (Schwebestoffe) oftmals Träger von Schadstoffen, wie in vorherigen Kapiteln angeführt, sind.

Abb. 17 gibt einen Überblick über die Regelungen zur Verwertung von Bodenmaterial. In Abhängigkeit von den festgestellten Schadstoffgehalten wird das zu verwertende Bodenmaterial entsprechenden Einbauklassen zugeordnet. Die Zuordnungswerte Z 0 bis Z 2 stellen die Obergrenze der jeweiligen Einbauklasse bei der Verwertung von Bodenmaterial dar.<sup>53</sup>



**Abb. 17: Überblick über die Regelung zur Bodenmaterialverwertung (Technische Regeln, 2004)**

Ob das Bodenmaterial untersucht werden muss und in welchem Umfang dies geschehen soll hängt u.a. von der Auswertung schon vorhandener Unterlagen ab. Solche Unterlagen können Belastungskarten, Kataster altlastverdächtigter Flächen und Altlasten und andere Untersuchungsergebnisse sein.

<sup>53</sup> Vgl. LAGA - Technische Regeln für die Verwertung von Bodenmaterial (II), 2004, S.7

Untersuchungsbedarf speziell für Baggergut und baggergutähnliches Material besteht jedoch grundsätzlich bei:<sup>54</sup>

- Überschwemmungsgebieten, in denen mit belasteten Flusssedimenten gerechnet werden muss;
- Bodenmaterial (Baggergut), das zum Zeitpunkt des Transports zur Verwertung schon längere Zeit zwischengelagert worden ist und dem aufgrund seines Erscheinungsbildes Anhaltspunkte dafür bestehen, dass sich die ursprüngliche Einstufung in eine bestimmte Einbauklasse geändert haben könnte (z.B. Grünbewuchs, Fremdmaterialien);
- Baggergut, bei dem mit Belastungen gerechnet werden muss;

Nach erfolgten Untersuchungen am Baggergut (Abfall) kann anhand der festgestellten Schadstoffgehalte eine Zuordnung in Einbauklassen getroffen werden.<sup>55</sup>

#### Einbauklasse 0 - Uneingeschränkter Einbau:

In dieser Einbauklasse steht die Herstellung natürlicher Bodenfunktionen im Vordergrund. Typische Anwendungsbeispiele für diese Klasse sind die Verfüllung von Abgrabungen und die Abfallverwertung im Landschaftsbau. Die Einstufung in die Einbauklasse 0 ist nur dann möglich, wenn eine Schadstoffbelastung nach erfolgten analytischen Untersuchungen ausgeschlossen werden kann. Folgende Besonderheiten bei der Bewertung sind zu beachten:<sup>56</sup>

- Wenn die Z 0-Werte der Tab. 26 im Anhang 1 (Feststoffgehalte) für die Bodenarten Ton, Lehm/Schluff oder Sand eingehalten werden, ist auch keine Eluatuntersuchung notwendig.
- Bei Bodenmaterial, das einer der Bodenarten Ton, Lehm/Schluff oder Sand mit mineralischen Fremdbestandteilen (Bauschutt, Schlacke, Ziegelbruch) zugeordnet werden kann, gelten die Z 0-Werte der Tab. 26 im Anhang 1 (Feststoffgehalte) sowie die Z0-Werte der Tab. 27 im Anhang 1 (Eluatkonzentrationen).
- Bei der Verfüllung von Abgrabungen unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht darf Bodenmaterial, das die Z 0-Werte (Feststoffgehalte) überschreitet, jedoch die Z 0\* (Feststoffgehalte) einhält, verwertet werden. Allerdings müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

---

<sup>54</sup> Vgl. LAGA - Technische Regeln für die Verwertung von Bodenmaterial (II), 2004, S.4

<sup>55</sup> Vgl. LAGA - Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen (I), 2003, S.14

<sup>56</sup> Vgl. LAGA - Technische Regeln für die Verwertung von Bodenmaterial (II), 2004, S.8

- Z 0-Werte im Eluat nach Tab. 27 im Anhang 1 werden eingehalten.
- Oberhalb des verfüllten Bodenmaterials wird eine Schicht (mind. 2 m) aus Bodenmaterial, das alle natürlichen Bodenfunktionen erfüllen kann, aufgebracht.
- Die Verfüllungen müssen außerhalb von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten als auch Karstgebieten liegen.

#### Einbauklasse 1 - Eingeschränkter offener Einbau in technischen Bauwerken:

Dieser Einbauklasse werden mineralische Abfälle zugeordnet, die in technischen Bauwerken in wasserdurchlässiger Bauweise eingebaut werden können. Deshalb ist hier aus der Sicht des vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutzes vor allem die Einhaltung der Eluatkonzentrationen wichtig. Zusätzlich müssen Feststoffkonzentrationen eingehalten werden. Beim eingeschränkten offenem Einbau wird unterschieden ob im Bereich der Verwertungsmaßnahme ungünstige oder günstige hydrogeologische Standortbedingungen vorherrschen. Prinzipiell müssen die Z 1-Werte der Tab. 28 im Anhang 1 (Feststoffgehalte) eingehalten werden.

- Einbauklasse 1.1 - Einbau bei ungünstigen hydrogeologischen Standortbedingungen:

Hier sind die Zuordnungswerte Z 1.1 im Eluat nach Tab. 29 im Anhang 1 einzuhalten. Die Schadstoffbelastungen dürfen nicht höher sein, weil der Grundwasserleiter nach oben hin durch keine Sperrschicht (bspw. Ton) geschützt ist.

- Einbauklasse 1.2 - Einbau bei günstigen hydrogeologischen Standortbedingungen:

Hier sind die Zuordnungswerte Z 1.2 im Eluat nach Tab. 29 im Anhang 1 einzuhalten. *"Hydrogeologisch günstig sind u. a. Standorte, bei denen der Grundwasserleiter nach oben durch flächig verbreitete, ausreichend mächtige und homogene Deckschichten mit geringer Durchlässigkeit und hohem Rückhaltevermögen gegenüber Schadstoffen überdeckt ist. Dieses Rückhaltevermögen ist in der Regel bei mindestens 2 m mächtigen Deckschichten aus Tonen, Schluffen oder Lehmen gegeben."*

#### Einbauklasse 2 - Eingeschränkter Einbau mit definierten techn. Sicherungsmaßnahmen:

Im Gegensatz zur Einbauklasse 1 soll hier eine nicht oder gering wasserdurchlässige Bauweise den Transport von Schadstoffen verhindern. Hier sind die Zuordnungswerte Z 2 im

Eluat in Tab. 29 und im Feststoff in Tab. 28 aus Anhang 1 einzuhalten. Jedenfalls sind folgende Sicherungsmaßnahmen beim Einbau von mineralischen Abfällen zu beachten:

- Im Straßen-, Wege- und Verkehrsflächenbau muss die Tragschicht (Abfall) unter einer wasserundurchlässigen Deckschicht (Beton, Asphalt) sein.
- Im Straßen-, Wege- und Verkehrsflächenbau muss die gebundene Tragschicht (Abfall) unter einer wenig durchlässigen Deckschicht (Pflaster, Platten) sein.
- Bei Erdbaumaßnahmen (Lärm- und Sichtschutzwall oder Straßendamm (Unterbau)) muss das Niederschlagswasser vom eingebauten Abfall ferngehalten werden.

### 3.4 Abfall zur Beseitigung auf Deponien

Wenn eine Verwertung des Baggergutes (Abfall) an Land im Sinne der LAGA-Bestimmungen nicht möglich ist, verbleibt die Beseitigung auf einer geeigneten Deponie. Eine Ausnahme bildet die Verwertung auf Deponien (siehe Kap. 3.5). Ein Ausschluss der Verwertung nach LAGA kann bspw. durch eine sehr feine Kornzusammensetzung oder eine erhöhte Belastung durch Schadstoffe entstehen. Oftmals zwingt aber allein die fehlende Nachfrage oder eine zu teure Aufbereitung für das letztendlich verwertbare Baggergut den Abfalleigentümer zur Beseitigung. Die Deponien werden in Deutschland in 5 Klassen (DK 0 bis DK 4) eingeteilt, wobei mit steigender Klasse die Anforderungen an den Standort und den Aufbau der Systemkomponenten der Deponie steigen. Für die Beseitigung von mineralischem Abfall stehen die Deponieklassen 0 bis 3 (Abb. 15) zur Verfügung. Der richtige Standort für die Beseitigung des Abfalls wird vor allem durch die stofflichen Eigenschaften und den Belastungsgrad bestimmt. Bei feinkörnigen aquatischen Sedimenten sind vor allem die geringe Scherfestigkeit bei hohem Wassergehalt und der hohe organische Anteil im Hinblick auf die Deponierbarkeit zu erwähnen. Die geringe Scherfestigkeit verringert die mechanische Stabilität der Deponiekörper. Organische Bestandteile im Baggergut sind grundsätzlich biologischen und chemischen Abbauvorgängen zugänglich, durch welche es zu Emissionen und Setzungen kommen kann.<sup>57</sup> Die aktuellen Zuordnungskriterien nach Deponieverordnung für die jeweilige Deponie sind Tab. 30 und Tab. 31 im Anhang 1 dargestellt.

Bis zum Inkrafttreten der neuen Deponieverordnung am 16.07.2009 waren Angaben über die vom Wassergehalt abhängigen Festigkeitsparameter (Flügelscherfestigkeit, Einaxiale Druckfestigkeit) Bestandteil des für die Deklaration notwendigen Untersuchungsumfanges. In der aktuellen Verordnung wurden die Festigkeitskriterien gestrichen. Für den Deponiebetreiber

---

<sup>57</sup> BFG - Bewertungskriterien für die Unterbringung von Baggergut an Land, 2005, S.3

gilt abgesehen vom Verbot der Lagerung von flüssigen Abfällen lediglich: "*Werden pastöse, schlammige und breiige Abfälle abgelagert, ist dafür Sorge zu tragen, dass die Abfälle unter Ablagerungsbedingungen entwässern und konsolidieren oder sich verfestigen, so dass unter Berücksichtigung des Deponieaufbaus eine Beeinträchtigung der Standsicherheit des Deponiekörpers nicht zu besorgen ist und die Funktion des Entwässerungssystems der Basisabdichtung nicht beeinträchtigt wird.*"<sup>58</sup>

Hinsichtlich der Ablagerung auf einer Deponie, dürfen nur Abfälle die die Annahmekriterien der Deponieverordnung einhalten, zugelassen werden.<sup>59</sup> In diesem Kontext wird hauptsächlich auf die erwähnten Zuordnungskriterien im Anhang 1 verwiesen. Weiteres hat der Abfallerzeuger dem Deponiebetreiber rechtzeitig vor der ersten Anlieferung die grundlegende Charakterisierung des Abfalls mit folgenden Inhalten zu überreichen.<sup>60</sup>

- Abfallherkunft
- Abfallbeschreibung
- Abfallmenge
- Art der Vorbehandlung (Entwässerung)
- Abfallzusammensetzung (Konsistenz, Farbe, Geruch, Fotos, etc.)
- Bewertung durch Abfallerzeuger (Einstufung in DK nach Zuordnungswerten)

### 3.5 Abfall zur Verwertung auf Deponien

Um eine Deponie sichern und betreiben zu können werden große Mengen von mineralischem Material mit definierten Eigenschaften benötigt. Sofern die technischen Parameter eingehalten werden, eignet sich Baggergut als kostengünstiger Deponieersatzbaustoff. Insbesondere kann Baggergut für deponietechnisch notwendige Baumaßnahmen im Deponiekörper (z.B. Fahrstraßen, Profilierungs- oder Ausgleichsschicht) sowie im Oberflächenabdichtungssystem als mineralische Abdichtung und Rekultivierungsschicht eingesetzt werden.<sup>61</sup> In Tab. 3 werden einige Verwertungsmöglichkeiten als Deponieersatzbaustoff gezeigt.

---

<sup>58</sup> DepV - Verordnung über Deponien und Langzeitlager, 2009, S.60

<sup>59</sup> DepV - Verordnung über Deponien und Langzeitlager, 2009, S.7

<sup>60</sup> DepV - Verordnung über Deponien und Langzeitlager, 2009, S.9

<sup>61</sup> Vgl. HTG - Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste, 2006, S.17

Schicht	Beschaffenheit	Funktion
<b>Ausgleichsschicht</b>	Baggergut mit hohem Sandanteil, Keine spez. Anforderungen	Profilierung
<b>Mineralische Dichtungsschicht</b>	Tonhaltiges Sediment, $k_f = 10^{-7}$ bis $10^{-9}$ m/s, Proctordichte > 75%	Niederschlagswasser ableiten, Stoffaustrag verhindern
<b>Schutzschicht</b>	Baggergut mit hohem Sandanteil, Abgestufte Körnung	Schutz der Kunststoffdichtungsbahn vor Schäden
<b>Entwässerungsschicht</b>	Klassierte Sande und Kiese, sehr wenig Feinkorn und Organik	Durchwurzelungsschutz, Niederschlag ableiten
<b>Rekultivierungsschicht</b>	Sandige bindige, organikreiche Mat., hohes Speichervermögen f. Wasser	Substrat für Bewuchs, Erosionsschutz, Entwässerung

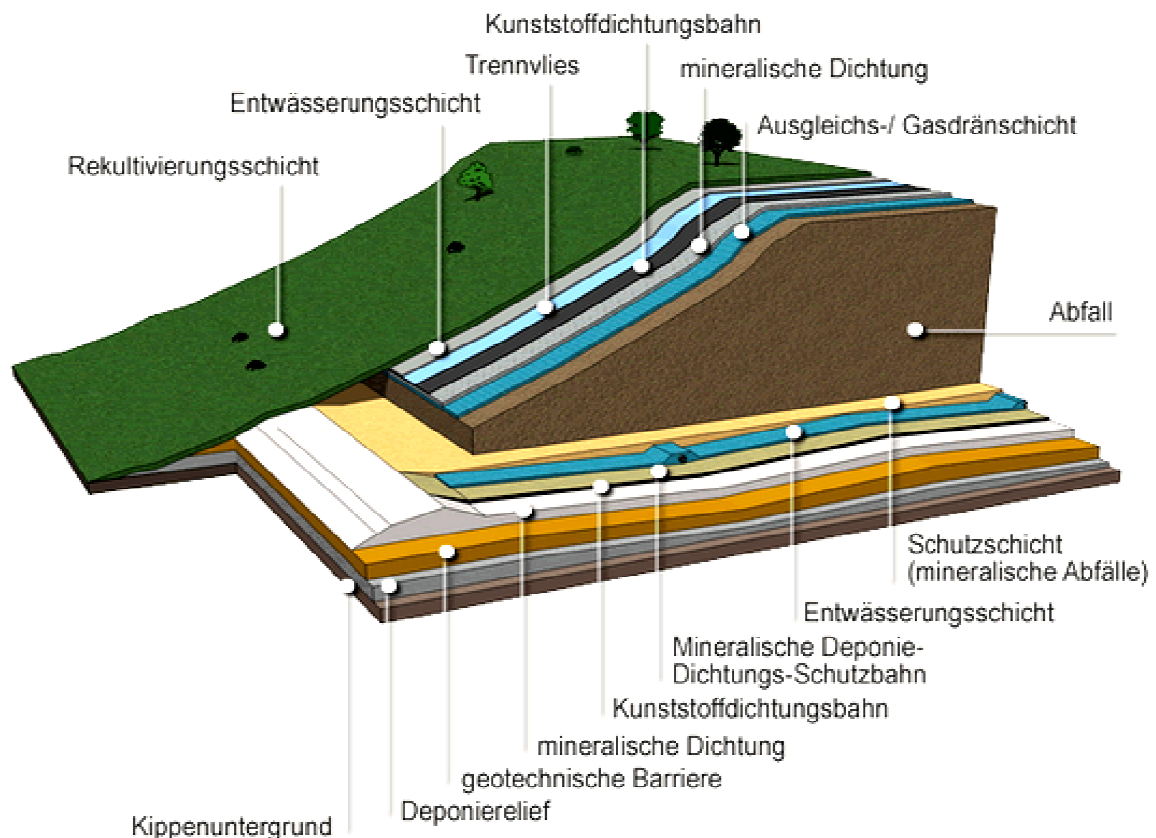
Tab. 3: Verwertungsmöglichkeiten auf einer Deponie<sup>62</sup>

Abb. 18: Querschnitt durch eine geschlossene Deponie (WEV mbH)

<sup>62</sup> Vgl. FRITZE, Ch.: Umgang mit Baggergut unter Beachtung aktueller Gesetzgebung, 2012, S 104

Abb. 18 zeigt den typischen Aufbau einer geschlossenen Deponie mit allen Systemkomponenten.<sup>63</sup> Es wird jedoch zwischen den Deponieklassen im Hinblick auf den Lagenaufbau unterschieden. Demnach wird das Deponat bei der DK 1 (für Inertabfälle) nur durch eine Rekultivierungs- und Bewuchsschicht abgedeckt. Bei der DK 2 wird unterhalb der Rekultivierungsschicht zusätzlich eine Entwässerungs- und mineralische Abdichtungsschicht verlangt. Den größten Absicherungsgrad erzielen die DK 2 und 3, bei denen für die Oberflächenabdichtung auch eine geschützte Kunststoffdichtungsbahn zu erstellen ist. Wie auch bei der Ablagerung von Baggergut wird bei der Anlieferung von Deponieersatzbaustoffen eine grundlegende Charakterisierung vorausgesetzt. Durch die Deponieverordnung wurden auch Zuordnungskriterien (Tab. 33 und Tab. 34 im Anhang 1) für den Einsatz als geologische Barriere, Basisabdichtungssystem, Oberflächenabdichtungssystem sowie bei deponietechnisch notwendigen Baumaßnahmen im Deponiekörper definiert.

---

<sup>63</sup> <http://www.wev-sachsen.de/index.php?querschnitt>. 08.09.2013

## 4. Verfahrenstechnik und Geräteauswahl

Wie schon in Kapitel 1.1 und 2.7 angedeutet wird in dieser Arbeit speziell auf die Nassbaggerungen im Bereich von Flusssperren eingegangen. Es ist zu berücksichtigen, dass für die Baggerarbeiten keine hilfeleistenden Wasserspiegelabsenkungen im Staubebereich vorgesehen werden.

Abbildung 18 zeigt mögliche voneinander zeitlich und räumlich getrennte Verfahrensschritte (grau hinterlegt) beim Umgang mit Baggergut. Die Verknüpfungen zwischen den einzelnen Vorgängen können je nach Möglichkeit und Bedarf variabel gestaltet werden. Eine besondere Kombination würde die räumliche Verbindung zwischen Baggerung, Transport und Aufbereitung darstellen. Im konkreten Fall würde das bedeuten, dass sowohl die Baggereinheit als auch die Aufbereitungsgeräte auf einem Transportschiff stationiert wären. Auch ist es möglich bestimmte Vorgänge ausfallen zu lassen. So kann beispielsweise die komplette Aufbereitung bestehend aus Klassierung und Entwässerung unberücksichtigt bleiben.

Der Vorgang "Überleitung an Land" wird deshalb explizit gezeigt, weil es vor allem bei stattfindender Aufbereitung notwendig ist, die auf Schiffen oder Schuten zwischengelagerten Baggergutmassen in einer bestimmten Konsistenz zur Aufbereitung weiterzuleiten. Im Speziellen Fall der Anwendung von Hydrozyklonen als Aufbereitungseinheit muss das von der Schute zugeführte Baggergut in flüssiger (pumpfähiger) Konsistenz weitergeleitet werden. Im Prinzip kommen für die Überleitung des Baggergutes an Land nur pumpenartige Systeme in Frage.

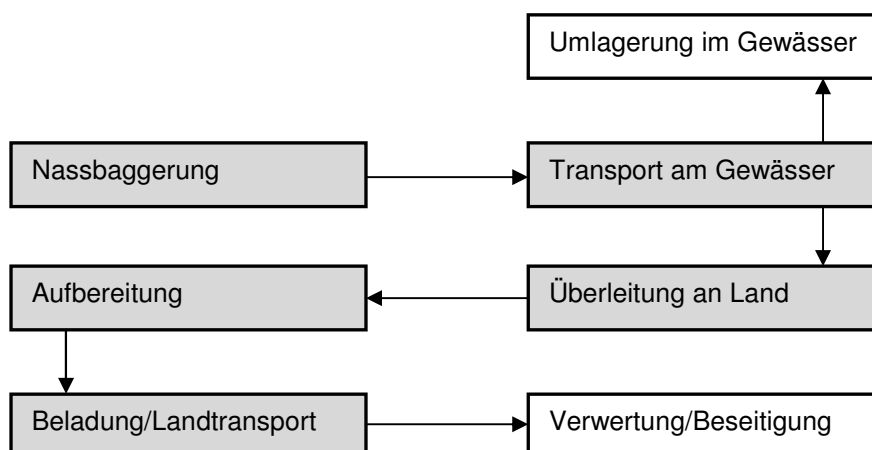


Abb. 19: Verfahrensschritte beim Umgang mit Baggergut (eigene Darstellung)



### 4.1 Nassbaggerung

#### 4.1.1 Stelzenpontonbagger/Baggerstelzenponton

Unter der Bezeichnung Stelzenpontonbagger oder auch Baggerstelzenponton (Abb. 20) kann eine schwimmende, antriebslose Einheit bestehend aus einem Stelzenponton und einem aufgesetzten Hydraulikbagger verstanden werden. Im Fall des Stelzenpontonbaggers wird der Oberwagen eines Tieflöffel-Hydraulikbaggers auf einem am Ponton integrierten Drehkranz aufmontiert. Andererseits gibt es die Möglichkeit einen Hydraulikbagger samt Kettenfahrwerk auf eine eigens für den Bagger vorgesehene Arbeitsplattform zu setzen.



**Abb. 20: Baggerstelzenponton und Liebherr R 974 (Fa. Felbermayr)**

Als geeigneter Hydraulikbagger für die Nassbaggerarbeiten auf dem Ponton hat sich bei der Firma Felbermayr der Liebherr R 974 erwiesen. Durch den Einsatz der langen Ausrüstung (Ausleger, Stiel) können Grabtiefen bis 13 m unter Niveau erreicht werden. Zu beachten bleibt jedoch, dass bei großen Auslegerlängen das Löffelvolumen geringer gewählt werden muss. Die Herausforderung profilgerechten Baggerns unter Wasser kann mit zusätzlicher GPS-3D-Baggersteuerung erleichtert werden.

Der antriebslose Schwimmponton kann mit Hilfe von Motorschiffen bewegt und positioniert werden. Wichtig bei der Positionierung sind die hydraulisch betriebenen Ankerpfähle oder Stelzen, die in den Boden gerammt werden können, um eine Fixierung des Pontons zu gewährleisten. Ebenso werden die durch den Baggervorgang hervorgerufenen Reaktionskräfte über die Stelzen in den Boden abgeleitet.

Ein typischer Ablauf bei Nassbaggerarbeiten am Gewässer kann folgendermaßen aussehen:

1. Übergabe eines hydrographischen Geländemodells (Plan), mit Soll- und Istwassertiefen bestimmter Baggerbereiche gekennzeichnet sind, durch den Auftraggeber.
2. Baggerstelzenponton mit Hilfe von GPS-Navigation und hydrographischen Geländemodell an die richtige Stelle manövrieren und ankern.
3. Abarbeiten eines Baggerschnittes mit Hilfe der GPS-3D-Baggersteuerung und gleichzeitiges Abladen des Baggerguts auf einer seitlich am Baggerstelzenponton festgemachten Schute.
4. Nach Beendigung des durch den Baggerradius begrenzten Abschnittes wird das Baggerstelzenponton zum nächsten Abschnitt bewegt.
5. Nach Beendigung aller oder einiger Teilabschnitte kann ein Messschiff mittels Nachpeilung (Echolot) neue, durch das Baggern entstanden, Wassertiefen aufnehmen. Diese Vermessung ist auch die Grundlage für die spätere Abrechnung.

<b>Tragfähigkeit</b>	<b>Abmessungen</b>	<b>Ausrüstung</b>
307 to	L x B = 52,8 m x 9,0 m	3 Hydraulikstelzen, 4 Verholwinden usw., Bordaggregat 14,4 kW

**Tab. 4: Daten Baggerstelzenponton**

<b>Gewicht</b>	<b>Löffel, Stiel</b>	<b>Ausrüstung</b>
ca. 85 to	Monoblock: 7,2 - 10,5 m Löffelstiel: 2,9 - 5,8 m Löffel: 2,2 - 5,2 m <sup>3</sup>	Greifer, Meißel, GPS-3D-Baggersteuerung usw.

**Tab. 5: Daten Hydraulikbagger R 974**

## 4.2 Transport am Gewässer

Als Transportgeräte am Gewässer sind sowohl antriebslose Schuten als auch Schiffe mit Antrieb zu verstehen.

### 4.2.1 Schubboot

Als Schubboot bezeichnet man ein Motorschiff, welches selbst keine Ladung transportiert und nur der Beförderung, dem Schieben, von bspw. Schubleichtern, dient. Je nach Motorstärke des Schubbootes und zulässiger Gesamtlänge eines Schubverbandes innerhalb eines Gewässers können bis zu 70 Schubleichter geschoben werden. Unter einem Schubverband versteht man eine temporäre Kombination eines Schubschiffes mit einem oder mehreren Leichtern. Eine derart feste und starre Verbindung kann mit Hilfe von Koppeldrähten (Stahlseile), die nach bestimmten Koppelmustern um die Poller der Schubleichter gelegt und anschließend durch Anziehen der Koppelwinden befestigt werden, erreicht werden. Ein Beispiel für ein solches Schubboot ist in Abb. 21 dargestellt.



**Abb. 21: Motorschiff "Grafenau" bei Str.km 1938,500 in Langenzersdorf (Fa. Felbermayr)**

Ein besonderes Merkmal der "Grafenau" ist die am Bug befestigte Schubschulter, die als Lager für die Schubleichter dient. Des weiteren verfügt dieses Schiff über eine Schleppeinrichtung zum Ziehen von Schiffen oder Leichtern. Zu bemerken bleibt jedoch, dass das Schieben von Leichtern im Schubverband die zu bevorzugende Methode ist. In Abb. 22 kann man einen Schubverband bestehend aus der "Grafenau" und dem Deckschubleichter "St. Peter" sehen.



**Abb. 22: Schubverbund bestehend aus "Grafenau" und "St. Peter" (Fa. Felbermayr)**

Die für diese Arbeit wichtigsten Aufgaben des Schubbootes sind einerseits das Transportieren der Ladungen (Schubleichter mit Baggergut) und andererseits die Positionierung des Baggerstelzenpontons. Die "Grafenau" ist in der Lage gleichzeitig einen Baggerstelzenponton sowie einen geladenen Leichter zu schieben.

<b>Leistung</b>	<b>Abmessungen</b>	<b>Ausrüstung</b>
492 kW	L = 28,57 m B = 6,45 m Tiefgang ca. 1,6 m	Schubschulter, Schleppeinrichtung, Anker- und Koppelwinden;

**Tab. 6: Daten Schubboot "Grafenau"**

### 4.2.2 Schubleichter

Als Schubleichter bezeichnet man einen unbemannten, antriebslosen und schwimmenden Ladungsbehälter, der im Schubverband bewegt wird. Oftmals wird ein Schubleichter auch als Barge bezeichnet. Seine Hauptaufgabe besteht darin, Ladungen bestehend aus Containern, Stückgütern, Anlagenteilen und natürlich auch feste oder flüssige Massengüter zu transportieren. Insofern eignet sich dieser Schwimmkörper für jeglichen Baggerguttransport. Die Tragfähigkeit der typisierten Schubleichter variiert zwischen 1.250 und 2.800 to. Berücksichtigt man die Dichte von Sedimentablagerungen ohne besondere Auflockerung infolge Baggerung aus Kap. 2.4 von ca. 1,54 t/m<sup>3</sup> bedeutet dies eine Transportkapazität bis zu 1.800 m<sup>3</sup>. Aus dem Gerätepark der Firma Felbermayr wird für diese Arbeit ein Schubleichter mit einer Tragfähigkeit von 1.344 to gewählt. Da keine geeignete Abbildung dieses Leichters vorliegt, zeigt die Abb. 23 ein vergleichsweise ähnliches aber kleineres Objekt.



**Abb. 23: Umschlagen von Baggergut über einen Schubleichter (Fa. Felbermayr)**

Der Schubleichter ist mit Anker- und Koppelwinden ausgestattet und kann somit problemlos mit einem Boot oder einem anderen Leichter starr verbunden werden. Ebenso besteht die Möglichkeit der Befestigung an einer Kaimauer.

Die für diese Arbeit bedeutendste Aufgaben des Leichters sind:

1. Aufnehmen des vom Bagger (Baggerstelzenponton) gelösten Baggergutes.
2. Transport des Baggergutes mit Hilfe eines Schubbootes bis zur landseitigen Entnahmestelle.
3. Aufnahme von zusätzlichen Wassermengen innerhalb des Laderaumes an der Entnahmestelle, die für die Herstellung einer pumpfähigen Baggergutkonsistenz benötigt werden. Ziel ist es eine Klassieranlage, bestehend aus Hydrozyklonen, mit geeignetem Baggergut beschicken zu können. Dieser Punkt kann, je nach Verwertbarkeit des Baggergutes entfallen. Oft wird eine Entwässerung als unwirtschaftlich eingestuft.

<i>Tragfähigkeit</i>	<i>Abmessungen</i>	<i>Tiefgang</i>
<p>1.344 to entspricht umgerechnet 850 m<sup>3</sup> Baggergut (1,54 to/m<sup>3</sup>)</p>	<p>L = 71,0 m B = 10,5 m Laderaum: 58 m x 8 m x 3,5 m (1.600 m<sup>3</sup>)</p>	<p>max. 2,4 m</p>

**Tab. 7: Daten Schubleichter**

### 4.3 Überleitung an Land mittels Tauchpumpe

Die Problematik bei der Überleitung des Baggergutes an Land besteht darin, dass das Baggergut, falls eine Aufbereitung sinnvoll ist, in pumpfähiger Konsistenz zur Klassieranlage weiterzuleiten ist. Eine pumpfähige Baggergutsuspension kann durch die Beimengung von Wasser innerhalb der Schute erreicht werden. Um das Baggergut aus der Schute herausbefördern zu können, eignen sich besonders Tauchpumpen. Grundsätzlich unterscheidet man bei Tauchpumpen zwischen hydraulisch und elektrisch betriebenen Systemen. Die hydraulischen Pumpen können mit einem Hydraulikaggregat oder einem anderen hydraulischen Kreislaufsystem überall und jederzeit flexibel eingesetzt werden. Sie können ohne jeglichen Aufwand an das hydraulische Kreislaufsystem von einem Bagger, LKW oder Schiff angeschlossen werden. Besonders wichtig bei der Kopplung der Tauchpumpe an eine Baggerhydraulik ist die Zuführung der korrekten Ölmenge und des zulässigen Öldruckes. Abb. 24 zeigt eine Tauchpumpe der Firma Dragflow, die mit einem Hydraulikmotor ausgestattet ist.



**Abb. 24: Dragflow HY 85 A - Baggertauchpumpe (Fa. Dragflow)**

Je nach Konstruktion kann eine Tauchpumpe mittels Schnellwechsler, Adapter oder auch Anbauplatte an den Baggerausleger (Löffelstiel) angeschlossen werden.

Die Hauptaufgabe des mit Tauchpumpe ausgerüsteten Hydraulikbaggers ist es entlang des am Ufer befestigten vollbeladenen Schubleichters zu fahren und das Baggergut abzusaugen und weiterzuleiten. Die Weiterleitung des Baggergutes kann mittels am Ausleger befestigter Schläuche bzw. Leitungen durchgeführt werden. Die durch die Schläuche gepumpte Sedimentsuspension soll letztendlich oberhalb der Siebeinrichtungen der Klassieranlage ausgeleitet werden.

<b><i>Leistung</i></b>	<b><i>Besonderheiten</i></b>	<b><i>Trägergerät u. Ausrüstung</i></b>
62 kW (Pumpe) Förderhöhe: 23 m Kapazität: 420 m <sup>3</sup> /h	Material: Grauguss, Hartchrom Einsatzbereich: 0-50 °C Abmessungen: Anhang 2, Abb. 86	CAT M 322 D (130 kW) 15 m Leitungsschläuche

**Tab. 8: Daten baggergesteuerte Tauchpumpe**

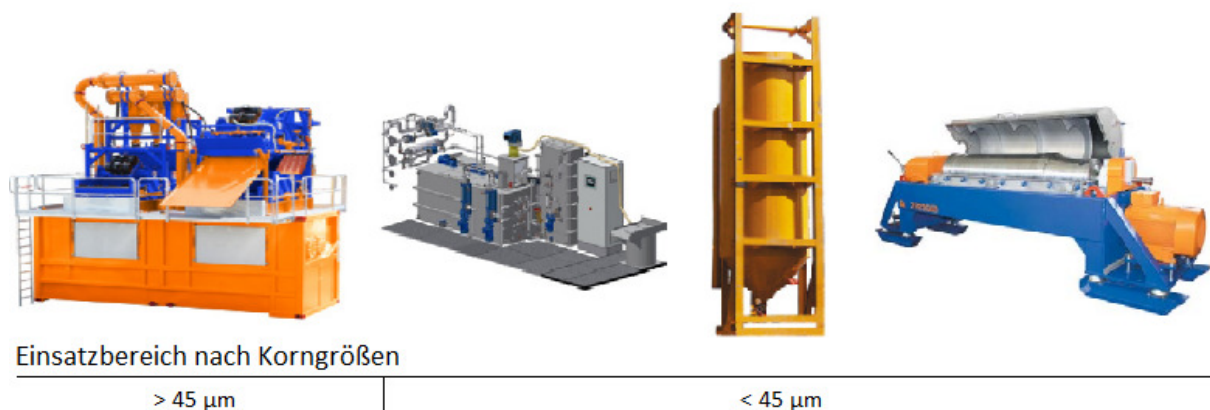
## 4.4 Aufbereitung

Eine Aufbereitung bzw. Behandlung des Baggergutes ist nur dann sinnvoll wenn Verbesserungen hinsichtlich der Verwertbarkeit zu erwarten sind. Die in dieser Arbeit untersuchten Aufbereitungsverfahren sind die Klassierung und Entwässerung des Baggergutes. Weiteres besteht die Möglichkeit eine Optimierung der Stoffeigenschaften durch die Anwendung von biologischen, thermischen und chemischen Verfahren.

Die Ziele der Aufbereitung sind:<sup>64</sup>

- Abtrennung der Grobfractionen, die als Baustoffe verwertet werden können
- Abtrennung der möglicherweise belasteten Feinfraktion
- Volumensreduzierung des Baggergutes (Feinfraktion) durch Entwässerung
- Verbesserung der bodenmechanischen Eigenschaften von Baggergut durch Entwässerung

Ob eine Aufbereitung sinnvoll ist, kann vor allem durch die Kenntnis von Kornverteilungslinien, die durch eine Sieb- oder Schlämmanalyse ermittelt wurden, geklärt werden. Im Kapitel 5 werden Kornverteilungslinien mehrere Standorte gezeigt und analysiert. In der Praxis werden die Bearbeitungsschritte Klassierung und Entwässerung sehr häufig miteinander gekoppelt und funktionieren als eine Einheit. Die für diese Arbeit bedeutenden Aufbereitungsanlagen finden hauptsächlich im Tunnelbau Anwendung. Speziell beim Hydroschildvortrieb muss die durch Bodenteile verunreinigte Bentonitsuspension separiert und gereinigt werden. Abb. 25 zeigt typische Aufbereitungsanlagen aus dem Tunnelbau bestehend aus einer Separationsanlage (Klassierung), einer Flockungsmittelstation, einem statischen Eindicker und einer Dekanterzentrifuge (Entwässerung).



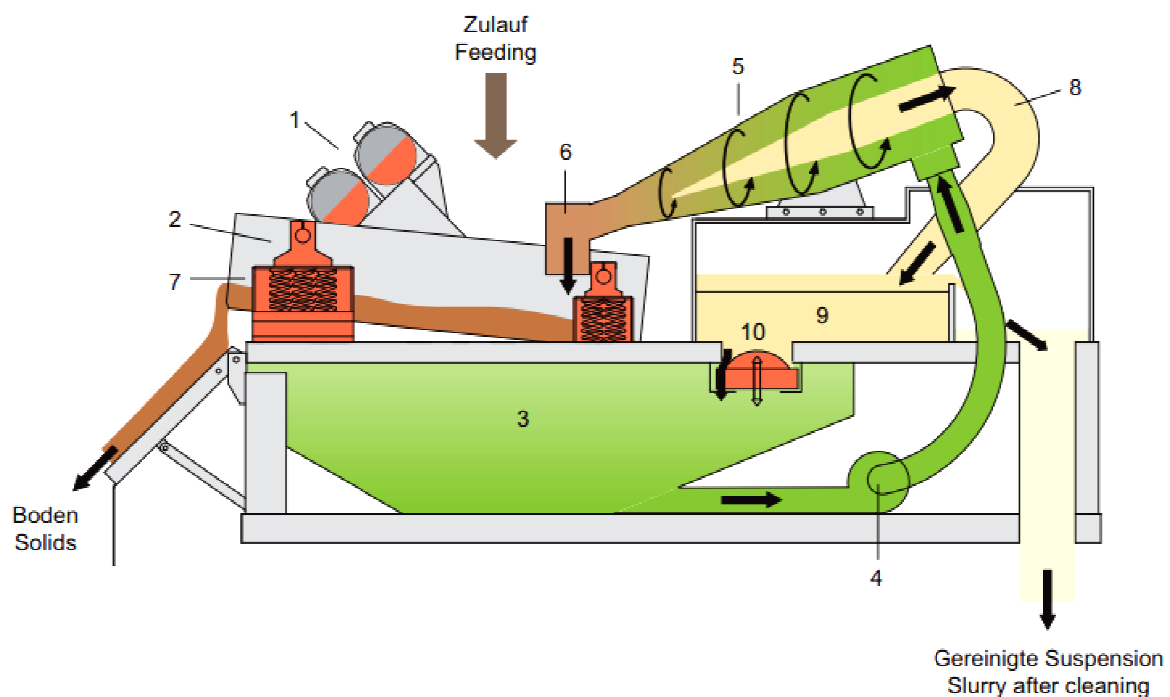
**Abb. 25: Separationstechnik aus dem Tunnelbau und Rohrvortrieb (Fa. ITE GmbH)**

<sup>64</sup> Vgl. HTG - Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste, 2006, S.6



#### 4.4.1 Klassierung/Separierung

Unter der Klassierung kann ein Verfahren zur Fraktionierung von Baggergut verstanden werden. Die Klassiertechnik ermöglicht eine Trennung des Baggergutes nach Korngrößen, die einerseits von der Spaltweite der Siebbeläge und andererseits von der Leistungsfähigkeit der Hydrozyklongruppen abhängig sind. Diese zwei genannten Merkmale sind auch zugleich die Hauptbestandteile einer sogenannten Separier- oder Entsandungsanlage. Da die Begriffe vor allem aus dem Tunnelbau, stammen, wo unter einer Separierung bzw. Entsandung eine Trennung der festen (Bodenteichen) von der flüssigen (Bentonitsuspension) Phase verstanden wird, findet in solch einer Anlage sowohl eine Klassierung als auch eine Entwässerung statt. Abb. 26 zeigt den Aufbau einer typischen Entsandungsanlage.



##### Standard-Entsandungssystem (Einfachzyklonierung)

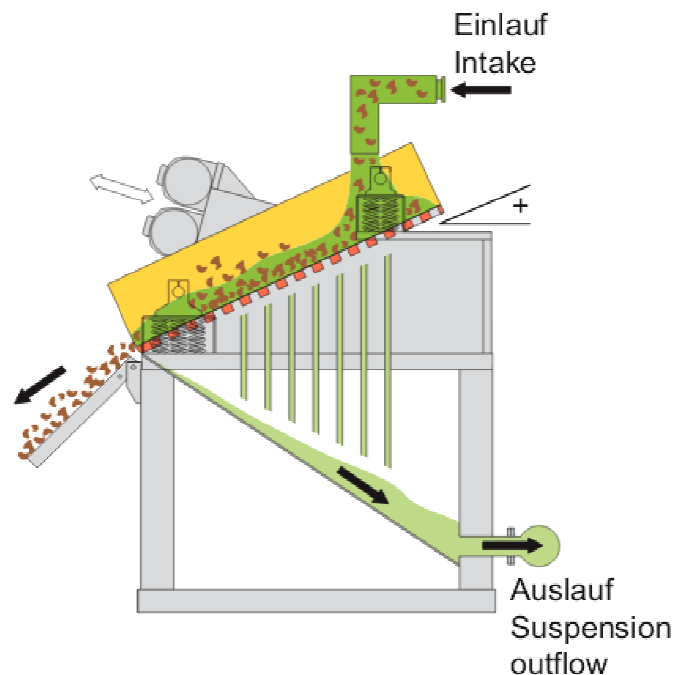
- 1 Rüttelmotoren
- 2 Grobsieb
- 3 Tank
- 4 Zyklonpumpe
- 5 Zyklon(e)
- 6 Zyklonunterlauf
- 7 Entwässerungssieb
- 8 Zyklonüberlauf
- 9 Ausgleichsbehälter
- 10 Niveauregulierung

##### Desanding system (one-stage cycloning)

- 1 Motors for vibrating screens
- 2 Coarse screen
- 3 Storage tank
- 4 Cyclone feeder pump
- 5 Cyclone unit(s)
- 6 Spigot
- 7 Dewatering screen
- 8 Cyclone overflow
- 9 Holding tank
- 10 Automatic level control

Abb. 26: Entsandungsanlage mit einer Zyklonstufe (Fa. Bauer)

Die mittels Tauchpumpe und Leitungsschläuchen geförderten Baggergutmassen werden im ersten Schritt auf den im Beschickerkasten befindlichen Grobsieb (2) verteilt. Dieser dient hauptsächlich als Vorabscheider von Kornfraktionen  $> 5$  mm. Sowohl die Grob- als auch Feinsiebe werden durch Rüttelmotoren (1) in Schwingungen, die linear oder kreisförmig eingeleitet werden können, versetzt. Zudem kann auch der Neigungswinkel der Siebe, der einen wesentlichen Einfluss auf die Förderkapazität und Trennleistung hat, verstellt werden. Je nach der vor Ort angetroffenen Korngröße und Baggerguteigenschaft können die Siebmaschinen mit unterschiedlichen Siebbelägen, die aus gewebten Stahl oder auch Polyurethan geformt werden, ausgerüstet werden.<sup>65</sup> Abb. 27 zeigt den Durchschlag aus dem Grobsieb, der in den Auffangtank (3) weitergeleitet wird.



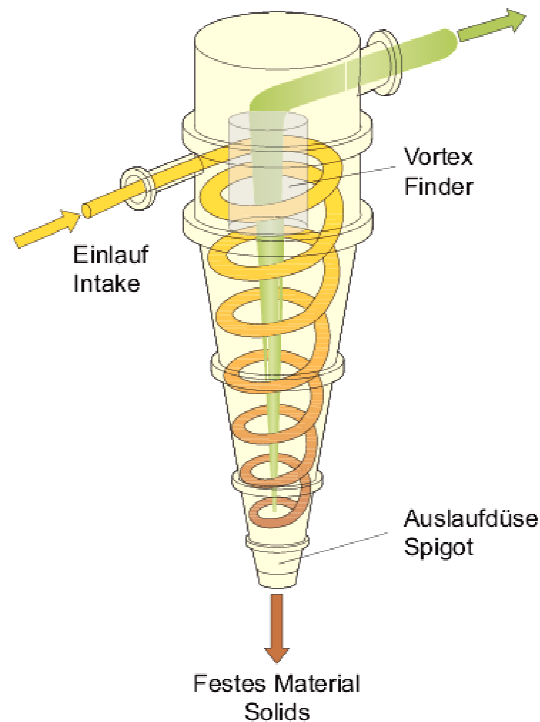
**Abb. 27: Grobsieb mit Rüttelmotor (Fa. Bauer)**

Die nun im Auffangtank eingeleitete Baggergutsuspension wird mit Hilfe einer Zyklonpumpe (4) angesaugt und mit einem Druck von 2 bis 3 bar in den Zyklon (5) gepumpt. Die dabei im Zyklon auftretenden Zentrifugalkräfte bewirken eine Trennung der Suspension in die am Unterlauf mit Feststoffen angereicherte und die am Überlauf (8) feststoffarme Suspension. Im Prinzip werden die schwereren Partikel durch hohe Fliehkräfte nach außen an den Zyklonmantel gedrückt und gelangen dann in einer radialen Abwärtsbewegung zum Zyklonunterlauf (6). Im inneren des Zyklons dagegen bildet sich wie in Abb. 28 gezeigt wird, eine noch oben gerichtete Strömung, verursacht durch die Verjüngung, die durch den Vortex-Finder entweicht. Hydrozyklone erfordern für eine gute Feinkornabtrennung kleine Durchmesser weil dadurch auch die nötig Zentrifugalbeschleunigung gewährleistet wird. Da

---

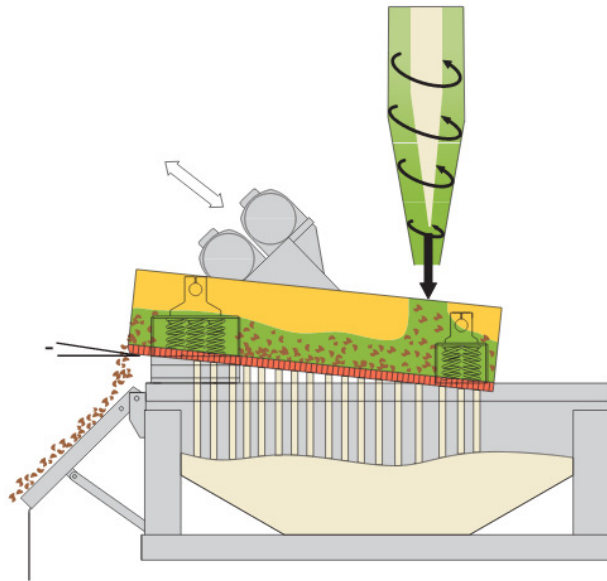
<sup>65</sup> <http://www.separation.de/de/referenzen/separationsloesungen-mineralische-schlaemme.html>

aber kleine Zyklondurchmesser die Durchsatzleistung reduzieren kann es hilfreich sein mehrere Kleinzyklone zu installieren. Der wichtige Zusammenhang zwischen dem zu trennenden Korndurchmesser, der Durchsatzleistung und dem Zyklondurchmesser wird in Abb. 87 im Anhang 2 gezeigt. Die Durchsatzleistung hängt von der Viskosität, Dichte, Feststoffaufladung und Kornverteilung der Suspension ab und bezieht sich meist auf den Wasserdurchsatz.



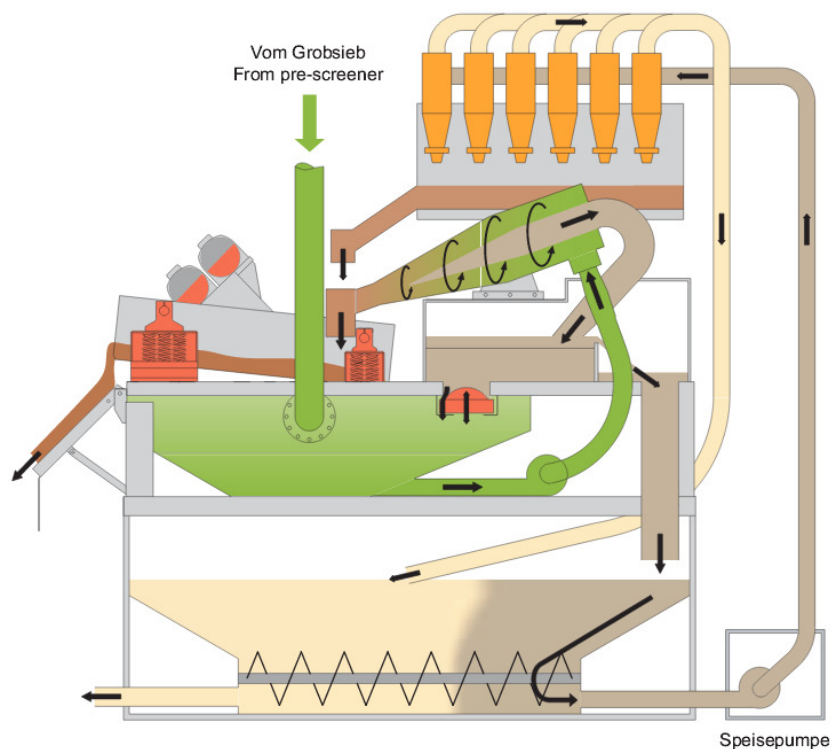
**Abb. 28: Hydrozyklon (Fa. Bauer)**

Die aus dem Zyklonunterlauf (6) austretende eingedickte Suspension (Abb. 29) fällt in der Folge auf den Entwässerungssieb, der mit Siebelägen mit Spaltweiten 0,4 bis 0,16 mm ausgerüstet ist, und wandert auf der aufwärts geneigten Siebfläche in einer Schwingbewegung zur Absturzrutsche. Bei der Trennung durch den Entwässerungssieb fallen geringen Suspensionsmenge wiederum in den Auffangtank (3) und können erneut den Zyklon (5) durchlaufen.



**Abb. 29: Entwässerungssieb (Fa. Bauer)**

Die aus dem Durchschlag des Entwässerungssiebes (7) und dem Zyklonüberlauf (8) in den Auffangtank strömende Suspension kann durch den Ausgleichstank (9) mit Niveauregulierung (10) gesteuert werden. Je nach Anteil der feinkörnigen Partikel und der Erfordernis eines höheren Reinigungsgrades kann die beim Ausgleichsbehälter überlaufende gereinigte Suspension eine weitere Zyklonstufe (Abb. 30) durchlaufen ehe sie dem nachgeschalteten statischen Eindicker zugeführt wird.



**Abb. 30: Doppelzyklonierung (Fa. Bauer)**

Hierbei ist eine weitere Pumpe notwendig um die aus dem Ausgleichbehälter abfließende Suspension der neuen Zyklongruppe zuzuführen. Je nach Hersteller und angewandter Zyklontechnologie variieren die möglichen Trennkorndurchmesser. Zu beachten bleibt jedoch, dass bei Angabe eines Trennschnittes (Korndurchmessers) stets der "d50"- Wert gemeint ist, welcher zumindest eine 50 prozentige Trennung dieses Durchmessers garantiert. Bei den meisten Separieranlagen kann mit einem Trennschnitt von 30 - 60  $\mu\text{m}$  gerechnet werden. Grundsätzlich können die Separieranlagen maßgeschneidert hergestellt werden, z.B. als Stahlrahmen mit den Außenabmessungen eines 20-Fuß-Containers (Abb. 31).



**Abb. 31: Separieranlage AKA SEP 400 (Fa. AKW)**

Die in der Abb. 31 dargestellte Anlage wurde für die Berechnungen in dieser Arbeit herangezogen. Wie am linken Bildrand ersichtlich ist, wird die aus der Schute abgesaugte Baggergutsuspension über eine Schlauchleitung dem Prall- und Verteilkasten zugeführt. Im weiteren Verlauf durchläuft die Suspension das Klassierdeck (Grobsieb) der Spezialsiebmaschine. Der Durchschlag des Klassierdecks wird aus dem Pumpenvorbehälter mit Hilfe einer Zentrifugalpumpe zur 10-teiligen Zyklongruppe gefördert. Zum Unterschied gegenüber anderen Anlagen besitzt diese Anlage eine einstufige Zyklonanlage mit Druckregelung im Zyklonüberlauf. Dadurch kann einerseits häufig auftretenden Druckverlusten entgegen gewirkt und der Austrag im Unterlauf besser gesteuert werden. Andererseits bewirkt der Entfall der zweiten Zyklongruppe und somit auch einer weiteren Beschickungspumpe eine Kosten-

einsparungen. Es kann sogar davon ausgegangen werden, dass durch die installierte Druckregelung der selbe Trenneffekt wie bei zweistufigen Anlagen im optimalen Betriebszustand erreicht wird. Nach Firmenangaben kann der Feststoffgehalt im Unterlauf konstant über 1.250 g/l bei Aufgabgehalten zwischen 50-500 g/l gehalten werden.<sup>66</sup>

Die eingedickte Suspension aus dem Zyklonunterlauf wird dem Entwässerungsdeck der Spezialsiebmaschine aufgegeben. Der Siebdurchschlag des Entwässerungsdecks wird wiederum in den Pumpenvorbehälter zurückgeführt während der Siebrückstand über eine Abwurfrutsche nach außen gelangt. Im letzten Schritt innerhalb der Anlage werden die Feinteilchen aus dem Zyklonüberlauf entnommen und über eine Schlauchleitung zum statischen Eindicker weitergeleitet.

<b>Leistung gesamt</b>	<b>Siebmaschine</b>	<b>Hydrozyklone</b>
<p>400 m<sup>3</sup>/h* (110 kW) Trübe aus Tauchpumpe</p> <p>* kann je nach Beschaffenheit der gepumpten Suspension wesentlich geringer ausfallen</p>	<p><u>Klassierdeck:</u> Trennschnitt 4 mm Belag: 5 x 1,6 m</p> <p><u>Entwässerungsdeck:</u> Polyurethanbelag, flexibel wechselbar Belag: 4,5 x 1,6 m</p> <p><u>Zubehör:</u> Prall- Verteilerkasten</p>	<p>10 Hydrozyklone KRS 3013</p> <p><u>Material:</u> Hochverschleißfester Polyurethan Durchmesser: 150 mm Durchsatz: max. (45 m<sup>3</sup>/h)/Stk.</p> <p><u>Besonderheit:</u> Fuzzy-Control-Regelung mit Möglichkeit der Fernüberwachung</p>

**Tab. 9: Daten Entsandungsanlage**

#### 4.4.2 Eindickung und Ausleitung des Restwassers

Wenn die Untersuchungen der Kornverteilungslinien des angetroffenen Baggergutes auf einen hohen Feinkornanteil (Schlammkorn, < 63 µm) hindeuten, kann eine weitere Trennstufe zur Anwendung kommen. Durch den Einsatz eines statischen Eindickers gepaart mit einer Flockungsmittelstation kann die aus der Separieranlage geführte Suspension weiter entwässert und eingedickt werden. Vor allem durch die Zugabe von Flockungshilfs- und Flockungsmitteln kann der Sedimentationsvorgang von sehr feinen Körnern verbessert und beschleunigt werden. Als Flockungsmittel werden Stoffe bezeichnet, die die abstoßende Ladung unter den Feinteilchen aufheben und somit zu einer Aggregation führen. Hingegen bei

<sup>66</sup> [http://six4.bauverlag.de/sixcms\\_4/sixcms\\_upload/media/293/38\\_43.pdf](http://six4.bauverlag.de/sixcms_4/sixcms_upload/media/293/38_43.pdf)

Flockungshilfsmitteln (FHM) handelt es sich oftmals um Makromoleküle (Polymere) die durch ihre gleichzeitige Bindung an mehreren Feinteilchen zu einer Vernetzung und damit einer Flockenvergrößerung führen.<sup>67</sup>

Durch Flockung sollen sehr feine, in Schwebelösung gehalten, Partikel zu Makroflocken zusammengeballt werden um somit die Sinkgeschwindigkeit zu erhöhen.<sup>68</sup> Als mögliche FHM werden bspw. bei der Trinkwasseraufbereitung, dem Kohleberg- und Erzbergbau Polyacryamide und Polyacrylate genannt.<sup>69</sup> Die als FHM verwendeten festen (Granulat) oder flüssigen (Emulsion) Polymere können ihre Wirkung beim Flockungsprozess nur in einer stark verdünnten wässrigen Lösung, die im Rührwerk der Flockungsmittelanlage erzeugt wird, entfalten. Nach dem Lösen der Polymere schließt sich eine von der Wassertemperatur und -härte, Rührgeschwindigkeit und Viskosität abhängige Reifezeit (ca. 60 Minuten) der Lösung an. Die Konzentration der Stammlösung ist vom Polymertyp abhängig und kann bis max. 10 g/l (1 % Polymergehalt) betragen. Kurz vor dem Vermischen des Polymers mit der Baggergutsuspension ist noch eine weitere Verdünnung für die Erzeugung der Gebrauchslösung(max. 0,2 % Polymergehalt) erforderlich.<sup>70</sup>

Folgende Schritte bzw. Prozesse sind bei der Flockung mit Polymeren zu beachten:<sup>71</sup>

1. Lagern von festen Granulat bzw. flüssiger Emulsion
2. Erzeugen einer Stammlösung mit 5 -10 g/l Polymer (7 Tage haltbar)
3. Erzeugen einer Gebrauchslösung mit 0,1 - 2 g/l Polymer (1 Tag haltbar)
4. Mischen unter einer Polymerzugabe von 0,2 - 2 mg pro Liter Suspension (Baggergut)
5. Flockenbildung nach 3 -120 Sekunden
6. Fest-Flüssig-Trennung durch Sedimentieren, Filtrieren oder Zentrifugieren

Für die Auswahl eines FHM gibt es keine allgemein gültigen Regeln. Es wird auf die Auswahlempfehlungen der Hersteller verwiesen, welche durch eine Vielzahl von Testversuchen statistisch gesichert sind.<sup>72</sup> Ein geeignetes Polymer mit der richtigen Dosierung kann am besten durch Versuche ermittelt werden. Der Polymerverbrauch wird sehr häufig als Menge der 100 prozentigen Wirksubstanz (Polymer) bezogen auf eine Tonne Trockensubstanz (Feststoff) ausgedrückt. So wird bspw. bei der maschinellen Eindickung von Klärschlamm der

---

<sup>67</sup> Vgl. LUCKERT, Klaus: Handbuch der mechanischen Fest-Flüssig-Trennung, 2004, S.72

<sup>68</sup> Vgl. LEHNER, J.: HTL-Wels - Mechanisches Trennen, S.8

<sup>69</sup> Vgl. LUCKERT, Klaus: Handbuch der mechanischen Fest-Flüssig-Trennung, 2004, S.95

<sup>70</sup> Vgl. LUCKERT, Klaus: Handbuch der mechanischen Fest-Flüssig-Trennung, 2004, S.91

<sup>71</sup> Vgl. LUCKERT, Klaus: Handbuch der mechanischen Fest-Flüssig-Trennung, 2004, S.92

<sup>72</sup> <http://www.filterpressen.net/Verfahrenstechnik/Konditionierung.htm#Polymer>

FHM-Verbrauch mit 4 - 8 kg/to TS angesetzt.<sup>73</sup> Im Fall einer speziellen Entwässerung von Baggergut mittels an Land verlegter Schläuche konnte ein Polymerverbrauch von 0,74 kg/to TS festgestellt werden.<sup>74</sup>

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Entwässerung von Baggergut mit statischen Eindickern und Dekanterzentrifugen unter Zugabe von FHM ist die Ausleitung des Restwasser in den Vorfluter. In der Regel besitzen die FHM, die bei der Baggergutentwässerung angewendet werden, eine Trinkwasserzulassung, sodass das Restwasser (Filtrat) problemlos in den Vorfluter eingeleitet werden kann.<sup>75</sup> Im speziellen Fall der der vorhin genannten Schlauchentwässerung wurde ein FHM mit einer Zulassung für die Abwasseraufbereitung gewählt, weshalb eine Einleitung des Filtrats extern überwacht werden musste.

Unabhängig vom FHM und dessen Eigenschaften hinsichtlich der Zulassung zur Einleitung in den Vorfluter ist jede Direkteinleitung eines Abwassers in ein Oberflächengewässer erlaubnispflichtig. Als Abwasser ist vor allem das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändertes Wasser zu verstehen.<sup>76</sup> Gemäß § 54 WHG müssen für die Erlaubnisfähigkeit einer Abwassereinleitung unter Anderem folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die Menge und Schädlichkeit des Abwassers müssen durch Verfahren nach dem Stand der Technik minimiert werden.
- Die Einleitung muss mit den Anforderungen an die Gewässereigenschaften und sonstigen rechtlichen Anforderungen vereinbar sein.

Hinsichtlich dem Stand der Technik sind in der Abwasserverordnung (AbwV) Anforderungen für insgesamt 52 Herkunftsbereiche des Abwassers (Industrie- und Gewerbebranchen) definiert. Hier wird vor allem auf innerbetriebliche Maßnahmen und Emissionsstandards eingegangen. Hingegen bei den Anforderungen an die Gewässereigenschaften handelt es sich um eine Immissionsbetrachtung. Dies erfordert eine Prognose der Auswirkungen der Abwassereinleitung auf die Gewässerbeschaffenheit und eine Bewertung anhand der im Einzelfall relevanten Kriterien. Anforderungen können bspw. an den pH-Wert, die Abwassertemperatur, die Lichtverhältnisse (Trübung, Färbung) und die Gewässerqualität (CSB, BSB5, usw.) gestellt werden.<sup>77</sup> Des Weiteren unterliegt die Direkteinleitung der Überwachung durch die

---

<sup>73</sup> Vgl. FREY, Wilhelm: TU-Wien - 3. Workshop Schlammbehandlung, 2000, S.13

<sup>74</sup> Vgl. CANTRE, Stefan: Wasser und Abfall - 3 Ausgabe, 2011, S.27

<sup>75</sup> Vgl. CANTRE, Stefan: Wasser und Abfall - 3 Ausgabe 2011, 2011, S.24

<sup>76</sup> Vgl. § 54 Abs.1 Wasserhaushaltsgesetz (WHG - Deutschland)

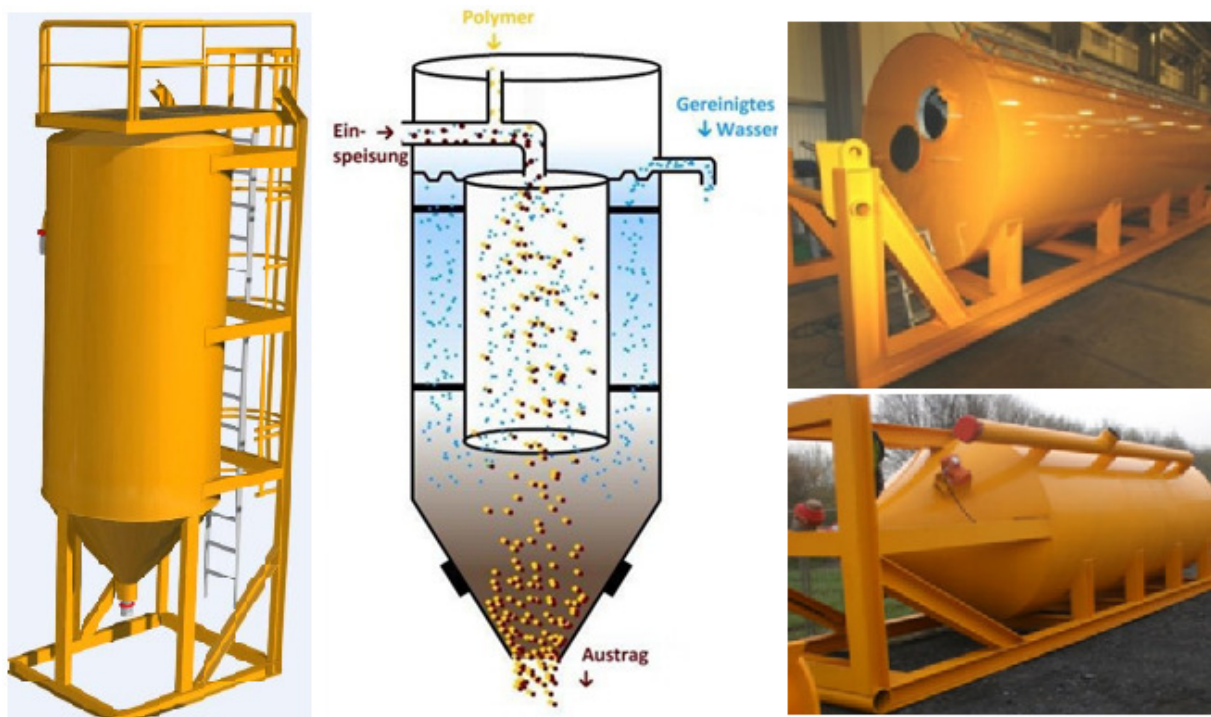
<sup>77</sup> Vgl. LfU Bayern - Abwassereinleitung aus Industrie und Gewerbe, 2012, S.12



Gewässeraufsicht. Daneben besteht eine Verpflichtung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen in ein Gewässer bzw. in eine Abwasseranlage.<sup>78</sup>

Abb. 32 zeigt einen Vertikalklär tank, der als statischer Eindicker dient, mit einer im oberen Bereich des Tanks befindlichen Ausleitungsstelle für das Restwasser. Das an dieser Stelle ausströmende gereinigte Wasser kann durch angeschlossene Schlauchleitungen in den Vorfluter weitergeführt werden.

Es ist aber zweckmäßig, solange der Aufbereitungskreislauf im Gange ist, das aus dem Klär tank strömende Wasser im Umlauf zu halten und in den Schubleichter weiterzuleiten. Letztendlich kann angenommen werden, das stets neue Wassermengen für die Pump- und Separierprozesse benötigt werden.



**Abb. 32: Vertikalklär tank VC 2500 (Fa. ITE GmbH)**

Die Funktionsweise des Klär tanks wird in Abb. 32 verdeutlicht. Im Prinzip wird die aus dem Überlauf der Separieranlage ausgeschiedene Baggergutsuspension im oberen Bereich des Klär tanks eingespeist. Während die Suspension konstant in den Tank strömt, wird die in der Flockungsmittelanlage vorbereitete Polymer-Gebrauchslösung in bestimmten Zeitabständen zudosiert. Im inneren abgetrennten Bereich des Tanks bündeln sich die feinen Partikel zu größeren Makroflocken und sinken in den unteren Konusbereich. Die dabei abgeschiedene Flüssigkeit steigt in den oberen Bereich des Tanks und läuft dort über eine Schwelle ent-

<sup>78</sup> Vgl. LfU Bayern - Abwassereinleitung aus Industrie und Gewerbe, 2012, S.7

der in den Vorfluter oder wird in den Schubleichter eingeleitet. Der sedimentierte Schlamm wird durch einen Auslass an der Unterseite des Klärtanks ausgetragen und kann anschließend über eine weitere Pumpe der Dekanterzentrifuge zugeführt werden.

Zur Verankerung des Klärtanks mit dem Untergrund sind Befestigungspratzen vorgesehen. Ebenso ist der Tank mit einer fest installierten Leiter ausgestattet. Um den möglichen Verstopfungen im Konusbereich und an der Austragsöffnung entgegenzuwirken sind zwei Vibrationsmotoren am äußeren Tankmantel angebracht.

<b>Leistung gesamt</b>	<b>Dimensionen</b>	<b>Ausrüstung</b>
<p>160 m<sup>3</sup>/h* (33 kW) Trübe aus Zyklonüberlauf</p> <p>* Ausgetragener Schlamm mit eine Trockensubstanz (TS) von 12 % (Annahme)</p>	<p><u>Gewicht:</u> 9 to (leer)</p> <p><u>Abmessungen:</u> H = 9,40 m L = 2,70 m B = 2,40 m D = 2,50 m</p> <p><u>Fassungsvermögen:</u> ca. 27 m<sup>3</sup></p>	<p><u>Vibrationsmotoren:</u> 2 Stk. mit je 0,75 kW</p> <p><u>Pumpe:</u> Kreispumpe Drehzahl = 1.450 U/min Leistung = 22 kW</p>

**Tab. 10: Daten Vertikalklär tank**

Abb. 33 zeigt eine für die Herstellung und Dosierung der Polymerlösung notwendige Flockungsmittelanlage.



**Abb. 33: Flockungsmittelanlage MiniFlock (Fa. ITE GmbH)**

Die Anlage ist ein modulares, in einen 10-Fuß-Container gefasstes Kompaktsystem. Für die Aufbereitung der Polymerlösung steht ein 2.000-Liter-Tankbehälter mit Rührwerk zur Verfügung. Wie in Abbildung 33 zusehen ist, verfügt der Container über eine Zulauf-, Polymer- und Überlaufleitung. Das pulverförmige Polymer kann mit Hilfe eines Saugförderers mit Schlauch in den Tank geleitet werden um anschließend mit aus dem Wasserversorgungsnetz stammenden Wasser vermischt zu werden. Ein Eintritt der Polymerlösung in das Wassernetz kann durch die mit Rückflussverhinderer und Rückspül-Schutzfilter aufgerüstete Wasserstation ausgeschlossen werden. Ebenso verfügt die Anlage über die wichtige Dosierpumpe, die die im Tank hergestellte Gebrauchslösung regelt und zur Impfstelle weiterleitet. Der Problematik der Flockung bei niedriger Wassertemperatur wird mit einem am Tank angebrachten Heizkörper begegnet. Alle elektrischen Anlagenkomponenten sind mit einem Steuerschrank verbunden und können von dort bedient werden. Zur lieferbaren Grundausrüstung der Anlage gehört auch eine Fernsteuerung zur Einstellung der Fördermenge und zur Notaus-Abschaltung im nahen Umkreis.<sup>79</sup>

<b>Leistung gesamt</b>	<b>Dimensionen</b>	<b>Ausrüstung</b>
<u>Produktmenge:</u> 2.000* l/h (6 kW)  * Gebrauchslösung	<u>Gewicht:</u> 1,9 to  <u>Abmessungen:</u> H = 2,59m L = 3,03 m B = 2,44 m	<u>Anschlüsse:</u> Zulauf-, Polymer- und Überlauf- leitung DN 50  <u>Dosierpumpe:</u> Exzentrerschneckenpumpe Drehzahl einstellbar = max. 303 U/min, max. 3.000 l/h  <u>Rührwerk:</u> Rotor D = 50 cm Drehzahl = 341 U/min

**Tab. 11: Daten Flockungsstation**

#### 4.4.3 Entwässerung

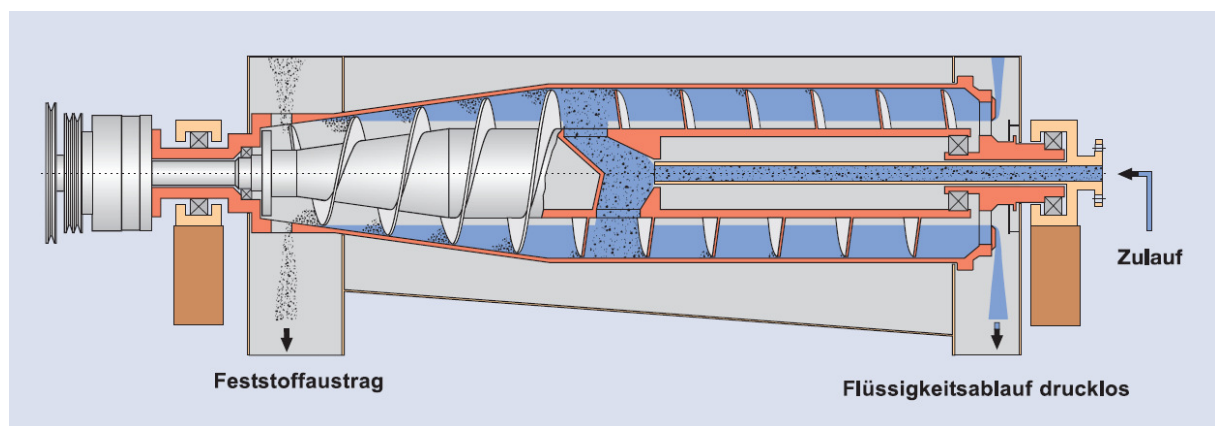
Als letztes Glied in der Kette der Aufbereitungsgeräte, ermöglichen die aus dem Tunnelbau bekannten Dekanter eine sehr effiziente Lösung bei der Fest-Flüssig-Trennung. Die Effizienz dieser Geräte wird vor Allem durch den vorgeschalteten statischen Eindicker und die Flockungsmittelstation, die die Feststoffkonzentration erhöhen, gesteigert.<sup>80</sup> Im Fall dieser Arbeit soll unter einem Dekanter eine Schneckenzenrifuge verstanden werden, die unter Ausnut-

<sup>79</sup> [http://www.separation.de/pdf/Datenblatt\\_ITE\\_MiniFlock\\_Version1\\_3.pdf](http://www.separation.de/pdf/Datenblatt_ITE_MiniFlock_Version1_3.pdf)

<sup>80</sup> [http://www.separation.de/pdf/Datenblatt\\_ITE\\_Vertikalkl%C3%A4rtank\\_VC2500\\_Version1\\_3.pdf](http://www.separation.de/pdf/Datenblatt_ITE_Vertikalkl%C3%A4rtank_VC2500_Version1_3.pdf)

zung der Zentrifugalkraft, sowie der Dichteunterschiede der einzelnen Phasen (Fest-Flüssig) für die Trennung von 2-Phasengemischen eingesetzt wird.<sup>81</sup>

Die aus dem statischen Eindicker gepumpte Suspension wird über eine Schlauchleitung durch das zentral angeordnete Einlaufrohr in die Einlaufkammer einer rotierenden Förderschnecke weitergeleitet. Durch Öffnungen in der Schnecke am Ende des zylindrischen Bereiches tritt die Suspension in den Separationsraum der Trommel ein und wird dort auf Betriebsdrehzahl beschleunigt. Durch Einwirkung der sehr hohen Zentrifugalbeschleunigung setzen sich die schwereren geflockten Feststoffteilchen an der Trommelwand ab und werden durch die Förderschnecke entlang der Trommel und dann über einen sich verjüngenden Konus ausgetragen. Der entwässerte Feststoff tritt letztendlich durch in der Trommel befindliche Öffnungen in einer separaten Kammer aus und kann von dort über eine Abwurfrutsche in bspw. einen bereitgestellten Container zwischengelagert werden.



**Abb. 34: Aufbau eines Dekanters (Fa. Flottweg)**

Währenddessen bildet die leichtere Flüssigkeit einen Ring über den abgesetzten Feststoffen. Die Höhe der Flüssigkeit wird durch die am Ende des zylindrischen Bereiches verstellbare ringförmige Wehrscheibe, über welche die getrennte Flüssigkeit abfließt und aus dem Dekanter gelangt, bestimmt.<sup>82</sup>

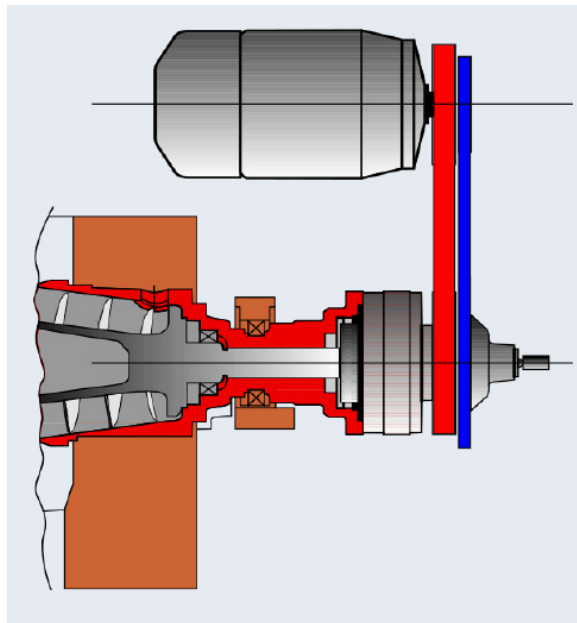
Die Funktionsweise eines Dekanters wird im Wesentlichen durch die sogenannte Differenzdrehzahl bestimmt. Ein Förderung der Feststoffe durch die Schnecke ist nur dann möglich, wenn die Schnecke sich mit einer von der Trommel verschiedenen Drehgeschwindigkeit bewegt. Die Differenzdrehzahl, die durch das Getriebe erzeugt wird, ist für die Verweilzeit und für die Pressung des Feststoffes im Dekanter verantwortlich. Bei der Anschaffung eines Dekanters ist eine variabel einstellbare Differenzdrehzahl zu bevorzugen, da sich durch verän-

<sup>81</sup> <http://www.keysers-lehr.de/verfahrenstechnik.php>

<sup>82</sup> Vgl. DWA-Regelwerk - Merkblatt DWA-M 366 - Maschinelle Schlammwässerung, 2013, S.20

derte Suspensionseigenschaften im Zulauf, die Gegebenheiten verändern und dadurch so der Trockenstoffgehalt des Feststoffes optimiert werden kann.<sup>83</sup>

Die Differenzdrehzahl wird in Anhängigkeit vom Schneckendrehmoment gesteuert. Eine Erhöhung der Feststoffbelastung in der Schnecke führt zwangsläufig auch zu einer Erhöhung des Schneckendrehmoments. Dies wiederum würde bei gleichbleibender und nicht automatisch erhöhbarer Differenzdrehzahl zu einer Verstopfung in der Zentrifuge und somit zum Stillstand führen. Im Gegensatz dazu sollte die Differenzdrehzahl bei geringerer Feststoffbelastung gesenkt werden um die Verweilzeit der Feststoffe in der Anlage zu verlängern. Am Zentrifugenmarkt werden einige Antriebskonzepte, die mehr oder weniger die Problematik der Differenzdrehzahl lösen, angeboten. Als sehr einfache Variante gilt der elektrische Trommelantrieb mit Frequenzumrichter (Abb. 35).<sup>84</sup>



**Abb. 35: Trommelantrieb mit Frequenzumrichter**

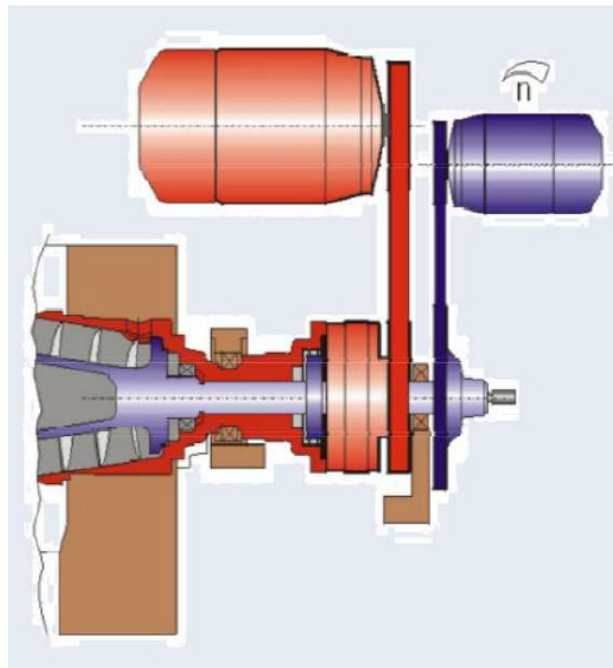
Durch den Frequenzumrichter ist die Trommeldrehzahl während des Betriebs stufenlos regelbar. Hierbei wird die vom Elektromotor erzeugte Drehbewegung über den roten Keilriemen auf die Welle der Trommel übertragen. Der blaue Keilriemen dagegen treibt den Antriebszapfen des Umlaufgetriebes an und erzeugt dadurch die Schneckendifferenzdrehzahl. Bei diesem Konzept ist die Änderung der Differenzdrehzahl nur im Stillsand der Anlage durch den Tausch von Keilriemenscheiben möglich.

---

<sup>83</sup> <http://www.flottweg.de/germany/features/differenzdrehzahl/differenzdrehzahl-.html>

<sup>84</sup> [http://www.polydrive.ch/dlCenter/pd/2009\\_1/PD0109\\_S11\\_13.pdf](http://www.polydrive.ch/dlCenter/pd/2009_1/PD0109_S11_13.pdf)

Als Gegenstück zum einfachen Trommelantrieb gibt es auch Ausführungen, bei denen der Trommel- und Schneckenantrieb energetisch und steuertechnisch voneinander völlig unabhängig arbeiten (Abb. 36). Es wird die Differenzdrehzahl unabhängig von der Trommeldrehzahl erzeugt. Die Regelung der Differenzdrehzahl erfolgt elektronisch gesteuert unter Verwendung des vom Schnecken-Frequenzumtrichters ermittelten Drehmomentwertes der Schnecke.



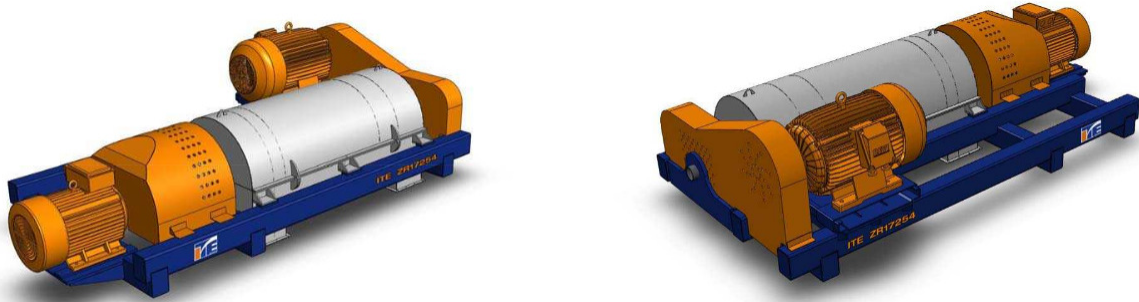
**Abb. 36: Simp-Drive® - Antrieb (Fa. Flottweg)**

Um den Feststoffaustrag zu steigern bietet sich die Möglichkeit einer weiteren Zudosierung von Flockungshilfsmittel vor der Zentrifuge. Zu beachten bleibt jedoch, dass entstanden Flocken bei sehr hohen Zentrifugalkräften innerhalb der Trommel durch Scherspannungen zerstört werden können.<sup>85</sup>

Für die Berechnungen in dieser Arbeit wurde die Dekanterzentrifuge ZR17254 der Firma ITE GmbH gewählt (Abb. 37). Bei dieser Anlage kann die Trommel- bzw. Schneckendrehzahl abhängig von den Suspensionseigenschaften optimal eingestellt werden. Zudem verfügt der Dekanter über ein Überwachungssystem, welches mit Temperatursensoren und Schwingungsschaltern ausgestattet ist um so kritische Betriebszustände kontrollieren zu können.

---

<sup>85</sup> Vgl. DWA-Regelwerk - Merkblatt DWA-M 366 - Maschinelle Schlammwässerung, 2013, S.21



**Abb. 37: Dekanterzentrifuge ZR17254 (Fa. ITE GmbH)**

Angepasst an die verschiedenen Anforderungen auf Baustellen kann der Dekanter als teleskopierbarer Zentrifugenstand (Abb. 38) oder auch als Kompakter 20-Fuß-Rahmen geliefert werden. Besonders beim teleskopierbaren Zentrifugenstand bietet sich die Möglichkeit einen Sammelcontainer unter die Zentrifuge zu stellen um somit die über die Abwurfrutsche fallenden entwässerten Baggergutmassen aufzunehmen.<sup>86</sup>

Die beim Zentrifugieren abgetrennte Flüssigkeit kann über Schlauchleitungen zum Schubleichter gepumpt werden. Die Problematik des Verklebens der entwässerten Massen auf der Abwurfrutsche ist durch die Anbringung eines Rüttelmotors an der Rutsche problemlos lösbar.



**Abb. 38: Zentrifugenstand (Fa. ITE GmbH)**

---

<sup>86</sup> <http://www.separation.de/de/produkte/dekanter-tunnelbau-zr17254.html>

<b>Leistung gesamt</b>	<b>Dimensionen</b>	<b>Ausrüstung</b>
100 m <sup>3</sup> /h* (170 kW) <u>Feststoffaustrag:</u> 16-25 to/h (inkl. Restfeuchte)  * ist von Suspensionseigen- schaften (Viskosität, Dichte, usw.) abhängig	<u>Trommel:</u> D = 536 mm L = 1.722 mm  <u>Transportabmessungen:</u> H = 1,40 m L = 4,40m B = 2,15 m Gewicht = 4,90 to	<u>Trommel:</u> Drehzahl = 3.200 U/min Beschleunigung = 3.000 g Motor = 110 kW  <u>Schnecke:</u> Motor = 55 kW Differenzdrehzahl = 0-60 rpm Drehmoment = 12 kNm

Tab. 12: Daten Dekanterzentrifuge

#### 4.4.4 Transportgerät

Abhängig vom Verwertungszweck, muss das aus der Separieranlage und der Dekanterzentrifuge stammende Baggergut geladen und verfahren werden. Gegebenenfalls müssen die Baggergutmassen auch auf weit entfernten Deponien beseitigt werden. Der Transport von Baggergut kann letztendlich auch als Schlüsselfaktor bei den Wirtschaftlichkeitsüberlegungen gesehen werden. Deshalb wird in dieser Arbeit eine Reduzierung der Transportkosten durch die Senkung der Wassermassen im Baggergut angestrebt. Gleichzeitig darf es zu keinen Austritten beim Transport der schlammigen und feuchten Baggergutmassen kommen.

Für den Transport von schlammigen Materialien eignen sich u.a. Sattelzüge. Bevor jedoch ein Transportfahrzeug gewählt wird, müssen verkehrsrechtliche Fragen geklärt werden. Zum Einen wird die Gesamtsattelzuglänge durch die EU-Richtlinie 96/53 EG mit maximal 16,5 m festgelegt. Andererseits darf das zulässige Gesamtgewicht eines Sattelzuges mit 5 oder 6 Achsen die Vorgabe von 40 Tonnen nicht überschreiten. Auch bei der Berechnung des zul. Gesamtgewichtes ist eine Besonderheit zu beachten. Dieses errechnet sich nämlich als Summe der zul. Gesamtgewichte der Zugmaschine und des Sattels abzüglich der wirksamen Sattellast.<sup>87</sup> Unter der Sattellast oder Stützlast ist der höhere Wert entweder der zul. Sattellast des Sattelzugfahrzeuges oder der zul. Aufliegebelast des Sattelanhängers zu verstehen.<sup>88</sup>

<sup>87</sup> <http://rollerreiner.org/EU%20Sattel-%20und%20Gliederzug.htm>

<sup>88</sup> Vgl. BMVIT - Höchstzulässiges Gesamtgewicht von Sattelfahrzeugen, 2009, S.2



Abb. 38 zeigt einen 2-Achs-Hinterkipper-Sattelaufleger.<sup>89</sup> Der Sattel verfügt über eine Rollplane zur Abdeckung der Mulde, die eine Anreicherung des Ladeinhalts mit Regenwasser verhindern soll.



**Abb. 39: Sattelaufleger (Fa. Meiller)**

Ebenso ist um die verriegelbare Pendelklappe eine umlaufende Gummidichtung angebracht, wodurch es zu keinem Austritt von wasserreichem Schlamm während des Transports kommen kann. Ein ausführliche Beschreibung des Sattels ist in Abb. 88 im Anhang 2 zu finden.

Als Zugmaschine wird der 2-Achser TGS 18.480 mit Allradantrieb gewählt (Abb. 40). Dieses Fahrzeug kann bis zu einem zulässigen Gesamtgewicht von 19 Tonnen belastet werden.



**Abb. 40: Zugmaschine TGS 18.480 mit Hinterkipper (Fa. MAN)**

Die genauen Abmessungen der Zugmaschine werden in Abb. 89 im Anhang 2 verdeutlicht.

---

<sup>89</sup> Vgl. MEILLER Kipper - Technische Daten Kippsattelanhänger (2-Achser), S.12

<b>Zugmaschine</b>	<b>Sattel</b>	<b>zul. Gewicht Sattelzug</b>
<p>353 kW (480 PS), Allradantrieb (4x4), Dieselmotor</p> <p><u>Lasten:</u> Gewicht. = 7,65 to Nutzlast = 11,35 to Zul. Gewicht = 7,65 + 11,35 to = 19,0 to</p>	<p><u>Abmessungen:</u> Abb. 89 im Anhang 2</p> <p><u>Volumen Mulde:</u> ca. 23 m<sup>3</sup> (effektiv)</p> <p><u>Lasten:</u> zul. Ges.gew. = 33,0 to Sattellast = 15,0 to Eigengewicht = 4,65 to</p>	<p>19,0 to + 33,0 to - 15 to = 37,0 to Dieser Sattelzug darf ein max. Gesamtgewicht von 37 to haben ( &lt; 40 to ) Die Ladung des Sattels darf max. 24,70 to betragen</p>

**Tab. 13: Daten Sattelzug**

#### 4.4.5 Ladegerät

Maßgebender Faktor bei der Wahl des geeigneten Radladers ist die überschüttbare Höhe, die aus Abb. 90 in Anhang 2 entnommen werden kann. Dabei ist die in Abb. 88 aus Anhang 2 angegebene Ladekantenhöhe des Hinterkippers im unbeladenen Zustand zu berücksichtigen. Da der Radlader universell einsetzbar ist, können abgesehen von der Ladetätigkeit sämtliche andere Arbeiten ausgeführt werden. Als Alternativlösung zum Radlader könnte ein Radbagger gewählt werden. Entsprechend der Konsistenz des aus der Zentrifuge kommenden Baggerguts könnte das Aufstellen eines Containers für die Aufnahme der fließfähigen Massen zweckmäßig sein. In diesem Fall wäre der Einsatz eines Radbaggers als Ladegerät zu empfehlen.

Als geeignetes Gerät für das Aufnehmen der aus der Separier- und Entwässerungsanlage stammenden Baggergutmassen wird daher der Radlader L 524 eingestuft (Abb. 41).



**Abb. 41: Radlader L 524 (Fa. Liebherr)**

<i>Leistung</i>	<i>Abmessungen</i>
80 kW, Schaufel = 1,8 m <sup>3</sup> Leistung = ca. 120 m <sup>3</sup> /h (feuchte Masse)	<u>Abmessungen:</u> siehe Abb. 90 im Anhang 2 <u>Gewicht:</u> 10,8 to (betankt)

Tab. 14: Daten Radlader

## 5. Körnungslinien

Die Kenntnis über die Kornverteilung des Baggergutes kann als eine wichtige Information bei der Auswahl der Aufbereitungstechnik angesehen werden. Wie im Kapitel 4.4.1 erwähnt wurde, liegt der Trennschnitt der Separieranlagen bei 30 - 60 µm. Bei sehr feinteilreichem Baggergut kann auf den Einsatz einer Separieranlage verzichtet werden. In diesem Fall wäre die Aufstellung einer Einheit, bestehend aus Eindicker und Zentrifuge, wesentlich sinnvoller. Bei feinteilarmen Baggergut hingegen wäre der alleinige Einsatz von Separieranlagen zu empfehlen. Auch bei der Auswahl der Siebbeläge der Separieranlage sollten im Vorfeld genaue Untersuchungen an den Kornverteilungslinien durchgeführt werden.

Zusätzlich bleibt zu beachten, dass eine Verwertung des Baggergutes an Land durch die LAGA-Bestimmungen geregelt wird. Demzufolge kann nur Baggergut mit weniger als 10 % Feinanteil (< 63 µm) verwertet werden. Somit können die an Land verwertbaren Baggergut-mengen anhand der Körnungsverteilung abgeschätzt werden.

Einen groben Überblick über die möglichen Kornverteilungen der Anlandungsmassen von verschiedenen Gewässersystemen kann man sich mit Hilfe der Abb. 42 verschaffen. In den nachfolgenden Kapiteln werden Kornverteilungen bestimmter Baggergutproben erläutert.

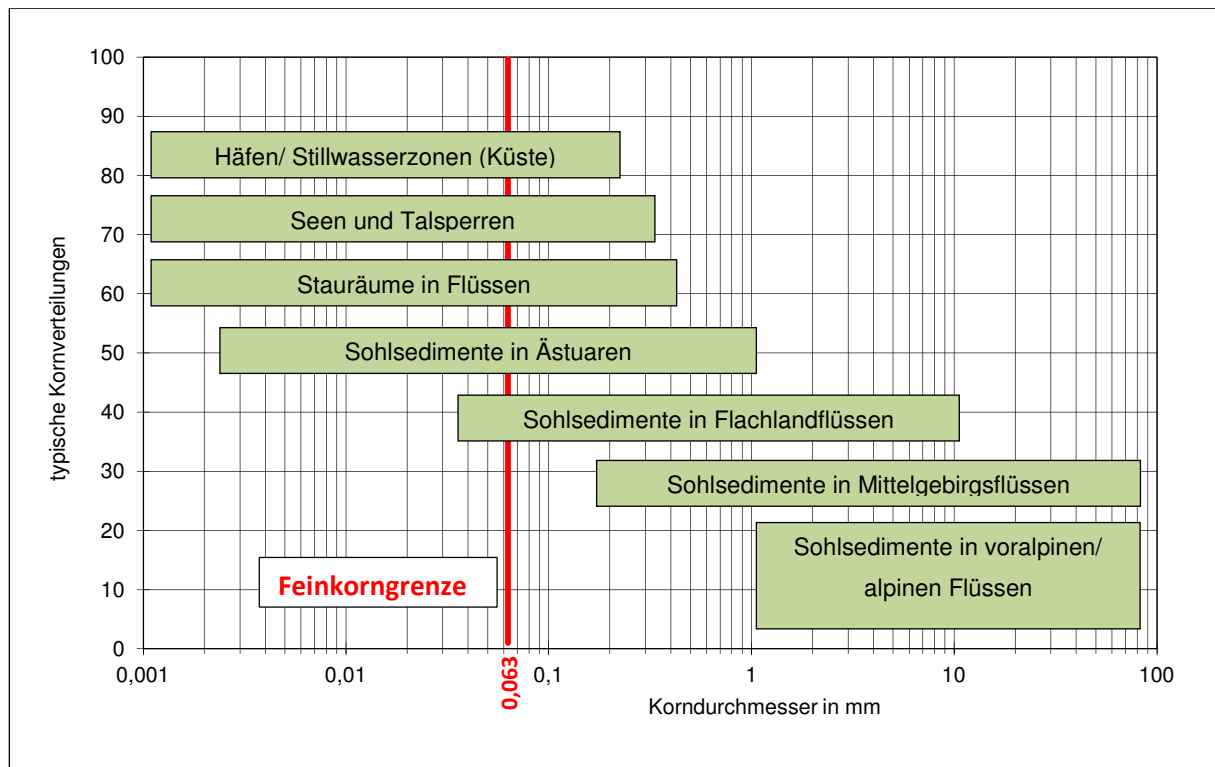


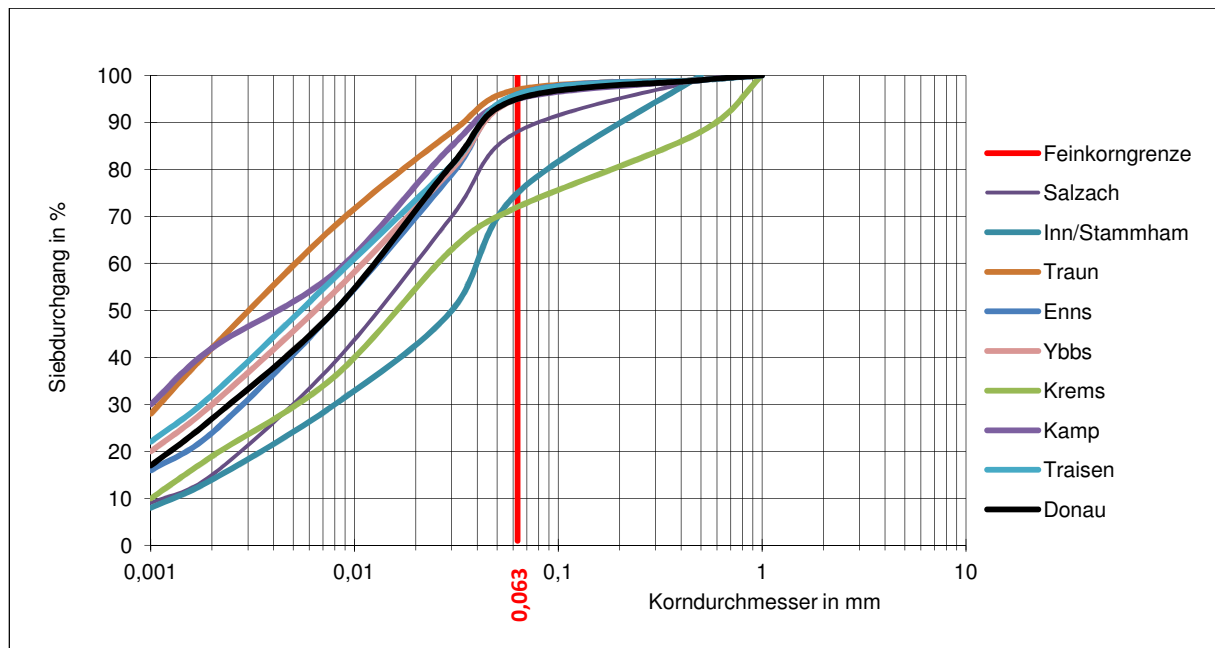
Abb. 42: Typische Kornverteilungen nach DWA Merkblatt 362

## 5.1 Kornverteilung der Donausedimente

Im Zuge der Sommerhochwässer 1996/97 wurden Untersuchungen an allen Doanustautufen sowie an den wichtigsten Zubringern der Donau durchgeführt. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf 5 Hochwasserwellen. Insgesamt wurden 20 Entnahmestellen, bei denen es sich zumeist um den Oberwasserbereich der Kraftwerke handelt, festgelegt. An jeder Entnahmestelle wurden zumindest drei Proben zu Beginn, am Scheitel und am absteigenden Ast der Hochwasserwelle entnommen.<sup>90</sup> Die Entnahme erfolgte oberflächennah, etwa in Flussmitte, durch ein Gefäß. Die so abgeschöpfte Suspension wurde nach Ablauf einer Sedimentationszeit von der überstehenden leichteren Flüssigkeit abgetrennt und im Labor analysiert.<sup>91</sup> Ziel dieser Untersuchungen waren Informationen über die Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe in der Donau. Die Ergebnisse wurden in Form von Korngrößenverteilungen und Darstellungen der Mineralabstände geliefert. Die Korngrößenanalyse wurde durch eine Kombination aus Naßsiegung (Fraktionen > 40µm) und automatischer Sedimentationsanalyse durchgeführt. Diese Analyseverfahren werden im Rahmen dieser Arbeit nicht näher erläutert. Abb. 43 zeigt die Kornsummenkurven der Schwebestoffe der Donau und ihrer Zubringer.

<sup>90</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.7

<sup>91</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.20



**Abb. 43: Kornverteilung der Donauschwebstoffe (BOKU Wien, 1998)**

Da die Probenahmen jeweils im Kraftwerksbereich erfolgten, ist anzunehmen, dass eine weitere Differenzierung der Korngrößen im Längsprofil der Stauräume stattfindet.<sup>92</sup> Ebenso soll beachtet werden, dass es sich um oberflächennahe Schwebestoffprobenahmen handelt, die auf einen sehr geringen Sandanteil (ca. 5 %) hindeuten. Vergleichsweise wurde im Stauraum Altenwörth durch Kernbohrungen ein Sandanteil in Kraftwerksnähe von 15 % festgestellt.<sup>93</sup> Weiteres wurden die Probenahmen bei erhöhten Abflüssen (Hochwasserwelle) durchgeführt. Vermutlich kommt es bei geringeren Durchflüssen zu selektiven Ablagerungen innerhalb der Stauräume, während bei Hochwasser die Transportkapazität für die suspendierten Schwebestoffe allgemein ausreichend ist und es daher nicht zu merklicher Selektion kommt.

Hinsichtlich der mineralogischen Zusammensetzung der Donauschwebstoffe konnte nach der Analyse von 106 Proben folgendes festgestellt werden:<sup>94</sup>

- Quarz 13 %
- Schichtsilikate 43 %
- Feldspat 9 %
- Kalzit 14 %
- Dolomit 21 %

<sup>92</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.109

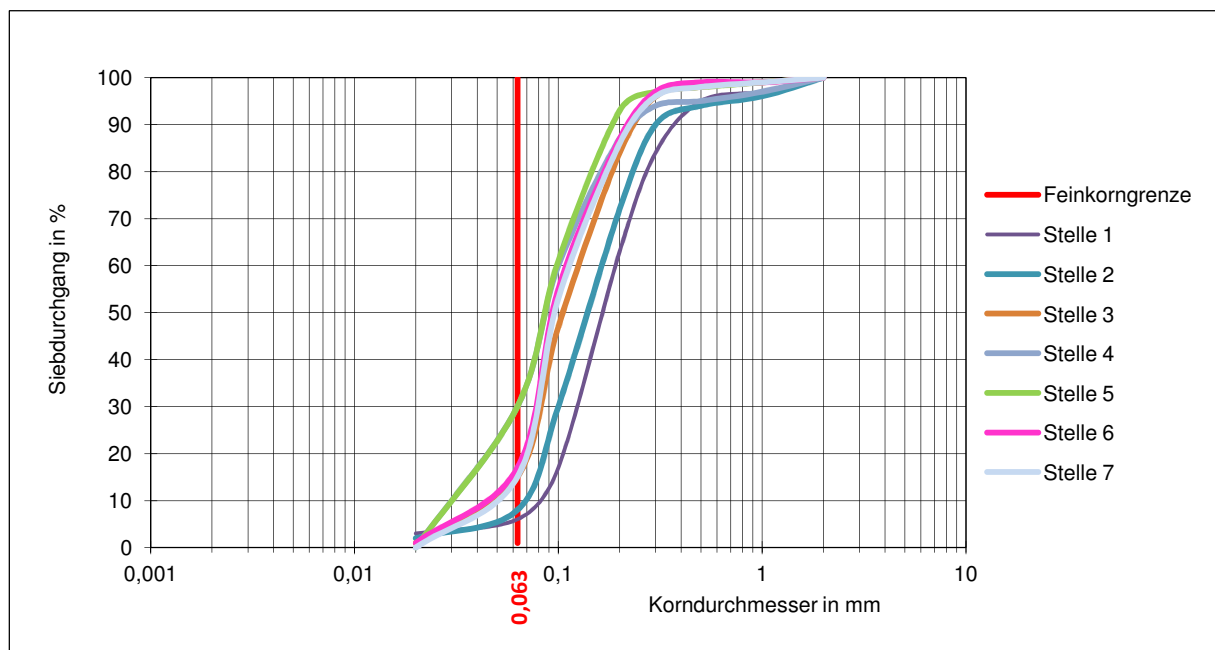
<sup>93</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.131

<sup>94</sup> Vgl. NACHTNEBEL, H.P.: Herkunft und Zusammensetzung der Schwebestoffe, 1998, S.113

## 5.2 Kornverteilung des Speichers Großsölk<sup>95</sup>

Im Rahmen einer Diplomarbeit zur der Erstellung einer Schwebstoffbilanz im Einzugsgebiet des Speichers Großsölk in der Steiermark im Jahr 2002 wurden Korngrößenverteilungen innerhalb des Speicherraumes erhoben (Abb. 44). Die Kornverteilungen wurden schon 1999 aus Stichproben ermittelt.

Gegenüber der Kornverteilung der Donausedimente aus Kapitel 5.1 zeigt die des Speichers Großsölk einen sehr hohen Anteil an Sandkörnern. Hingegen ist der Schluff- und Tonanteil sehr gering. Dies kann durch die Tatsache, dass der Speicher und dessen Zubringer im alpinen Bereich liegen, begründet werden. Vor allem können die relativ größeren Sedimente durch das höhere Fluss- oder Bachgefälle deutlich weiter transportiert werden. Außerdem wird ein Teil der feinen Schwebstoffe, die bis zur Sperre in Schwebelage gehalten werden, durch den Triebwasserweg abgeführt.



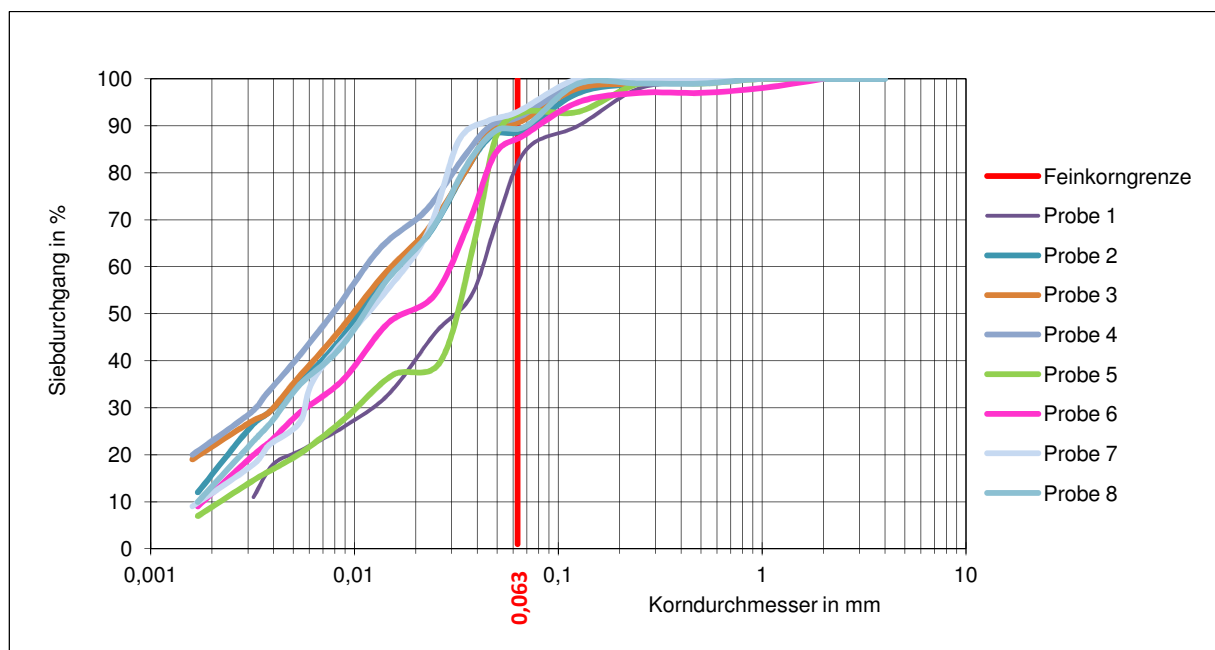
**Abb. 44: Kornverteilung innerhalb des Speichers (BADURA, 2002)**

Ebenso konnte die durchschnittliche Lagerungsdichte der Sedimente nach einem Jahr mit  $1.472 \text{ kg/m}^3$  errechnet werden. Die Lagerungsdichte würde nach einer Betriebsdauer von 10 Jahren und Einbeziehung der Konsolidierungsvorgänge ca.  $1.700 \text{ kg/m}^3$  betragen. Zu bemerken bleibt, dass die Konsolidierungsvorgänge umso länger dauern je feinkörniger die Sedimente sind.

<sup>95</sup> Vgl. BADURA, H.: Schwebstoffbilanz im Einzugsgebiet des Speichers Großsölk, 2002

### 5.3 Kornverteilung des Wöhrdersees

Im Zeitraum 2012/13 waren Nassbaggerarbeiten zur Teilentlandung des Unteren Wöhrdersee in Nürnberg Gegenstand einer Vergabe. Die Ausschreibungsunterlagen wurden durch das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg erstellt. Bei den Unterlagen wurden unter anderem Körnungskurven der Anlandungsmassen geliefert. Bei dieser Baumaßnahme sollten die Funktionen des mitten in der Stadt Nürnberg geschaffenen künstlichen Sees verbessert werden. Der See erfüllt seinen Zweck als Naherholungsgebiet und Hochwasserrückhaltebecken. In Abb. 45 ist eine Auswertung mehrerer Kernbohrungen aus dem Wöhrdersee.



**Abb. 45: Kornverteilung innerhalb des Wöhrdersees (SfG GmbH, 2010)**

Desweiteren wurden genaue Bodenprofile der Seesohle erstellt (Abb. 46). Es konnte festgestellt werden, dass die oberen Lagen der Sohle hauptsächlich aus tonigen Schluffen mit einem nur sehr geringen Sandanteil bestehen. Die Sandanteile werden in großer Menge durch einem vor dem See befindlichen Sandfang zurückgehalten. Die feineren Partikel werden jedoch bis in den See hineingeführt und lagern sich dort aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeit ab.<sup>96</sup>

<sup>96</sup> Vgl. WWA Nürnberg - Wasserwelt Wöhrdersee, Baubeschreibung, 2012, S.2

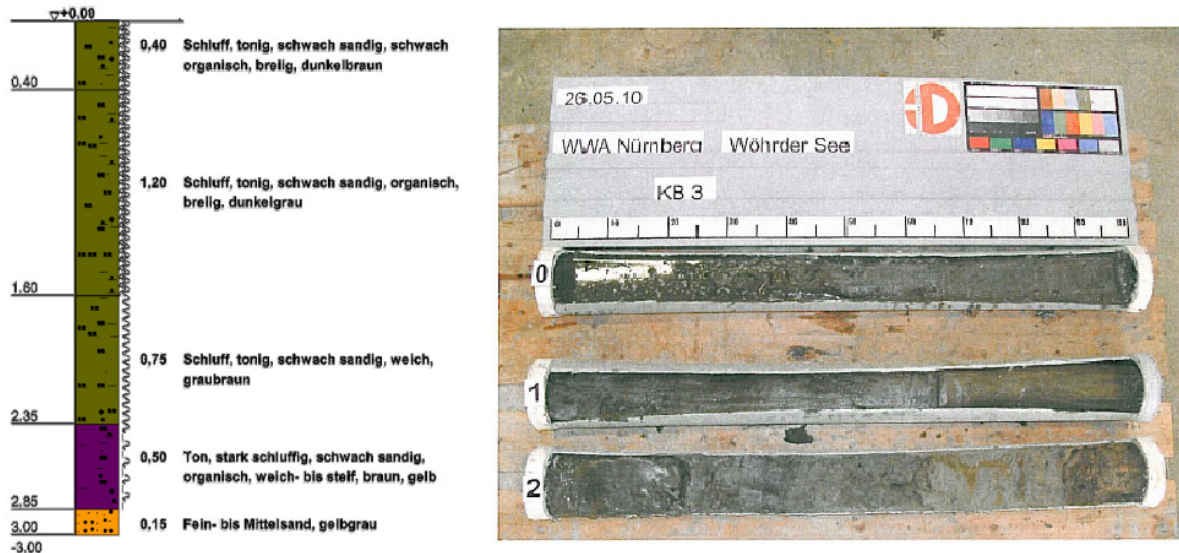


Abb. 46: Bodenprofil und Bohrkern (SfG GmbH, 2012)

Zusätzlich wurden die Wassergehalte der entnommenen Proben mit durchschnittlich 70 % bestimmt.

Laut der Baubeschreibung sollten bei dieser Baumaßnahme rund 50.000 m<sup>3</sup> Sediment aus dem See entnommen, abtransportiert und deponiert werden. Somit konnte eine geeignete Verwertung an Land als Bodenmaterial ausgeschlossen werden. Es wurde auch auf Werte zur Beurteilung nach LAGA bzw. Deponieverordnung in der Anlage der Baubeschreibung verwiesen, welche jedoch nicht auffindig gemacht werden konnten. Hingegen können die durch den Sandfang aufgenommenen Sedimente bspw. als Baumaterial genutzt werden.<sup>97</sup>

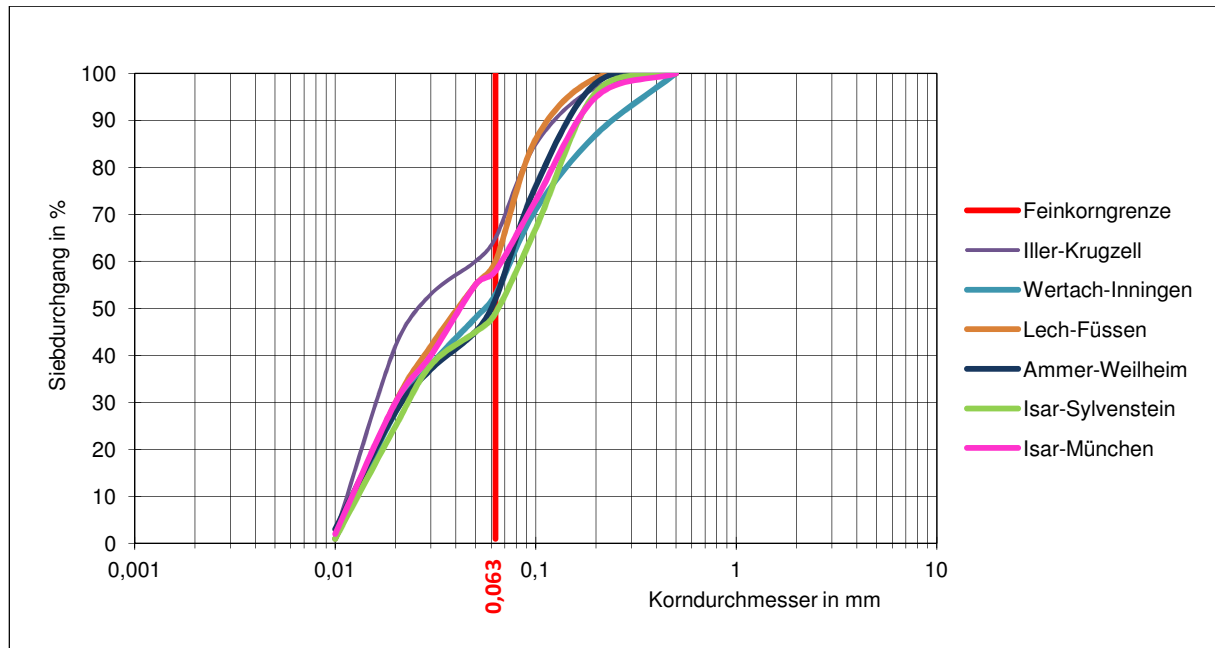
### 5.4 Kornverteilung bayerischer alpiner Gewässer

In Abb. 47 werden Kornverteilungen der Schwebestoffe mehrerer bayerischer alpiner Gewässer gezeigt. Diese Sieblienen zeichnen sich durch eine gleichmäßige Verteilung der sandigen und schluffigen Fraktionen aus. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass keine Kornanteile mit einem Durchmesser > 0,05 mm auftreten.<sup>98</sup>

<sup>97</sup> Vgl. Nürnberger Nachrichten - Der Sandfang wird für 200000 € geleert, 11.08.2012

<sup>98</sup> Vgl. BECHTELER, Wilhelm: ALPRESERV - Sedimentquellen und Transportprozesse, 2006, S.101





**Abb. 47: Kornverteilung alpinen bayerischer Flüsse (Alpreserv, 2006)**

## 5.5 Kornverteilung des Laufkraftwerkes in Mellach

In einer Studie wurden 1988 sedimentgeologische Untersuchungen durch den Naturwissenschaftlichen Verein für Steiermark im Stauraum Mellach an der Mur, südlich von Graz, durchgeführt. Der eigentliche Schwerpunkt dieser Arbeit waren Analysen an den Stauraumsedimenten hinsichtlich der Kontaminierung durch Schwermetalle. Darüber hinaus wurden Informationen über die Kornverteilung, die mineralogische Zusammensetzung der Sedimente und den organischen Anteil erarbeitet. In Abb. 48 wird ein Lageplan des Stauraumes mit den Probenahmestellen, die im Bereich der Wehranlage und 285 m weiter flussaufwärts liegen, gezeigt. Diese Darstellung verdeutlicht auch die rot markierten Sedimentationsbereiche, die hier typischerweise auf der Seite des Gleithanges liegen. Signifikant für den Gleithang sind Ablagerungen der feiner Fraktionen (Schluff, Ton), die sich durch die geringere Strömungsgeschwindigkeit auf dieser Seite ablagern können. Hingegen im Bereich des Prallhanges zeichnen sich Erosionsvorgänge ab. Dabei zeigt sich auch eine Abnahme der Feinpartikel und eine Zunahme der größeren Sandanteile an der Gesamtfraktion der Bodenproben. Die Sandanteile liegen im Bereich des Prallhanges bei ca. 80 % wohingegen es zu einem Abfall bis zu ca. 10 % im Wehr- und Gleithangbereich kommt. Große Bedeutung wurde dem Gehalt an organischer Substanz, der im Staubereich mit ca. 10 % beziffert werden konnte, beigemessen da diese eine Affinität zu Schwermetallen besitzt. Abb. 49 zeigt die Kornsummen-

kurven der Sedimente aus dem unmittelbaren Wehrbereich (7), der Erosionszone im Prallhang (12, 14) und der Verlandungszone im Gleithang (22).<sup>99</sup>

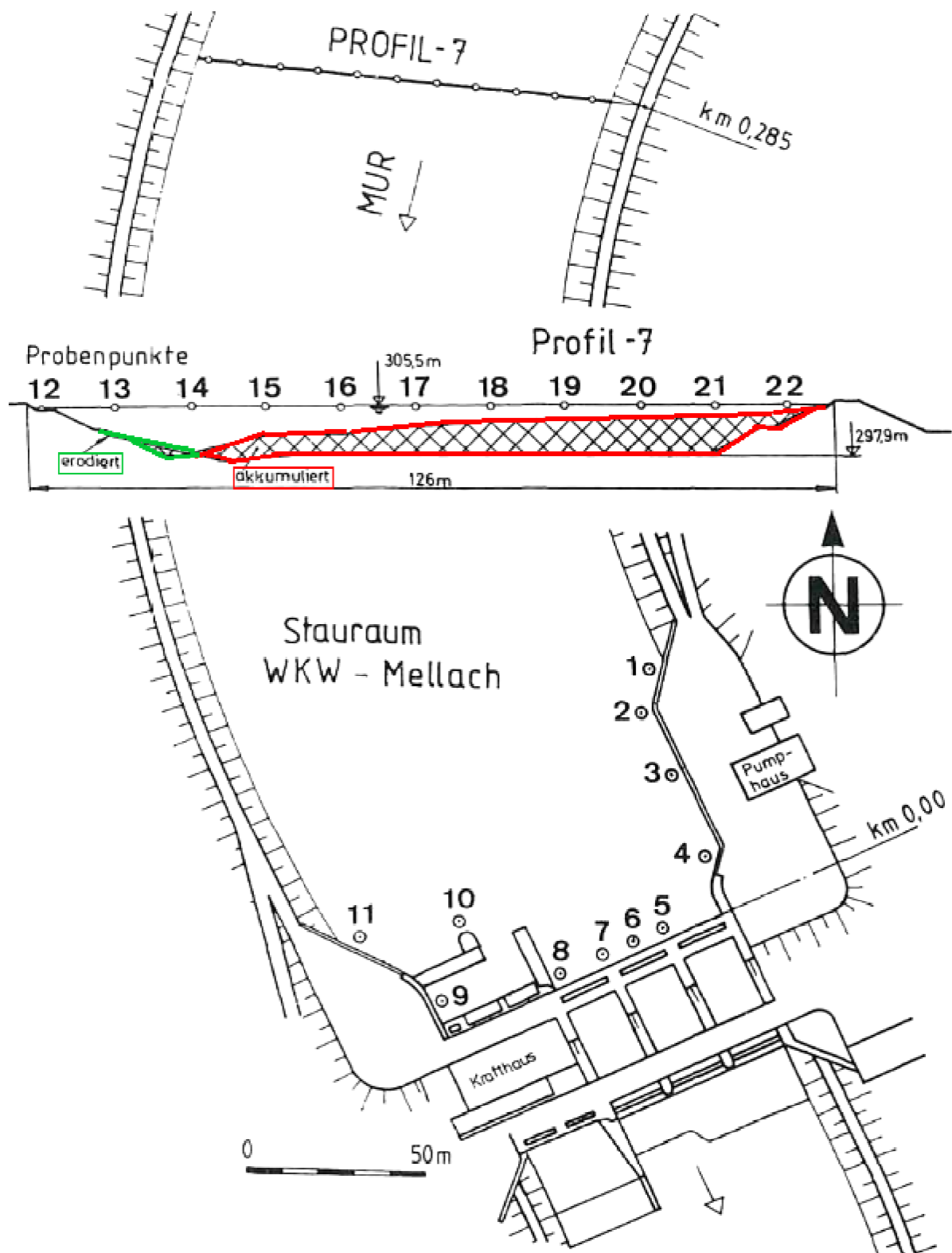


Abb. 48: Lageplan des Laufkraftwerkes Mellach (NVS, 1988)

<sup>99</sup> [http://www.landesmuseum.at/pdf\\_frei\\_remote/MittNatVerSt\\_118\\_0107-0118.pdf](http://www.landesmuseum.at/pdf_frei_remote/MittNatVerSt_118_0107-0118.pdf). 29.08.2013

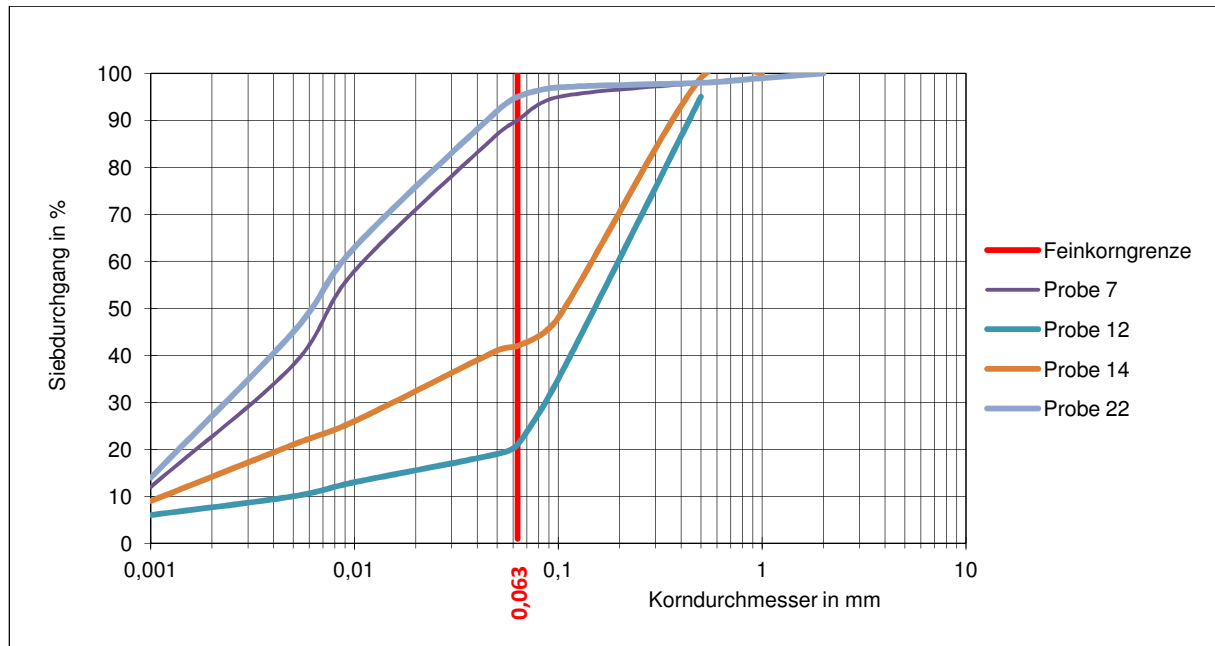


Abb. 49: Kornverteilung des Staubereiches (NVS, 1988)

## 6. Beispiel einer Nassbaggerung

In diesem Kapitel wird eine Nassbaggerung unter Beachtung bestehender Daten bzw. Randbedingungen simuliert. Im konkreten Fall handelt es sich um die Schleusen Kelheim und Riedenburg, wobei die Baggerarbeiten einfachheitsalber nur im Bereich der Schleuse Riedenburg stattfinden sollen. Das Ziel dieser Simulation ist die Erstellung verschiedener Kostenkalkulationen. Dadurch soll vor allem eine Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Verwertungsmöglichkeiten mit oder ohne vorheriger Aufbereitung gezeigt werden.

Da sich im Bereich der Schleuse Riedenburg des Main-Donau-Kanals im Ober- und Unterwasser größere Mengen an Fluss-Sediment abgelagert haben, verhindern diese den Schiffsverkehr bei Ausweich- und Wendemanövern und müssen deshalb ausgebagert werden. Im Vorfeld der Baggerarbeiten wurden im Jahr 2010 Peilmessungen, die das Volumen der Massen beziffern konnten, an verschiedenen Stellen durchgeführt. Ebenso wurden im Jahr darauf Untersuchungen an den Sedimentablagerungen um vor allem die Kornzusammensetzung und den Verschmutzungsgrad festzustellen, durchgeführt. Die Materialbeschaffenheit der Proben konnte als kiesiger Sand und stark bis schwach sandiger Schluff bezeichnet werden. Im Hinblick auf die Kornverteilung wird lediglich auf einen Anteil von 95 - 98 % der Kornfraktionen unter 2 mm verwiesen. Der Wassergehalt der Proben wurde mit ca. 50 - 60 %

angegeben. Des Weiteren sind die Proben mit vereinzelt Muscheln und geringen Organikanteilen besetzt.<sup>100</sup>

### 6.1 Lage der Schleuse und Anlandungsmassen

Abb. 50 zeigt die Lage der Schleuse Riedenburg mit den untersuchten Baggerbereichen. Die größten Massen befinden sich in den Oberwasserbereichen 2 und 3 (ca. 9.000 m<sup>3</sup>). Besonders im Bereich 3 konnten große Ablagerungen aufgrund der geringeren Strömung festgestellt werden. Im Bereich 1, der Schiffslände, wurde ca. 2.000 m<sup>3</sup> durch Peilmessungen ermittelt. Die Anlandungen in diesem Bereich können durch die Lage im Gleithang (strömungsarm) begründet werden. Beispielhaft wird hier eine hydrographische Karte in Abb. 91 im Anhang 2 gezeigt. Die Aushubmassen konnten durch die Vorgabe der Baggertiefe errechnet werden. Die weiteren Bereiche 4, 5 und 6 waren durch geringere Anlandungsmassen (ca. 600 m<sup>3</sup>) gekennzeichnet. Als geeignete Anlegestelle für den Schubleichter wurde der grün markierte Bereich gewählt. Diese Stelle soll auch als Umschlagplatz für das Baggergut als auch für die Baustelleneinrichtung dienen.



Abb. 50: Lageplan der Schleuse Riedenburg

### 6.2 Bewertung der Proben

Die sechs im Lageplan gekennzeichneten Bereiche wurden untersucht und nach den Bestimmungen der LAGA M20, der Bundes-Bodenschutzverordnung und der Deponieverord-

<sup>100</sup> Vgl. LGA-Bayern - Ablagerungen im Bereich der Schleusen Kelheim und Riedenburg, 2011, S.1

nung klassifiziert (Tab. 15). Auffällig ist der Bereich 6 der erhöhte PAK-Werte (Wassergras) zeigt. Entsprechen der Deponieverordnung sollten diese Massen auf einer Deponie der Klasse 1 entsorgt werden, wobei eine Reduzierung des Wassergehaltes durch eine Vorbehandlung ratsam wäre.

Bereich	Massen	Schadstoffgehalte	Zuordnungswerte
<b>1</b>	2.000 m <sup>3</sup>	KW: 120 mg/kg TS Zink: 138 mg/kg TS PAK: 0.93 mg/kg TS	LAGA und Eckpunktetpapier <b>Z 1.1</b> Deponie DK 0
<b>2 u. 3</b>	9.000 m <sup>3</sup>	KW: 74 mg/kg TS PAK: 0,96m g/kg TS	LAGA und Eckpunktetpapier <b>Z 0</b> Deponie DK 0
<b>4</b>	200 m <sup>3</sup>	PAK: 1,4 mg/kg TS	LAGA und Eckpunktetpapier <b>Z 0</b> Deponie DK 0 Verwendung nach BBodSchV
<b>5</b>	150 m <sup>3</sup>	PAK: 1,5 mg/kg TS Grasanteil > 10 %	LAGA und Eckpunktetpapier <b>Z 2</b> Deponie DK 0 mit Einschränkungen wegen hohem Wassergehalt
<b>6</b>	200 m <sup>3</sup>	PAK: 44,6 mg/kg TS Grasanteil > 10 %	LAGA und Eckpunktetpapier <b>&gt;Z 2</b> Deponie <b>DK 1</b> mit Einschränkungen wegen hohem Wassergehalt

Tab. 15: Übersicht der Klassifizierung<sup>101</sup>

Die großen Anlandungen der Bereiche 1, 2 und 3 könnten nach der Bundes-Bodenschutzverordnung auf landwirtschaftlich genutzten Böden zur Verbesserung der Bodenfunktionen eingesetzt werden. Die festgestellten Schwermetallgehalte im Bereich 1 entsprechen auch den üblichen Hintergrundwerten von Böden. Zudem erfüllt das anfallende Material hinsichtlich der Schadstoffgehalte die Anforderungen für die Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen entsprechend dem Eckpunktetpapier der Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen. Informationshalber wird bezüglich Eckpunktetpapier nur die Forderung von Z 0-Werten erwähnt. Eine Verwertung der Z 0-Massen nach LAGA M20 im Erd-, Straßen und Landschaftsbau ist nur nach vorheriger Entwässerung möglich.<sup>102</sup>

<sup>101</sup> Vgl. LGA-Bayern - Ablagerungen im Bereich der Schleusen Kelheim und Riedenburg, 2011, S.15

<sup>102</sup> Vgl. LGA-Bayern - Ablagerungen im Bereich der Schleusen Kelheim und Riedenburg, 2011, S.17

Letztendlich wurde nach der Beräumung der Schleuse Riedenburg ein Großteil der Baggergutmassen im 30 km entfernten Steinbruch Pfraundorf abgeladen (Abb. 51).

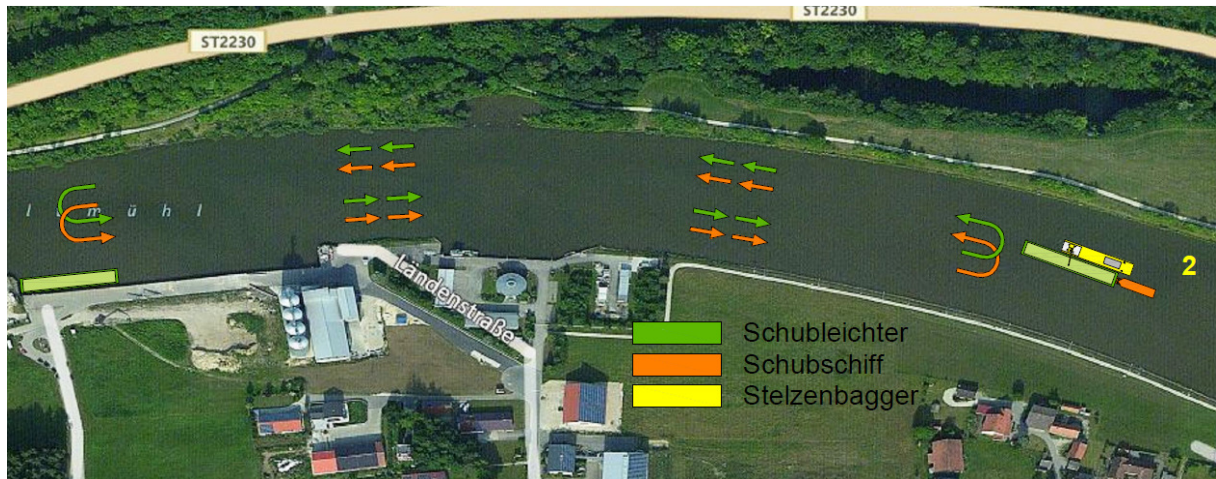


**Abb. 51: Verfüllung des Steinbruchs Pfraundorf (Fa. Felbermayr)**

### 6.3 Baustelleneinrichtungsplan

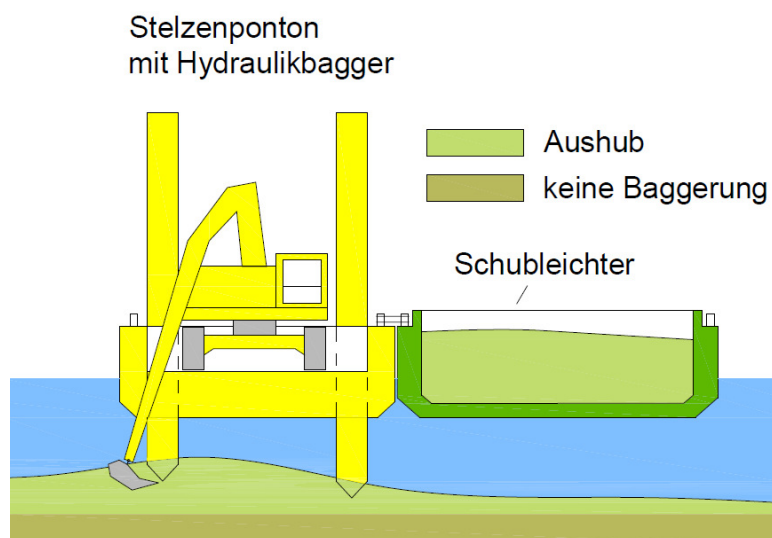
Abb. 52 zeigt das gewählte Verfuhrkonzept am Gewässer. Das Ziel bei der Verfuhr ist die ständige Beschickung der Separieranlage mit Baggergut. Um diese Ziel zu erreichen, wurden zwei Schubleichter, die als Lade- und Transporteinheit dienen, gewählt. Wie am linken Bildrand ersichtlich ist, soll stets ein beladener Schubleichter beim Umschlagschlagplatz wo auch die an Land errichtete Baustelleneinrichtung (Abb. 54) positioniert ist, zur Verfügung stehen. Es wird angenommen, dass der Belade- bzw. Entleerungsvorgang der zwei Leichter gleichzeitig stattfindet. In der Praxis soll am Ende eines jeden Arbeitstages der beim Baggerstelzenponton stehende vollbeladene Schubleichter mit Hilfe des Schubbootes zum Umschlagplatz gefahren werden. Am nächsten Tag kann das Schubboot wiederum die Mannschaft des Baggerstelzenpontons und den leeren Schubleichter vom Umschlagplatz zur Baggerstelle wo auch das Stelzenponton steht, transportieren. Zu erwähnen ist auch, dass die alleinige Beladung des Leichters durch den Bagger schneller als die Entleerung beim Umschlagplatz verlaufen wird. Es muss nur sichergestellt werden, dass die Beladezeit des Leichters und dessen Hin- und Rücktransport vom Bagger- zum Umschlagplatz kürzer als die Entleerungszeit des anderen Leichters ist.

Die Transportgeschwindigkeit eines beladenen Schubleichters bei Bergfahrt wird mit ca. 10 km/h angenommen. Dies würde bei einer angenommenen Strecke zwischen Entladestelle und Schwerpunkt der Anladungs- bzw. Baggermassen von ca. 1 km zu einer Transportzeit von 6 Minuten führen. Bei der leeren Talfahrt kann die Geschwindigkeit noch höher angenommen werden.



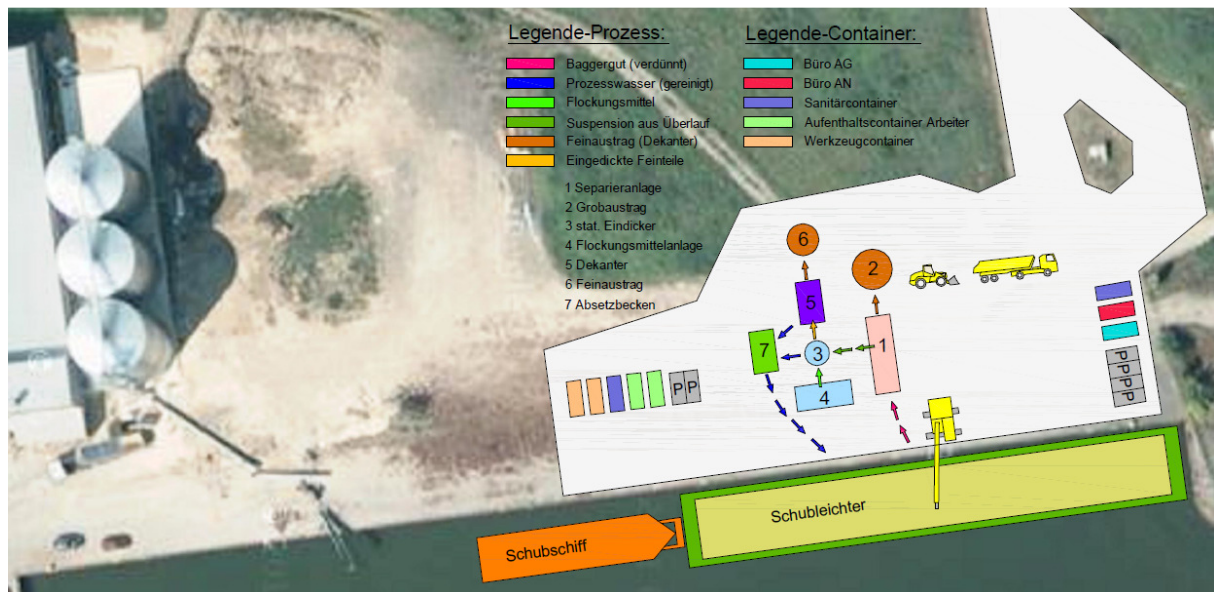
**Abb. 52: Verfuhrkonzept auf dem Wasser (eigene Darstellung)**

Beim Ausbaggern der Flusssohle werden die vom Hydraulikbagger erzeugten Schwingungen durch die eingerammten Stelzen abgefangen (Abb. 53). Die vorgegeben Baggertiefe kann mittels am Löffel und Ausleger angebrachter Sensoren graphisch dargestellt werden. Der Baggerfahrer kann die Position des Löffels während des Baggervorganges am Bildschirm verfolgen.



**Abb. 53: Baggervorgang (eigene Darstellung)**

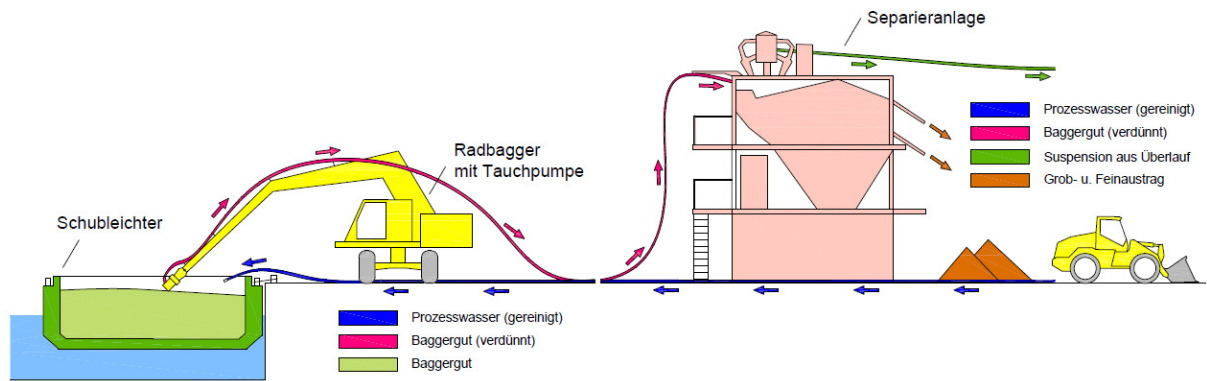
In Abb. 54 wird die Baustelleneinrichtung samt aller Aufbereitungseinheiten dargestellt. Diese Stelle wurde aus Platzgründen gewählt. Außerdem bietet sich hier eine gute Anlegemöglichkeit durch die einbetonierten Poller im Randbereich. Der Kernbereich der Baustelleneinrichtung besteht aus einer Separieranlage, die aus dem beladenen Leichter verdünntes Baggergut ansaugt und dieses in weiterer Folge über den Eindicker zum Dekanter weiterleitet. In den Außenbereichen der Einrichtung befinden sich zudem Sanitär-, Werkzeug und Aufenthaltscontainer für die Arbeiter, die im linken Bereich angeordnet sind. Auf der gegenüberliegenden Seite wurden Bürocontainer für der AN und AG eingerichtet.



**Abb. 54: Baustelleneinrichtungsplan (eigene Darstellung)**

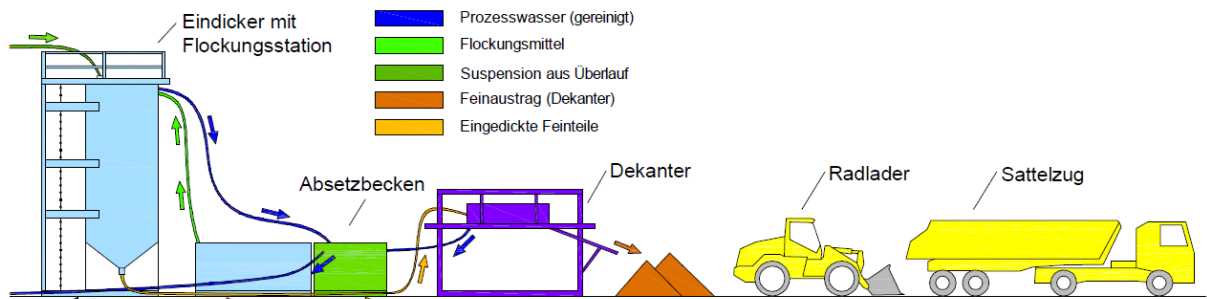
Abb. 55 verdeutlicht die Überleitung des Baggergutes an Land. Dies wird durch die am Ende des am Baggerlöffelstiels befestigten Tauchpumpe ermöglicht. Letztendlich durchläuft das Baggergut die rosa dargestellte Separieranlage und wird innerhalb dieser in eine wässrige Feinfraktion (grün) und zwei Grobfraktionen (braun) geteilt. Die über die Abwurftrutschen ausgeleiteten Grobfraktionen können mit Hilfe eines Radladers aufgeladen und abtransportiert werden.





**Abb. 55: Entnahme und Weiterleitung des Baggergutes (eigene Darstellung)**

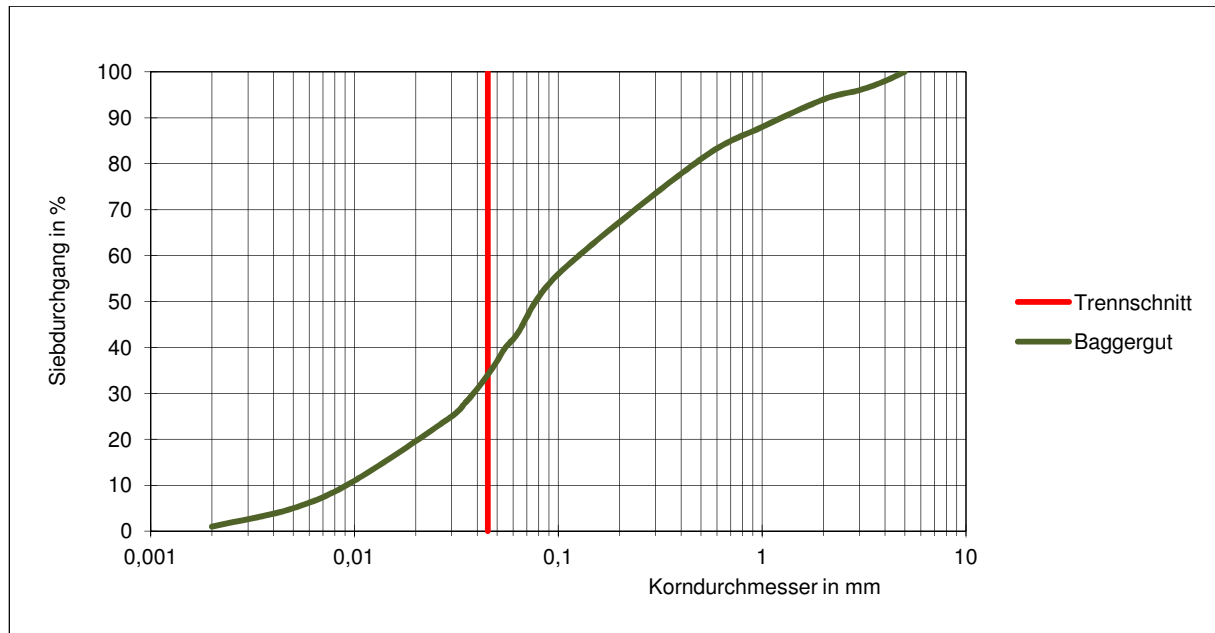
Im zweiten Teil der Geräteketten sieht man in Abb. 56 die Weiterleitung der Feinfraktion (grün). Die sich nun im statischen Eindicker (blau) befindlichen wässrigen Feinteile werden unter Zugabe eines Flockungsmittels (grün) zum Absetzen und Verklumpen gezwungen. In der Folge wird das im Unterlauf des Eindickers austretende Baggergut zum Dekanter gepumpt, wo es im letzten Schritt entwässert und ausgeworfen wird. Aus praktischen Gründen wird das aus dem Dekanter und Eindicker austretende abgetrennte Wasser in einem Absetzbecken gesammelt und wiederum in den Schubleichter eingeleitet. Hier kann die Höhenlage für den Abfluss genutzt werden.



**Abb. 56: Eindickung und Entwässerung des Baggergutes (eigene Darstellung)**

## 6.4 Bodenparameter und Einheitswürfel

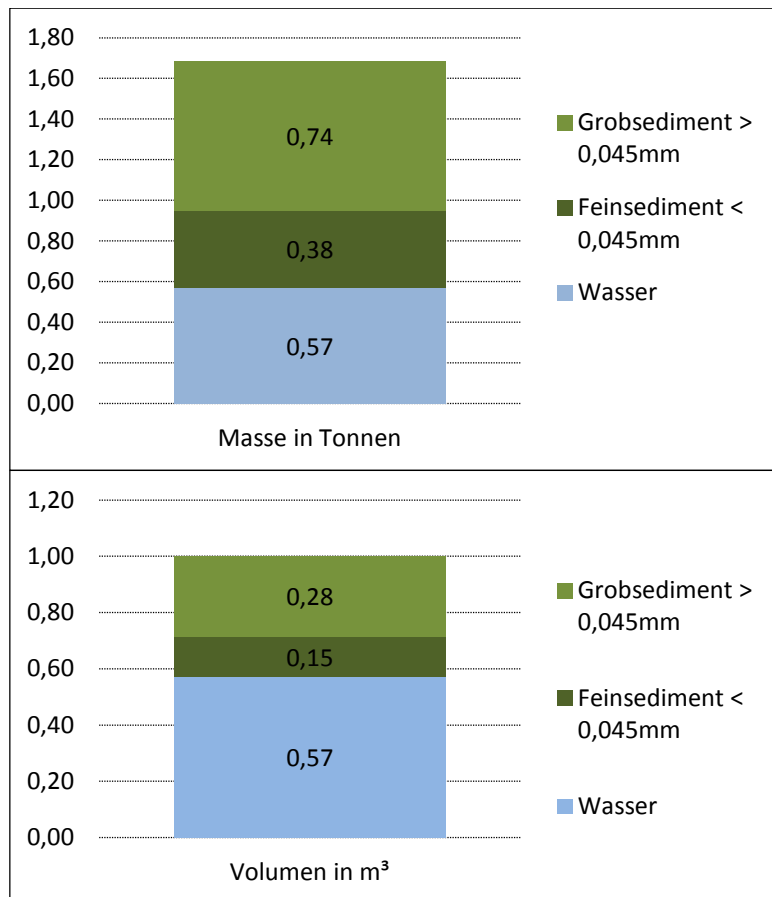
Angelehnt an den Einheitswürfel, der aus der Bodenmechanik bekannt ist, wurde in dieser Arbeit ein ähnliches Gedankenmodell entwickelt. Im Modell werden die Bodenkomponenten (Feststoff, Wasser, Luft) getrennt dargestellt. Durch diese Aufteilung sollen vor allem Materialkennwerte, Massenflüsse, Austragsmengen, etc. veranschaulicht und hergeleitet werden können. Im konkreten Fall werden die in Abb. 55 und Abb. 56 gezeigten Stoffprozesse und Kreisläufe quantifiziert. Bei der Anwendung des Einheitswürfels ist im ersten Schritt der Ansatz einer bestimmter Sieblinie (Abb. 57) notwendig.



**Abb. 57: Annahme einer Sieblinie des Baggergutes (schluffiger Sand)**

Besonders die Kenntnis der Korn- und Massenaufteilung ist beim Einsatz einer Separieranlage von großer Bedeutung. Wie in Abb. 57 ersichtlich, wird die Sieblinie beispielhaft einer Trennung bei 45 µm unterzogen. Dieser Trennschnitt entspricht letztendlich auch der Leistungsfähigkeit eines Hydrozyklons. Somit wird klar, welche Feststoffanteile bei der Separieranlage weitergeleitet werden bzw. über die Abwurfrutschen nach außen gelangen. Im nächsten Schritt wird der eigentliche Einheitswürfel (Abb. 58) des in der Sohle befindlichen Bodenmaterials, bestehend aus Luft, Wasser und Feststoff, dargestellt.

Die Eingabeparameter beim Einheitswürfel sind der volumensbezogen Porenanteil und die Korndichte des Feststoffes. Die Dichte des Wassers ( $1 \text{ t/m}^3$ ) und des Probenvolumen ( $1 \text{ m}^3$ ) gelten als Konstanten. Der Zusammenhang mit der Sieblinie und dem Trennschnitt wird in der Aufteilung des Feststoffes ersichtlich. Demnach sind 34 % des Gesamtfeststoffes Feinsediment und 66 % Grobsediment. Ausgehend von den Eingabeparametern können die Größen Wassergehalt und Lagerungsdichte ermittelt werden. Insbesondere der Wassergehalt, der als Quotient von Wassermasse zur Gesamtmasse verstanden werden darf, ist von Bedeutung.



**Abb. 58: Einheitswürfel - Flusssohle**

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

Porenvolumen ( $V_{\text{Poren}}$ ) = Probenvolumen x Porenanteil (n)

$$V_{\text{Poren}} = 1,0 \text{ m}^3 \times 0,57 = 0,57 \text{ m}^3$$

Wasservolumen ( $V_{\text{Wasser}}$ ) =  $V_{\text{Poren}}$

$$V_{\text{Wasser}} = 0,57 \text{ m}^3 \text{ (wassergesättigter Boden)}$$

Feststoffvolumen ( $V_{\text{Fest}}$ ) = Probenvolumen -  $V_{\text{Wasser}}$

$$V_{\text{Fest}} = 1,0 \text{ m}^3 - 0,57 \text{ m}^3 = 0,43 \text{ m}^3$$

Wassermasse ( $M_{\text{Wasser}}$ ) =  $V_{\text{Wasser}}$  x Wasserdichte

$$M_{\text{Wasser}} = 0,57 \text{ m}^3 \times 1,0 \text{ to/m}^3 = 0,57 \text{ to}$$

Feststoffmasse ( $M_{\text{Fest}}$ ) =  $V_{\text{Fest}}$  x Korndichte ( $\rho_s$ )

$$M_{\text{Fest}} = 0,43 \text{ m}^3 \times 2,6 \text{ to/m}^3 = 1,118 \text{ to}$$

Lagerungsdichte ( $\rho$ ) =  $\frac{\text{Gesamtmasse}}{\text{Probenvolumen}}$

$$\rho = \frac{1,118 \text{ to} + 0,57 \text{ to}}{1,0 \text{ m}^3} = 1,668 \text{ to/m}^3$$

Wassergehalt (w) =  $\frac{\text{Wassermasse}}{\text{Gesamtmasse}}$

$$w = \frac{0,57 \text{ to}}{1,668 \text{ to}} = 34 \%$$

Nun kommt es durch den Baggervorgang zu einer Änderung der Dichte des Sohlenmaterials (Abb. 59). Durch das Lösen der Sohle lockert sich das Material in der Schaufel und ändert somit seine Dichte. Zugleich wird aber das durch die Auflockerung entstandene Luftvolumen beim Herausziehen aus dem Wasser mit Neuwasser gefüllt. Letztendlich wird der neben dem Stelzenponton positionierte Schubleichter solange beladen bis die maximale Tragfähigkeit erreicht wird. Diese lässt sich mit Hilfe der in Abb. 59 gezeigten Veränderungen gegenüber dem ursprünglichen Material ermitteln.

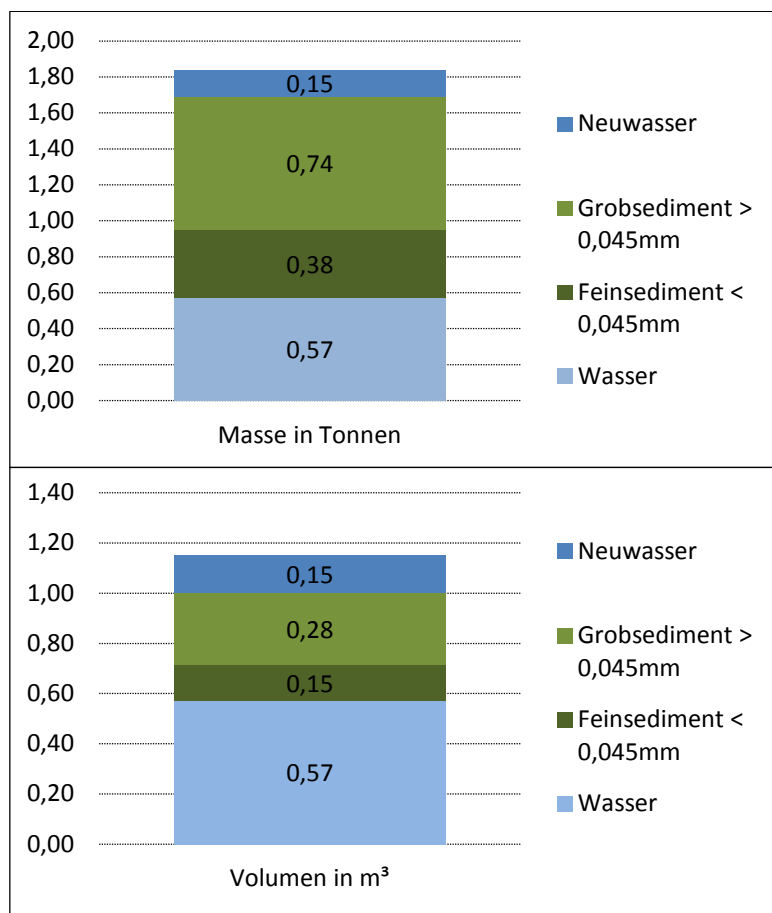


Abb. 59: Baggergut in der Schute

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\text{Dichte locker } (\rho_l) = \frac{\rho}{\text{Auflockerungsfaktor}}$$

$$\rho_l = \frac{1,668 \text{ to/m}^3}{1,15} = 1,47 \text{ to/m}^3$$

$$\text{bzw. } \rho_l = \frac{\text{Gesamtmasse}}{\text{Probenvolumen} + \text{Volumen}_{\text{Neuluft}}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{Neuluft}} = \text{Volumen} / \text{Masse}_{\text{Neuwasser}} = 0,15 \text{ m}^3 \text{ bzw. } 0,15 \text{ to}$$

$$\text{Dichte in Schute } (\rho_{\text{Sch}}) = \frac{\text{Gesamtmasse 2}}{\text{Gesamtvolumen 2}} = \frac{\text{Gesamtmasse} + \text{Masse}_{\text{Neuwasser}}}{\text{Probenvolumen} + \text{Volumen}_{\text{Neuluft}}}$$

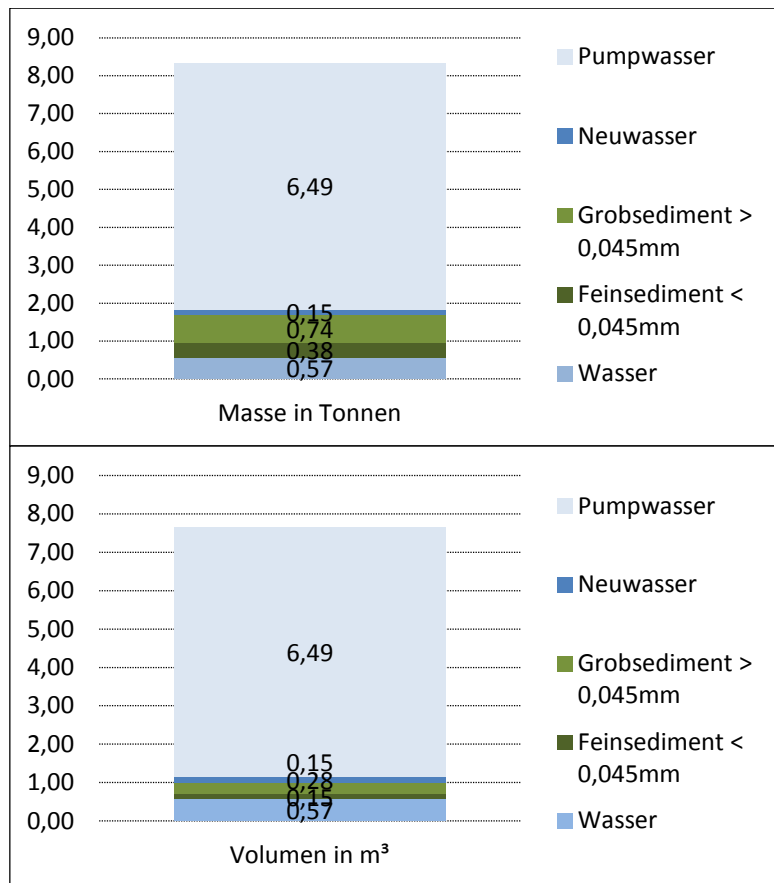
$$\rho_{\text{Sch}} = \frac{1,668 \text{ to} + 0,15 \text{ to}}{1,0 \text{ m}^3 + 0,15 \text{ m}^3} = 1,60 \text{ to/m}^3$$

$$w = \frac{0,57 \text{ to} + 0,15 \text{ to}}{1,668 \text{ to} + 0,15 \text{ to}} = 39,19 \%$$

$$\text{Ladevolumen Schubleichter} = \frac{\text{Tragfähigkeit Schubleichter}}{\rho_{\text{Sch}}} = \frac{1344 \text{ to}}{1,60 \text{ to/m}^3} = \text{ca. } 850 \text{ m}^3$$

Im weiteren Verlauf ist es notwendig, die sich in der Schute befindlichen breiigen Baggergutmassen so zu verdünnen, dass eine pumpfähige Konsistenz entsteht. Hier wurde beispielhaft eine Dichte von  $1,09 \text{ to/m}^3$  angenommen.

Abb. 60 zeigt, dass eine bedeutende Menge an Pumpwasser erforderlich ist um die Dichte von  $1,09 \text{ to/m}^3$  zu erreichen. Somit würde man  $6,49 \text{ m}^3$  Pumpwasser benötigen um einen Kubikmeter Flusssohlenmaterial umzusetzen. Da aber in dieser Simulation mit einem Rücklauf der aus der Zentrifuge und dem statischen Eindicker austretenden Wassermassen gerechnet wird, sind wesentlich geringere bzw. keine Wassermenge notwendig. Wenn der Rücklauf sogar höher als die benötigte Wassermenge ausfällt, kann das überschüssige Wasser in den Fluss ausgeleitet werden. Welche Wassermengen letztendlich zurückgeführt werden, wird vor allem durch den Wassergehalt im Austragsmaterial des Eindickers bestimmt. Ein konstanter Rücklauf aus dem Absetzbecken stellt sich aber nicht sofort ein. Deshalb müssen anfänglich große Mengen an Flusswasser in die Schute gepumpt werden um das Baggergut zur Separieranlage zu befördern.



**Abb. 60: Pumpfähige Dichte in der Schute**

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\text{Dichte } (\rho_{\text{pump}}) = 1,09 \text{ to/m}^3 = \frac{\text{Gesamtmasse 3}}{\text{Gesamtvolumen 3}} = \frac{\text{Gesamtmasse 2} + \text{Masse}_{\text{Pumpwasser}}}{\text{Gesamtvolumen 2} + \text{Volumen}_{\text{Pumpwasser}}}$$

Da die Masse und das Volumen des Pumpwasser im Prinzip ein und dieselbe Variable (gleicher Zahlenwert) sind, kann diese Gleichung gelöst werden. Somit gilt:

$$\text{Masse/Volumen}_{\text{Pumpwasser}} = \frac{1,838 \text{ to} - 1,09 \text{ to/m}^3 \times 1,15 \text{ m}^3}{(1,09 \text{ to/m}^3 - 1)} = 6,49 \text{ to bzw. m}^3$$

$$w = \frac{0,57 \text{ to} + 0,15 \text{ to} + 6,49 \text{ to}}{1,668 \text{ to} + 0,15 \text{ to} + 6,49 \text{ to}} = 86,58 \%$$

Der in Abb. 60 gezeigte Zustand des Baggergutes ist jener, der von der Separieranlage verarbeitet werden kann. Mit der für dieses Bsp. verwendeten Separieranlage könnten somit 400 m³ Baggergut mit der erforderlichen Dichte von 1,09 to/m³ bei optimalen Bedingungen umgesetzt werden. Abb. 61 zeigt die entsprechenden Anteile dieser Suspension.

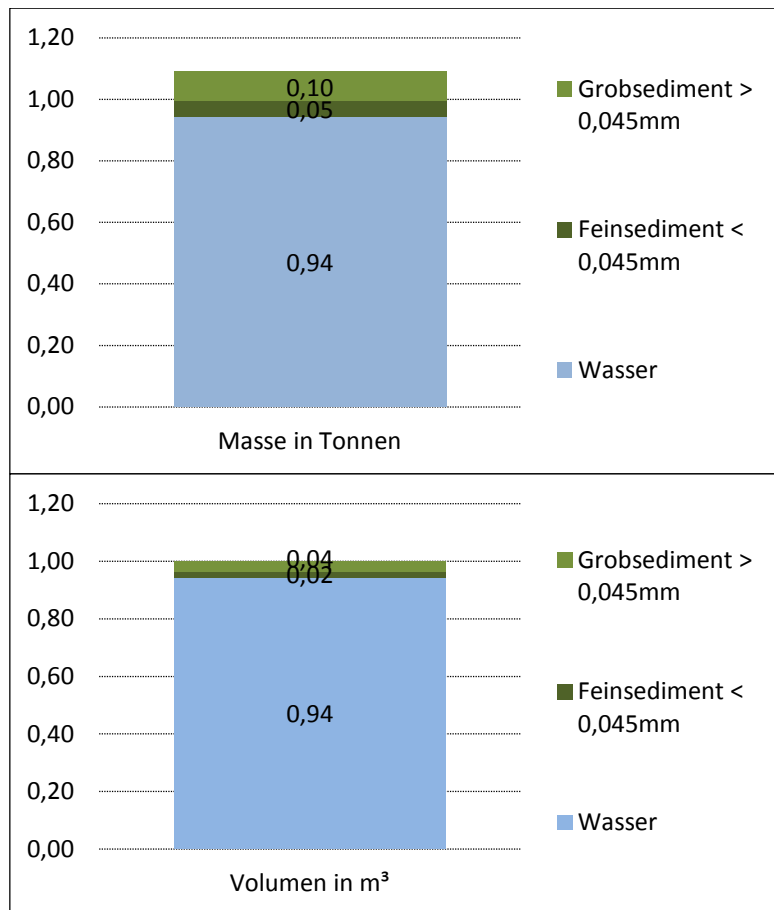


Abb. 61: Pumpfähige Suspension

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\text{Masse/Volumen}_{\text{Wasser}} = \frac{\text{Wasservolumen 3}}{\text{Gesamtvolumen 3}}$$

$$\text{Masse/Volumen}_{\text{Wasser}} = \frac{0,15 \text{ m}^3 + 0,57 \text{ m}^3 + 6,49 \text{ m}^3}{7,644 \text{ m}^3} = 0,94 \text{ (m}^3 \text{ bzw. to)}$$

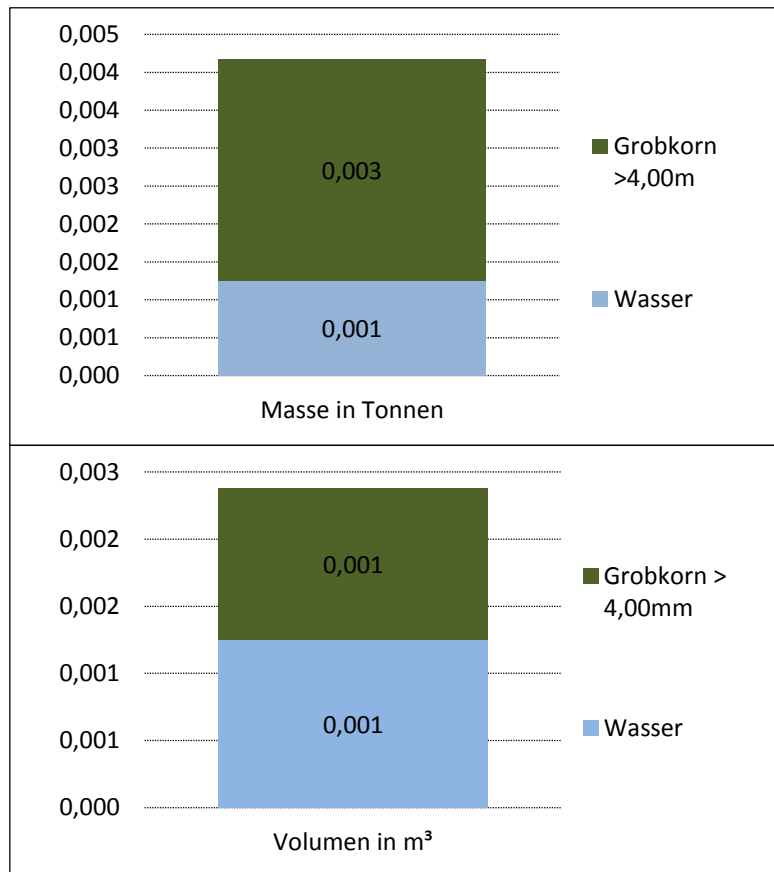
$$\text{Volumen}_{\text{Feststoff}} = \frac{\text{Feststoffvolumen 3}}{\text{Gesamtvolumen 3}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{Feststoff}} = \frac{0,15 \text{ m}^3 + 0,28 \text{ m}^3}{7,644 \text{ m}^3} = 0,056 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{Masse}_{\text{Feststoff}} = 0,056 \text{ m}^3 \times 2,6 \text{ to/m}^3 = 0,146 \text{ t}$$

Im nächsten Schritt wird der Feststoffanteil der Suspension, die die Hydrozyklone durchläuft, errechnet. Nach Herstellerangaben sollte der Feststoffgehalt bei der Zyklonbeaufschlagung zwischen 50 - 500 g/l liegen, wobei die Durchsatzleistung bei geringerer Dichte steigt. Vereinfacht kann man sagen, dass die Zyklone durch die in Abb. 61 gezeigte Suspension abzüglich der beim Grobsieb abgetrennten Wasser- und Feststoffanteile beschickt werden. Durch das Grobsieb werden 2% der Feststoffanteile, wie aus der Sieblinie ersichtlich ist, ab-

getrennt. Der Wassergehalt dieser Grobsedimente wird mit 30 % angenommen. Abb. 62 zeigt, dass sowohl der Wasser- als auch der Feststoffanteil der Grobsedimente (> 4mm) gegenüber den in Abb.61 gezeigten Mengen verschwindend klein ist.



**Abb. 62: Restmassen Grobsieb**

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\text{Masse}_{\text{Feststoff 4}} = \text{Masse}_{\text{Feststoff 3}} \times 2\%$$

$$\text{Masse}_{\text{Feststoff 4}} = 0,146 \text{ to} \times 0,02 = 0,003 \text{ to}$$

$$\text{Wassergehalt (w)} = 0,30 = \frac{\text{Wassermasse}}{\text{Wassermasse} + \text{Masse Feststoff}}$$

$$\text{Wassermasse} = \frac{0,3 \times 0,003 \text{ to}}{(1 - 0,3)} = 0,001 \text{ to}$$

$$\text{Feststoff}_{\text{Zyklonbeaufschlagung}} = \text{Masse}_{\text{Feststoff 3}} - \text{Masse}_{\text{Feststoff 4}}$$

$$\text{Feststoff}_{\text{Zyklonbeaufschlagung}} = 0,146 \text{ to} - 0,003 \text{ to} = 0,143 \text{ to}$$

$$\text{Volumen}_{\text{Zyklonbeaufschlagung}} = \text{Gesamtvolumen 3} - \text{Gesamtvolumen 4}$$

$$\text{Volumen}_{\text{Zyklonbeaufschlagung}} = 1,00 \text{ m}^3 - (0,001 \text{ m}^3 + \frac{0,003 \text{ to}}{2,6 \text{ to/m}^3}) = 0,998 \text{ m}^3$$

$$\text{Feststoffdichte}_{\text{Zyklonbeaufschlagung}} = \frac{\text{Feststoff}_{\text{Zyklonbeaufschlagung}}}{\text{Volumen}_{\text{Zyklonbeaufschlagung}}}$$



$$\text{Feststoffdichte}_{\text{Zyklonbeaufschlagung}} = \frac{0,143 \text{ to}}{0,998 \text{ m}^3} \times 1000 = 143,67 \text{ g/l}$$

Ausgehend vom Zustand, der in Abb. 61 dargestellt ist, kann die gesamte Grobsedimentausscheidung der Separieranlage, d.h. Körner die  $> 45\mu\text{m}$  sind, berechnet werden. Dabei werden die Eingabeparameter Porenanteil mit 0,55 und Wassergehalt mit 20 % angesetzt.

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\text{Masse}_{\text{Feststoff} > 45\mu\text{m}} = 0,097 \text{ to}$$

$$\text{Volumen}_{\text{Feststoff} > 45\mu\text{m}} = 0,037 \text{ m}^3$$

Der Volumen- und Massenanteil  $> 45\mu\text{m}$  kann aus Abb. 61 entnommen werden.

$$\text{Wassergehalt (w)} = 0,20 = \frac{\text{Wassermasse}}{\text{Wassermasse} + \text{Masse Feststoff}}$$

$$\text{Masse/Volumen}_{\text{Wasser}} = \frac{0,2 \times 0,097 \text{ to}}{(1 - 0,2)} = 0,024 \text{ (to bzw m}^3\text{)}$$

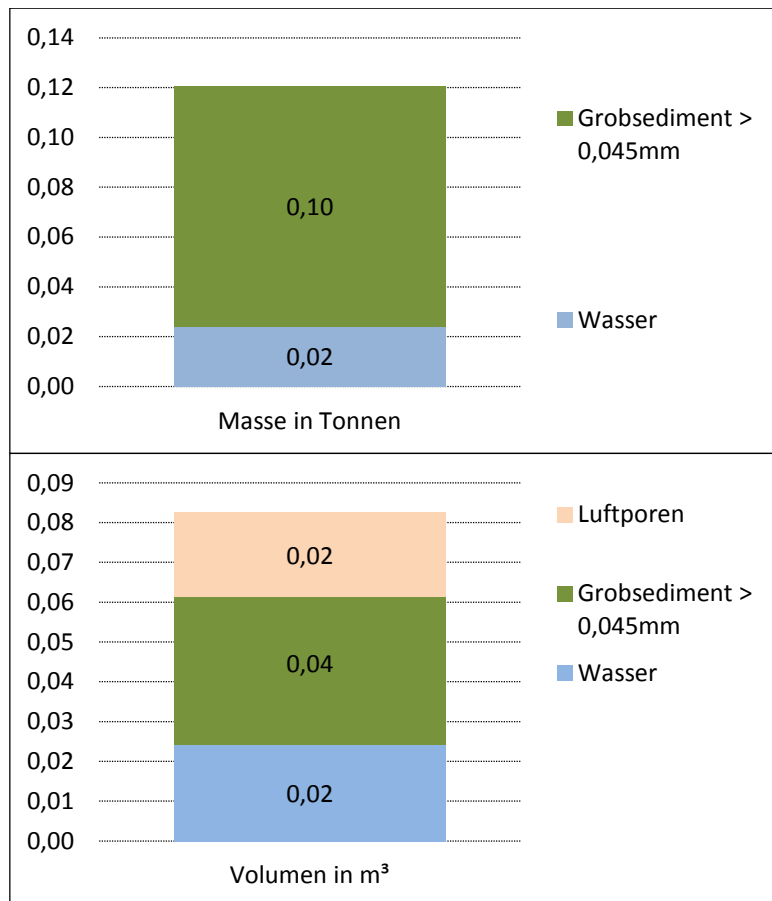
$$\text{Porenanteil (n)} = 0,55 = \frac{\text{Volumen}_{\text{Luftporen}} + \text{Volumen}_{\text{Wasser}}}{\text{Volumen}_{\text{Luftporen}} + \text{Volumen}_{\text{Wasser}} + \text{Volumen}_{\text{Feststoff}}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{Luftporen}} = \frac{0,55 \times (0,037 \text{ m}^3 + 0,024 \text{ m}^3) - 0,024 \text{ m}^3}{(1 - 0,55)} = 0,021 \text{ m}^3$$

$$\text{Ausscheideleistung} = \text{Leistung AKA SEP} \times \text{Gesamtvolumen}_{\text{Grobabscheidung}}$$

$$\text{Ausscheideleistung} = 300,0 \times 0,083 \text{ m}^3 = 24,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

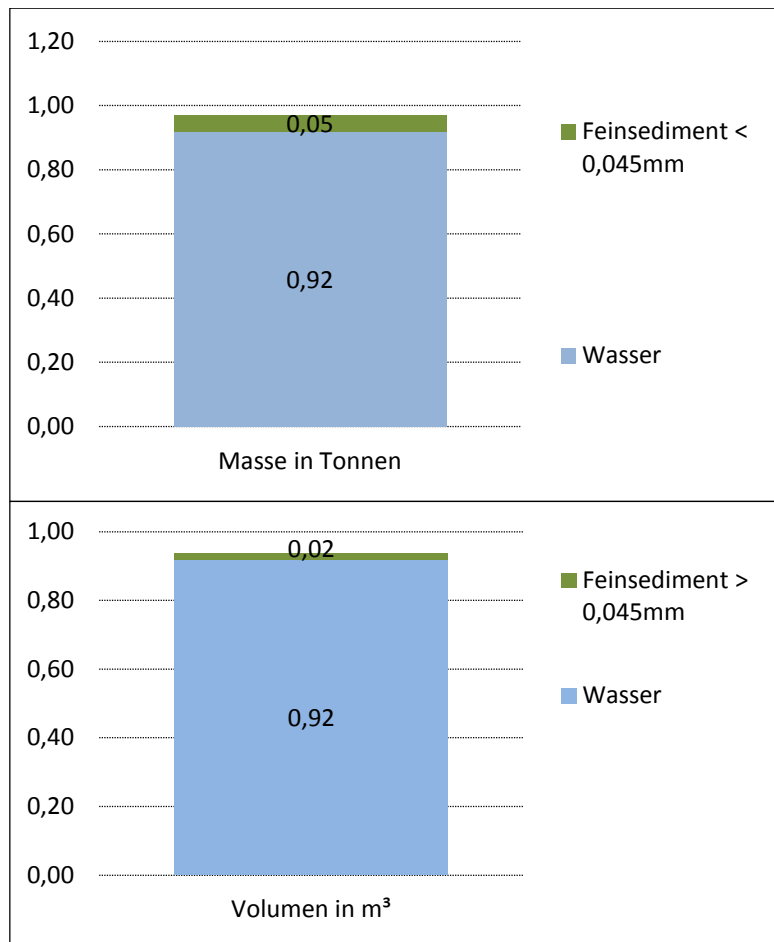
Durch die Kenntnis der oben berechneten Parameter lässt sich auch die Feuchtdichte des über die Abwurfrutsche ausgeschiedenen Sedimente ermitteln. Die Dichte wurde hier mit  $1,46 \text{ to/m}^3$  errechnet. Diese Information ist vor allem für den Abtransport mit LKWs von Bedeutung. Unter der Annahme, dass die gewählte Separieranlage statt den bei optimalen Bedingungen möglichen  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  nur  $300 \text{ m}^3$  pumpfähiger Suspension pro Stunde verarbeitet, kann auch das in Abb. 63 gezeigte Gesamtvolumen von  $0,083 \text{ m}^3$  300 Mal in der Stunde ausgeschieden werden. Dies bedeutet eine Ausscheideleistung des Grobsediments von  $24,75 \text{ m}^3/\text{h}$  bzw.  $36,20 \text{ to/h}$ .



**Abb. 63: Ausscheidung Grobsediment (> 45µm )**

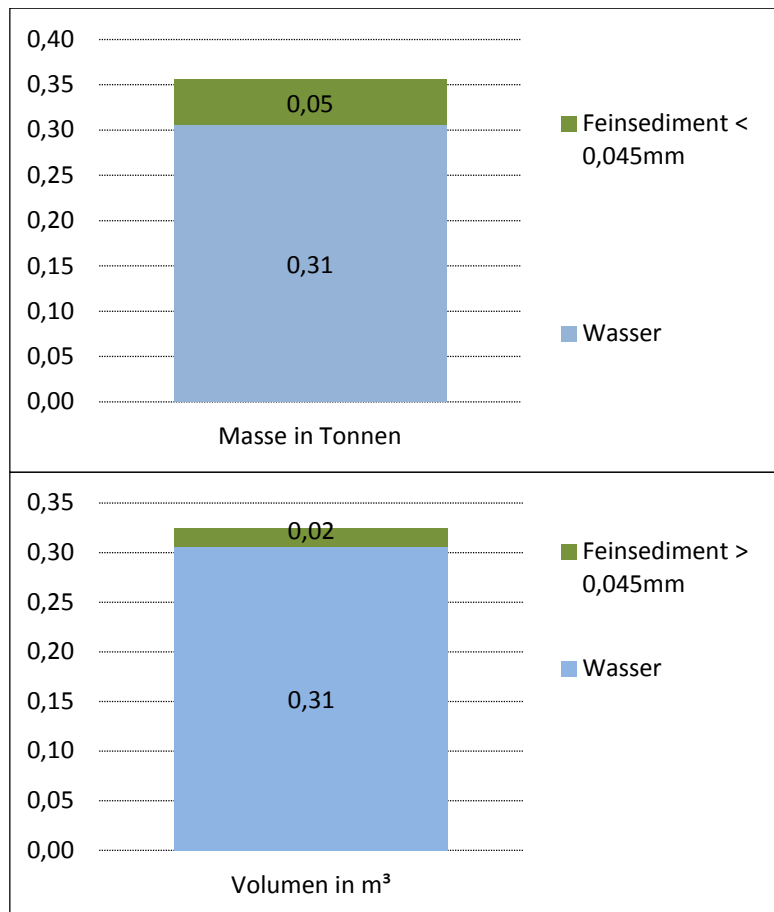
Betrachtet man nun die Ausgangsmengen in Abb.61 und die Ausscheidung in Abb. 63 erkennt man, dass ein Teil weitergeleitet wird. Dabei handelt es sich um den Wasser- und Feststoffanteil (< 45 µm), der über den Zyklonüberlauf zum statischen Eindicker weitergeführt wird. Dieser Rest kann sehr einfach über die Differenzbildung der Massen und Volumina ermittelt werden. Auf die Rechenschritte wird hier aufgrund der Trivialität nicht näher eingegangen. Als Ergebnis wird eine Suspensionsdichte von 1,03 to/m³ und ein Wassergehalt von 94,87 % geliefert. Abb. 64 zeigt die aus den Zyklonen austretende Suspension.

$$\text{Dichte } (\rho_{\text{Überlauf}}) = 1,03 \text{ to/m}^3 = \frac{\text{Masse Feststoff } < 0,45 \mu\text{m} + (\text{Wassermasse 3} - \text{Wassermasse Abb. 63})}{\text{Volumen Feststoff } < 0,45 \mu\text{m} + (\text{Wasservolumen 3} - \text{Wasservolumen Abb. 63})}$$



**Abb. 64: Weiterleitung Feinsediment (< 45µm)**

Bevor die in Abb. 64 dargestellt Suspension zum Dekanter geführt wird, werden die Feinsedimente im Eindicker mit Hilfe von Flockungsmitteln zum Agglomerieren gezwungen. Durch dieses Vorgehen werden bessere Bedingungen für das Entwässern mit den Zentrifugen geschaffen. Im Prinzip gilt hier nur der Wassergehalt der Ausscheidungen des Eindickers als einziger Eingabeparameter. Dieser wurde beispielhaft mit 86,0 % angesetzt, da nach Herstellerangaben eine Trockensubstanz bis ca. 14,0 % erreicht werden kann. Bemerkenswert bei der Betrachtung der Abb. 64 und Abb. 65 ist die große Wassermengenänderung, bewirkt durch den Wassergehalt.



**Abb. 65: Zustand nach der Eindickung (< 45µm)**

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\text{Wassergehalt (w)} = 0,86 = \frac{\text{Wassermasse}}{\text{Wassermasse} + \text{Masse Feststoff}}$$

$$\text{Masse/Volumen}_{\text{Wasser}} = \frac{0,86 \times 0,05 \text{ to}}{(1 - 0,86)} = 0,305 \text{ (to bzw. m}^3\text{)}$$

$$\text{Austragsdichte } (\rho) = \frac{\text{Gesamtmasse}}{\text{Gesamtvolumen}} = \frac{0,355 \text{ to}}{0,325 \text{ m}^3} = 1,09 \text{ to/m}^3$$

$$\text{Rücklaufwasser} = 0,92 \text{ to} - 0,305 \text{ to} = 0,614 \text{ to bzw. m}^3$$

Von den ursprünglichen 0,94 m³ Wasser aus Abb. 61 werden 0,614 m³ zurückgeführt. Schon geringfügige Änderungen des Wassergehaltes beim Austrag des Eindickers würden zu signifikanten Änderung im Wasserkreislauf führen.

Im letzten Schritt werden die Austräge der Dekanter/Zentrifugen (Abb. 66) hergeleitet. Hier gilt wiederum der Wassergehalt bzw. die Trockensubstanz als einziger Eingabeparameter. Es wurde mit einer Trockensubstanz von 55,0 % gerechnet. Beim Austrag handelt es sich um eine breiige und wässrige Konsistenz ohne Luftporenanteil.

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\text{Wassergehalt (w)} = 0,45 = \frac{\text{Wassermasse}}{\text{Wassermasse} + \text{Masse Feststoff}}$$

$$\text{Masse/Volumen}_{\text{Wasser}} = \frac{0,45 \times 0,05 \text{ to}}{(1 - 0,45)} = 0,041 \text{ (to bzw. m}^3\text{)}$$

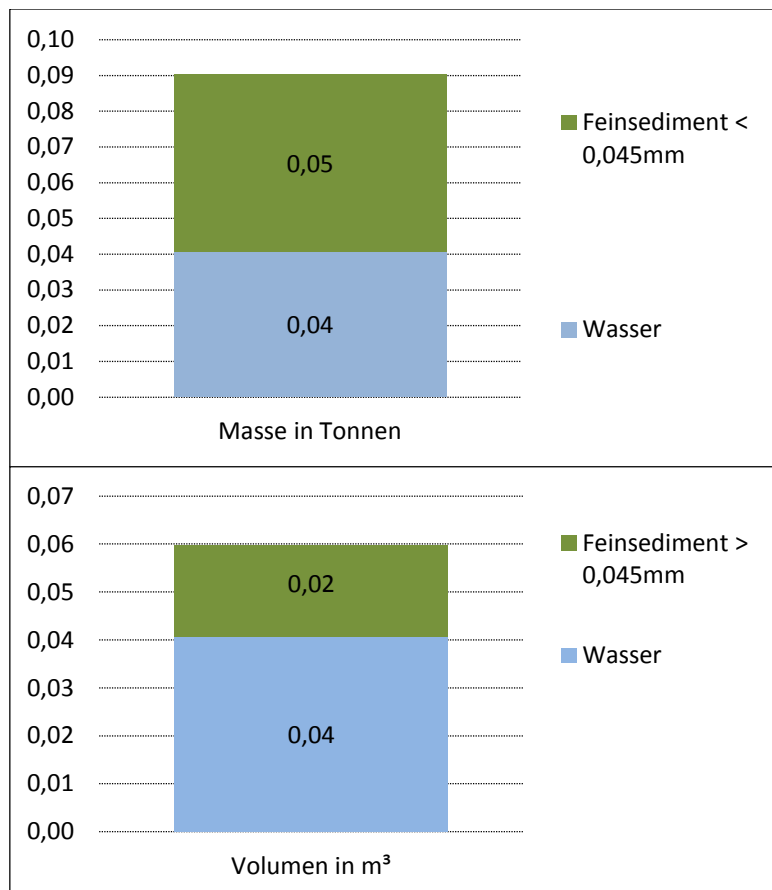
$$\text{Austragsdichte } (\rho) = \frac{\text{Gesamtmasse}}{\text{Gesamtvolumen}} = \frac{0,090 \text{ to}}{0,060 \text{ m}^3} = 1,51 \text{ to/m}^3$$

$$\text{Rücklaufwasser} = 0,305 \text{ to} - 0,041 \text{ to} = 0,265 \text{ to bzw. m}^3$$

$$\text{Ausscheideleistung} = \text{Leistung AKA SEP} \times \text{Gesamtvolumen}_{\text{Feinaustrag}}$$

$$\text{Ausscheideleistung} = 300,0 \times 0,06 \text{ m}^3 = 17,94 \text{ m}^3/\text{h}$$

Das Rücklaufwasser entsteht aus der Differenz der Wassermassen aus Abb. 65 und Abb. 66. Es kann mit einem stündlichen Austrag von 17,94 m<sup>3</sup> bzw. 27,12 to gerechnet werden.



**Abb. 66: Dekanteraustrag (< μm45)**

Betrachtet man den Wasserkreislauf ausgehend von der Anfangssituation in Abb. 61, merkt man, dass sogar mehr Wasser zurückgeführt wird als überhaupt notwendig ist um eine pumpfähige bzw. für die Zyklone verarbeitbare Suspension zu schaffen.

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\text{Rücklaufwasser}_{\text{Gesamt}} = \text{Rücklauf}_{\text{Eindicker}} + \text{Rücklauf}_{\text{Zentrifuge}}$$

$$\text{Rücklaufwasser}_{\text{Gesamt}} = 0,614 \text{ m}^3 + 0,265 \text{ m}^3 = 0,879 \text{ m}^3$$

Zu bemerken bleibt, dass durch das Rücklaufwasser der Zustand in Abb. 61 erreicht werden soll, wobei ein bestimmter Wassergehalt schon vorhanden ist. Da das vorhanden Wasser in Abb. 61 nicht sichtbar ist, kann dieses aus Abb. 60 entnommen und auf Abb. 61 umgelegt werden.

$$\text{Wasser}_{\text{vorhanden}} = \text{Wasser} + \text{Neuwasser (siehe Abb. 60)}$$

$$\text{Wasser}_{\text{vorhanden}} = 0,15 \text{ m}^3 + 0,57 \text{ m}^3 = 0,72 \text{ m}^3$$

Umrechnung auf Abb. 61:

$$\text{Umrechnungsfaktor} = \frac{\text{Gesamtwasser Abb. 61}}{\text{Gesamtwasser Abb. 60}}$$

$$\text{Umrechnungsfaktor} = \frac{0,94 \text{ m}^3}{0,15 \text{ m}^3 + 0,57 \text{ m}^3 + 6,49 \text{ m}^3} = 0,131$$

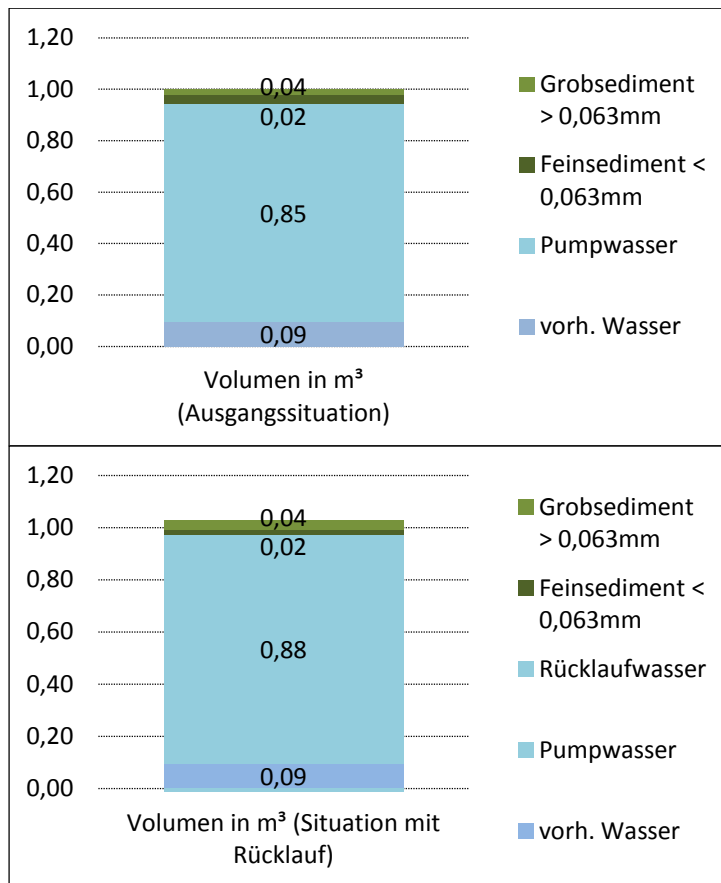
$$\text{Wasser}_{\text{vorhanden}} = 0,72 \text{ m}^3 \times 0,131 = 0,094 \text{ m}^3$$

Ob und in welcher Menge letztendlich zusätzliches Pumpwasser benötigt wird, kann mit Hilfe folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\text{Zusatzwasser} = \text{Gesamtwasser Abb. 61} - \text{Wasser}_{\text{vorhanden}} - \text{Rücklaufwasser}_{\text{Gesamt}}$$

$$\text{Zusatzwasser} = 0,94 \text{ m}^3 - 0,094 \text{ m}^3 - 0,879 \text{ m}^3 = -0,029 \text{ m}^3$$

Damit wird klar, dass aus dem Rücklauf sogar mehr Wasser zur Verfügung steht als erforderlich wäre.



**Abb. 67: Wasserkreislauf mit Rücklaufwasser**

Durch die Anwendung des Einheitswürfels kann auch der Leistungswert, der das Ausleeren bzw. Abarbeiten des Schutenmaterias beschreibt, ermittelt werden. Dabei geht man von der Annahme aus, wie in Abb. 61 gezeigt wird, dass 0,056 m³ bzw. 0,146 to Feststoff 300 Mal in der Stunde durch die AKA SEP 400 umgesetzt werden können. Es verbleibt nur noch die richtige Wassermenge zu ermitteln um die Dichte in der Schute von 1,60 to/m³ (Abb. 59) zu erreichen.

Folgende Rechenschritte und Zusammenhänge gelten:

$$\rho_{\text{Sch}} = 1,60 \text{ to/m}^3 = \frac{\text{Masse}_{\text{Feststoff}} + \text{Masse}_{\text{Wasser}}}{\text{Volumen}_{\text{Feststoff}} + \text{Volumen}_{\text{Wasser}}}$$

$$\text{Masse/Volumen}_{\text{Wasser}} = \frac{0,146 \text{ to} - 1,60 \text{ to/m}^3 \times 0,056 \text{ m}^3}{(1,60 \text{ to/m}^3 - 1)} = 0,09 \text{ to bzw. m}^3$$

$$\text{Gesamtmasse} = 0,09 \text{ to} + 0,146 \text{ to} = 0,24 \text{ to}$$

$$\text{Gesamtvolumen} = 0,09 \text{ m}^3 + 0,056 \text{ m}^3 = 0,15 \text{ m}^3$$

Multipliziert man nun das Gesamtvolumen mit 300 (reduzierter Leistungswert der gewählten Separieranlage), ergibt sich der nachfolgende Leistungswert:

$$\text{Leistungswert}_{\text{Schutematerial}} = 0,15 \text{ m}^3 \times 300 = 45,13 \text{ m}^3/\text{h}$$

Unter der Anwendung dieses Leistungsansatzes kann der Schuteninhalt von 850,0 m<sup>3</sup> in 18,83 h (2-Tagesleistung) abgearbeitet werden.

Aus der Betrachtung des Einheitswürfels und der darin stattfindende Materialflüsse können auch wertvolle Informationen für die Bemessung der Separieranlage, des statischen Eindickers und der Zentrifuge entnommen werden. Während das Volumen aus Abb. 61 (1 m<sup>3</sup>) multipliziert mit 300 die Durchsatzleistung der Separieranlage ergibt, kann aus Abb. 64 die erforderliche Leistung für den statischen Eindicker hergeleitet werden. Demnach gilt:

$$\text{Durchsatzleistung}_{\text{Eindicker}} = 0,94 \text{ m}^3 \times 300 = 281,62 \text{ m}^3/\text{h}$$

Für die Zentrifuge gilt die Betrachtung des Volumens aus Abb. 65:

$$\text{Durchsatzleistung}_{\text{Zentrifuge}} = 0,325 \text{ m}^3 \times 300 = 97,37 \text{ m}^3/\text{h}$$

Alle ermittelten Ergebnisse in diesem Kapitel, dienen als Grundlage für die Kostenkalkulation im nächsten Kapitel und wurden auf Basis der in Abb. 57 gezeigten Sieblinie ermittelt. Tab. 16 und Tab. 17 zeigen eine Zusammenfassung der Eingabe- und Ausgabewerte. Es wird auch verdeutlicht, dass die Variation der Eingabeparameter zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Im Kapitel 6.8 werden bestimmte Varianten mit ihren Auswirkungen auf die Kosten simuliert.

<u>Eingabewerte:</u>		
Leistung AKA SEP 400:	300,00	m <sup>3</sup> /h
Trennschnitt:	0,045	mm
Grobkorn:	66,00	%
Feinkorn:	34,00	%
Korndichte:	2,60	to/m <sup>3</sup>
Wasserdichte:	1,00	to/m <sup>3</sup>
max.Pumpdichte:	1,09	to/m <sup>3</sup>
Wassergehalt nach Grobsieb:	30,00	%
Schuteninhalt:	850,00	m <sup>3</sup>
Porenanteil Flusssohle:	0,57	
Probenvolumen:	1,00	m <sup>3</sup>
Auflockerungsfaktor:	1,15	
Porenanteil AKA SEP Abwurf:	0,55	
Wassergehalt AKA SEP Abwurf:	20,00	%
Trockensubstanz Eindicker:	14,00	%
Trockensubstanz Dekanter:	55,00	%

**Tab. 16: Zusammenfassung der Eingabewerte**



<u>Ausgabewerte:</u>		
Dichte Flusssohle:	1,688	to/m <sup>3</sup>
Wassergehalt Flusssohle:	33,77	%
Dichte aufgelockerter Boden:	1,47	to/m <sup>3</sup>
Wassergehalt aufgelockert:	39,17	%
Feuchtdichte mit Überschusswasser:	1,60	to/m <sup>3</sup>
erf. Wassermenge:	6,49	m <sup>3</sup>
Wassergehalt mit Pumpwasser:	86,58	%
Feststoffanteil Zyklonbeaufschlagung:	143,67	g/l
Feuchtdichte nach Entsandung:	1,46	to/m <sup>3</sup>
Dichte nach Zyklon:	1,03	to/m <sup>3</sup>
Wassergehalt nach Zyklon:	94,87	%
Feuchtdichte nach Eindickung:	1,09	to/m <sup>3</sup>
Feuchtdichte nach Zentrifuge:	1,51	to/m <sup>3</sup>
erf. Pumpleistung:	ZU VIEL WASSER	m <sup>3</sup> /h
Leistung Schutenmaterial:	45,13	m <sup>3</sup> /h
Dauer Schutenentleerung:	18,83	h
Durchsatz Eindicker:	281,62	m <sup>3</sup> /h
Durchsatz Zentrifuge:	97,37	m <sup>3</sup> /h

Tab. 17: Zusammenfassung der Ausgabewerte

## 6.5 Kalkulation mit Aufbereitung

### 6.5.1 Randbedingungen

Schon aus dem Einheitswürfel können wichtige Informationen für die Kalkulation abgeleitet werden. Beispielsweise gilt die Separieranlage als Schlüsselgerät bei der Leistungsermittlung. Daher müssen sämtliche Geräte vor und nach der Separieranlage an diese Leistung dieser angepasst werden. Der Leistungswert der der verwendeten Separieranlage entspricht der Leistung  $_{\text{Schutenmaterial}}$ , die mit 45,13 m<sup>3</sup>/h ermittelt wurde. Zudem kann aus diesem Leistungsansatz auch auf die Leistung für den Kubikmeter festen Sohlenmaterials geschlossen werden. Diese Umrechnung ist deshalb notwendig, weil die im Leistungsverzeichnis in m<sup>3</sup> angegebenen Anlandungsmassen einen Preis verlangen. Betrachtet man hierfür die Volumensveränderung zwischen Abb. 58 und Abb. 59, erkennt man sehr leicht, dass ein 1,0 m<sup>3</sup> Flusssohlenmaterial 1,15 m<sup>3</sup> Schutenmaterial entspricht. Somit gilt:

$$\text{Leistungswert}_{\text{Flusssohle}} = \frac{45,13}{1,15} = 39,24 \text{ m}^3/\text{h}$$

Betrachtet man in der Tab. 15 nur die Bereiche 1, 2 und 3, so geht hervor, dass 11.000 m<sup>3</sup> angelandeter Sedimente ausgebaggert werden müssen. Die Gesamtdauer für die Nassbaggerarbeiten kann unter der Annahme von 9 Stunden pro Arbeitstag folgendermaßen ermittelt werden:

$$\text{Gesamtdauer} = \frac{11000 \text{ m}^3}{39,24 \text{ m}^3/\text{h}} = 280,33 \text{ h} \text{ bzw. } \frac{280,33 \text{ h}}{9,00 \text{ h/d}} = 31,15 \text{ d}$$

Um keine Stehzeiten des Schlüsselgeräts zu verursachen, darf die Beladezeit der leeren Schute sowie der Hin- und Rücktransport zwischen Baggerstelle und Umschlagplatz nicht länger als 18,83 Stunden dauern. Da der Stelzenponton zwischen mehreren Baggerstellen bewegt werden muss, sind Zeitverluste zu berücksichtigen. Auch alle Anlegemanöver sowohl beim Umschlagplatz als auch beim Stelzenponton müssen in die Berechnung einfließen. Um den konstanten Betrieb der Separieranlage zu erhalten gilt:

$$\text{Dauer}_{\text{Entleerung (18,83 h)}} > \text{Dauer}_{\text{Beladung + Umsetzen}}$$

Die Dauer<sub>Beladung + Umsetzen</sub> besteht aus folgenden Teilen:

Reine Baggerzeit bei 850 m <sup>3</sup> Schuteninhalt:	952,2 min (siehe Kapitel 6.5.2)
Bewegen zw. Baggerabschnitten bei 850 m <sup>3</sup> Inhalt:	30,0 min (Annahme)
Hin- und Rücktransport bei 1 km Entfernung:	20,0 min (Annahme)
Anlegen Umschlagplatz volle Schute:	20,0 min (Annahme)
Anlegen Stelzenponton leere Schute:	20,0 min (Annahme)
<b>Summe</b>	<b>1.042,2 min</b>

## 6.5.2 Leistung Hydraulikbagger

Für die Nassbaggerung wurde ein CAT 345 mit langer Ausrüstung gewählt. Die wichtigsten Geräteeigenschaften sind im Anhang 2 in Abb. 82 bis Abb. 85 dargestellt. Abgesehen von der großen Reichweite des Baggers kann durch einen Tieflöffel mit 1,19 m<sup>3</sup> Inhalt ein Schüttgewicht von maximal 1,8 to/m<sup>3</sup> (im Anhang 2, Abb. 85) aufgenommen werden. Somit kann die im Einheitswürfel ermittelte und durch den Baggervorgang aufgelockerte Dichte von 1,6 to/m<sup>3</sup> aufgenommen werden. Die Leistung des Baggers kann mit Hilfe folgender Annahmen ermittelt werden:

Löffelinhalt:	1,19 m <sup>3</sup>
Ladespiele pro Stunde:	50 LS/h
Füllfaktor:	90 %

$$\text{Leistungswert}_{\text{Bagger}} = 50 \times 1,19 \times 0,90 = 53,55 \text{ m}^3/\text{h}$$

Unter Anwendung des ermittelten Leistungswertes kann auch die reine Beladezeit einer Schute berechnet werden:

$$\text{Dauer}_{\text{Beladung}} = \frac{850 \text{ m}^3}{53,55 \text{ m}^3/\text{h}} = 15,87 \text{ h bzw. } 952,20 \text{ min}$$

Somit gilt:

$$\text{Dauer}_{\text{Beladung} + \text{Umsetzen}} = 15,87 \text{ h} + 0,5 \text{ h} + 1,0 \text{ h} = 17,37 \text{ h}$$

Damit wird auch folgende Bedingung eingehalten:

$$\text{Dauer}_{\text{Entleerung}} (18,83 \text{ h}) > \text{Dauer}_{\text{Beladung} + \text{Umsetzen}} (17,37 \text{ h})$$

### 6.5.3 Leistung Aufbereitungsgeräte

Beginnend mit der baggergesteuerten Tauchpumpe und der Separieranlage gilt für beide Geräte der abgeminderte Leistungsansatz der Anlage mit  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  bzw. die Leistung  $\text{Schutenmaterial}$  mit  $45,13 \text{ m}^3/\text{h}$  (siehe Einheitswürfel). Da die Tauchpumpe bis zu  $420 \text{ m}^3/\text{h}$  leisten kann, können die erforderlichen  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  leicht eingehalten werden.

Der erforderliche Leistungswert für den Eindicker wurde im Einheitswürfel mit der Durchsatzleistung  $\text{Eindicker}$  von  $281,62 \text{ m}^3/\text{h}$  bereits ermittelt. Demnach sind zwei Vertikalklär-tanks mit je  $160 \text{ m}^3/\text{h}$  (siehe Kapitel 4.4.2) notwendig.

$$\text{Leistung}_{\text{Vertikalklär tank}} (2 \times 160 \text{ m}^3/\text{h} = 320 \text{ m}^3/\text{h}) > \text{erf. Leistung}_{\text{Vertikalklär tank}} (281,62 \text{ m}^3/\text{h})$$

Der Einheitswürfel liefert auch für die Zentrifugen die erforderliche Leistung mit  $97,37 \text{ m}^3/\text{h}$ . Somit ist der Einsatz nur einer Zentrifuge mit  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  (siehe Kapitel 4.4.3) notwendig.

$$\text{Leistung}_{\text{Zentrifuge}} (100 \text{ m}^3/\text{h}) > \text{erf. Leistung}_{\text{Zentrifuge}} (97,37 \text{ m}^3/\text{h})$$

Der Flockungsmittelanlage fließt bei der Leistungsermittlung keine große Bedeutung zu.

### 6.5.4 Leistung Radlader

Die stündliche Austragsmenge der Separieranlage und der Zentrifuge wurde bereits in Kapitel 6.4 ermittelt. Demnach gilt:

$$\text{Austrag}_{\text{AKA SEP 400}} = 24,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Austrag}_{\text{Zentrifuge}} = 17,94 \text{ m}^3/\text{h}$$

Die Leistung des gewählten Radladers (siehe Kapitel 4.4.5) kann mit Hilfe folgender Annahmen ermittelt werden:

Löffelinhalt:	1,80 m <sup>3</sup>
Ladespiele pro Stunde:	60 LS/h
Füllfaktor:	90 %

$$\text{Leistungswert}_{\text{Radlader}} = 60 \times 1,80 \times 0,90 = 97,20 \text{ m}^3/\text{h}$$

Damit kann die erforderliche Ladeleistung gedeckt werden:

$$\text{tats. Ladeleistung}_{(97,20 \text{ m}^3/\text{h})} > \text{erf. Ladeleistung}_{(42,69 \text{ m}^3/\text{h})}$$

Abhängig von der Dichte der Austräge können auch die Ladespiele pro Sattelzug in folgender Weise berechnet werden:

Nutzlast Sattelzug:	24,70 to
Dichte Austrag:	ca. 1,50 t/m <sup>3</sup> (1,51 to/m <sup>3</sup> bzw. 1,46 t/m <sup>3</sup> )
max. Laderaum:	28,0 m <sup>3</sup>

$$\text{Ladevolumen}_{\text{Sattelzug}} = \frac{24,70 \text{ to}}{1,50 \text{ m}^3/\text{t}} = 16,50 \text{ m}^3$$

$$\text{Ladespiele pro Sattelzug} = \frac{16,50 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m}^3 * 0,9} = 10,2 \text{ LS}$$

$$\text{Beladezeit pro Sattelzug} = 10,2 \text{ LS} \times 1,0 \text{ LS}/\text{min} = 10,2 \text{ min}$$

### 6.5.5 Leistung Sattelzug

Bei der Verfuhr wird zwischen den gröbereren Sedimenten aus der Separieranlage und den feineren aus der Zentrifuge unterschieden. Es wird angenommen, dass das Grobsediment wegen seiner Eigenschaften und der geringen Belastung bei einer 5 km entfernten Damm- baumaßnahme Verwendung finden kann. Die feineren Sedimente aus der Zentrifuge werden dagegen im 30 km entfernten Steinbruch Pfraundorf als Auffüllmaterial verwertet.

Die Umlaufzeit eines Sattelzugs beim Grobsedimenttransport kann wie folgt ermittelt werden:

Beladezeit:	10,2 min
Hinfahrt mit durchschn. 30 km/h:	Fahrzeit = $\frac{5,0 \text{ km}}{30 \text{ km}/\text{h}} \times 60 \text{ min} = 10,0 \text{ min}$
Abladezeit:	3,0 min
Rückfahrt mit durchschn. 40 km/h:	Fahrzeit = $\frac{5,0 \text{ km}}{40 \text{ km}/\text{h}} \times 60 \text{ min} = 7,5 \text{ min}$

$$\text{Umlaufzeit}_{\text{Sattelzug}} = 10,2 + 10,0 + 3,0 + 7,5 = 30,7 \text{ min}$$

$$\text{Leistung}_{\text{Sattelzug}} = \frac{60 \text{ min/h}}{30,7 \text{ min/Umlauf}} \times 16,5 \text{ m}^3/\text{h} = 32,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

Damit ist für den Grobsedimenttransport nur ein Sattelzug notwendig weil folgendes gilt:

$$\text{Leistung}_{\text{Sattelzug}} (32,25 \text{ m}^3/\text{h}) > \text{Austrag}_{\text{AKA SEP 400}} (24,75 \text{ m}^3/\text{h})$$

Für die Umlaufzeit eines Sattelzugs beim Feinsedimenttransport gilt:

$$\text{Beladezeit:} \quad 10,2 \text{ min}$$

$$\text{Hinfahrt mit durchschn. 30 km/h:} \quad \text{Fahrzeit} = \frac{30,0 \text{ km}}{30 \text{ km/h}} \times 60 \text{ min} = 60,0 \text{ min}$$

$$\text{Abladezeit:} \quad 3,0 \text{ min}$$

$$\text{Rückfahrt mit durchschn. 40 km/h:} \quad \text{Fahrzeit} = \frac{30,0 \text{ km}}{40 \text{ km/h}} \times 60 \text{ min} = 45,0 \text{ min}$$

$$\text{Umlaufzeit}_{\text{Sattelzug}} = 10,2 + 60,0 + 3,0 + 45,0 = 118,2 \text{ min}$$

$$\text{Leistung}_{\text{Sattelzug}} = \frac{60 \text{ min/h}}{118,2 \text{ min/Umlauf}} \times 16,5 \text{ m}^3/\text{h} = 8,375 \text{ m}^3/\text{h} (< 17,94 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$\text{erf. Sattelzüge} = \frac{17,94 \text{ m}^3/\text{h}}{8,375 \text{ m}^3/\text{h}} = 2,14 \text{ LKWs} \quad (\text{gewählt 3 LKWs})$$

Damit gilt für den Grobsedimenttransport:

$$\text{Leistung}_{\text{Sattelzüge}} (25,12 \text{ m}^3/\text{h}) > \text{Austrag}_{\text{Zentrifuge}} (17,94 \text{ m}^3/\text{h})$$

### 6.5.6 Kostenermittlung

Die Kostenkalkulation erfolgt auf Basis der Österreichischen Baugeräteliste (ÖBGL). Zusätzliche werden folgende Annahmen getroffen:

Abminderungsfaktoren der monatlichen Sätze für:

Abschreibung und Verzinsung:	0,45
Reparaturentgelt:	0,50
Arbeitsstunden/Monat:	189,0
Arbeitstage/Monat:	21,0
Diesel:	1,26 €/l
Mittellohnkosten:	30,0 €/h
Schmiermittelkosten:	10 % von Diesel
Bei Geräten ohne ÖBGL-Bezug gilt:	
monatlicher Satz für A. u. V.	2,5 % vom Neuwert
monatlicher Satz für Reparatur	2,8 % vom Neuwert

Kosten Hydraulikbagger:

Um den Anforderungen aus der Leistungsermittlung zu entsprechen, wurde ein Hydraulikbagger mit Tieflöffel, Monoblockausleger und Schnellwechseleinrichtung gewählt.

Listennummer	Gerät	Eigenschaft	Monatlicher A. u. V.	Monatliche Reparatur
D.1.00.0230	Hydraulikbagger	230 kW	8.850,0 €	6.050,0 €
D.1.40.0300	Ausleger	7,2 m	1.490,0 €	1.020,0 €
D.1.60.1200	Tieflöffel	1,2 m <sup>3</sup>	109,0 €	109,0 €
D.1.60.***-AD	Schnellwechsler	+ 50 % auf Tieflöffel	109,0 € x 0,5	109,0 € x 0,5

**Tab. 18: CAT 345 nach ÖBGL**

AV/h:	$(109 \text{ €/Mo} \times 1,5 + 8.850,0 \text{ €/Mo} + 1.490,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 25,01 €/h
Rep/h:	$(109 \text{ €/Mo} \times 1,5 + 6.050,0 \text{ €/Mo} + 1.020,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 19,14 €/h
Diesel:	$230 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 57,96 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 5,80 €/h
Fahrer:	30 €/h x 1,1 (Schmierstunde)	= 33,00 €/h
<hr/> <i>Hydraulikbaggerkosten inkl. Ausrüstung je Betriebsstunde</i>		<i>140,90 €/h</i>

Kosten Stelzenponton:

Für den Stelzenponton der Firma Felbermayr werden firmeninterne monatliche Sätze für die Abschreibung & Verzinsung und Reparaturen angesetzt.

AV/h:	$(11.560,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 27,52 €/h
Rep/h:	$(8.000,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 21,16 €/h
Diesel:	$230 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 3,63 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 0,36 €/h
Fahrer:	30 €/h x 1,1 (Schmierstunde)	= 33,00 €/h
<hr/> <i>Pontonkosten je Betriebsstunde</i>		<i>85,68 €/h</i>

Kosten Schubleichter:

Für den unbemannten und antriebslosen Schubleichter gelten firmeninterne Sätze für Abschreibung & Verzinsung und Reparatur.

AV/h:	$(4.800,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 11,43 €/h
Rep/h:	$(6.000,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 15,88 €/h
<i>Schubleichterkosten je Betriebsstunde</i>		<i>27,30 €/h</i>

Kosten Motorschiff:

Für das Motorschiff werden firmeninterne Sätze angesetzt, jedoch nochmals um den Faktor 0,33 abgemindert, da die reine Tagesarbeitszeit des Schiffes nur 3 Stunden beträgt.

AV/h:	$(4.120,0 \text{ €/Mo}) \times 0,33 \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 3,27 €/h
Rep/h:	$(10.000,0 \text{ €/Mo}) \times 0,33 \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 8,82 €/h
Diesel:	$492 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 41,33 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 4,13 €/h
Fahrer:	$30 \text{ €/h} \times 1,1 \text{ (Schmierstunde)}$	= 33,00 €/h
Matrose:	30 €/h	= 30,00 €/h
<i>Motorschiffkosten je Betriebsstunde</i>		<i>120,55 €/h</i>

Kosten baggergesteuerte Tauchpumpe:

Bei den monatlichen Sätzen für die Tauchpumpe und den Hydraulikbagger gelten die Ansätze aus der ÖBGL (2009).

Listennummer	Gerät	Eigenschaft	Monatlicher A. u. V.	Monatliche Reparatur
D.1.00.0130	Hydraulikbagger	130 kW	4.990,0 €	3.090,0 €
D.1.40.0300	Ausleger	6,1 m	535,0 €	371,0 €
D.1.60.1200	Leitungen	15,0 m	90,0 €	20,0 €
G.1.50.0055	Tauchpumpe	55 kW (62 kW)	2.270,0 €	1.300,0 €

**Tab. 19: Baggergesteuerte Tauchpumpe nach ÖBGL**

AV/h:	$(2.270,0 \text{ €/Mo} + 4.990,0 \text{ €/Mo} + 535,0 \text{ €/Mo} + 90,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 18,77 €/h
Rep/h:	$(1.300,0 \text{ €/Mo} + 3.090,0 \text{ €/Mo} + 371,0 \text{ €/Mo} + 20,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 12,64 €/h
Diesel:	$192 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 48,38 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 4,84 €/h
Fahrer:	$30 \text{ €/h} \times 1,1 \text{ (Schmierstunde)}$	= 33,00 €/h
<hr/>		
<i>Kosten Baggergesteuerte Tauchpumpe je Betriebsstunde</i>		<i>117,64 €/h</i>

Kosten Separieranlage:

Bei der Separieranlage werden die monatlichen Sätze auf Basis des Neuwertes, den die Firma AKW mit 257.500 € angibt, errechnet. Die Kosten der Stromerzeugung mittels Aggregat können mit Hilfe der ÖBGL (R.0.10.0125) angesetzt werden.

AV/h:	$(9.012,0 \text{ €/Mo} + 625,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 16,82 €/h
Rep/h:	$(7.210,0 \text{ €/Mo} + 323,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 19,93 €/h
Diesel:	$110 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 27,72 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 2,77 €/h
1 x Bedienpersonal:	$30 \text{ €/h} \times 1,1 \text{ (Schmierstunde)}$	= 33,00 €/h
<hr/>		
<i>Kosten Separieranlage je Betriebsstunde</i>		<i>100,24 €/h</i>

Kosten Eindicker mit Flockungsanlage:

Da keine genauen Daten hinsichtlich der Kosten beim statischen Eindicker bekannt sind, wird ein Neuwert von 30.000 € angesetzt. Zum Vergleich kostet ein Lagertank für Öl mit ähnlichen Abmessungen wie der VC 2500 (siehe Kapitel 4.4.2) ca. 24.060 € (Brutto).<sup>103</sup> Bei der Flockungsanlage wird ein Neuwert von 20.000 € angenommen. Die Stromerzeugung für den Eindicker und die Flockungsanlage wird mittels ÖBGL-Aggregat (R.0.10.0050) gesichert.

AV/h:	$(1.050,0 \text{ €/Mo} + 700,0 \text{ €/Mo} + 350 \text{ €/Mo}) \times 0,45 /189 \text{ h/Mo}$	= 3,81 €/h
Rep/h:	$(840,0 \text{ €/Mo} + 5.600 \text{ €/Mo} + 182 \text{ €/Mo}) \times 0,50 /189 \text{ h/Mo}$	= 4,18 €/h
Diesel:	$39 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 9,83 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 0,98 €/h
1 x Bedienpersonal:	$30 \text{ €/h} \times 1,1 \text{ (Schmierstunde)}$	= 33,00 €/h
<hr/>		
<i>Kosten Eindicker und Flockungsanlage je Betriebsstunde</i>		<i>51,81 €/h</i>

<sup>103</sup> Vgl. Preisliste Firma BARTH - Lagertanks für Öl, Diesel und Benzin, 2008, S.7



Kosten Zentrifuge:

Die monatlichen Sätze für die Zentrifuge (Firma ITE GmbH) werden aus dem Neuwert von 350.000 € abgeleitet. Die Stromerzeugung wird mittels ÖBGL-Aggregat (R.0.10.0250) erzielt. Zu beachten ist, dass das Personal des Eindickers auch die Bedienung und Überwachung des Dekaners übernimmt.

AV/h:	$(12.250,0 \text{ €/Mo} + 990,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 23,19 €/h
Rep/h:	$(9.800,0 \text{ €/Mo} + 510,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 27,28 €/h
Diesel:	$170 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 42,84 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 4,28 €/h
1 x Bedienpersonal:	siehe Eindicker!	= 0,00 €/h
<hr/>		
<i>Kosten Zentrifuge je Betriebsstunde</i>		<i>97,59 €/h</i>

Kosten Radlader:

Als Radlader wird das Gerät mit der Nummer D.3.10.0080 aus der ÖBGL gewählt, da dieses von einem Schaufelinhalt von 1,8 m³ ausgelegt ist.

AV/h:	$(3.760,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 8,95 €/h
Rep/h:	$(3.160,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 8,36 €/h
Diesel:	$80 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 20,16 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 2,02 €/h
Fahrer:	$30 \text{ €/h} \times 1,1 \text{ (Schmierstunde)}$	= 33,00 €/h
<hr/>		
<i>Kosten Radlader je Betriebsstunde</i>		<i>72,49 €/h</i>

Kosten Sattelzug:

Bei der Ermittlung der Kosten des Sattelzuges wurde von einem mittleren Neuwert der Zugmaschine von 70.000 € und des Sattels von 25.000 € ausgegangen.

AV/h:	$(3.325,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	= 7,92 €/h
Rep/h:	$(2.660,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	= 7,04 €/h
Diesel:	$353 \text{ kW} \times 0,10 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	= 44,48 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	= 4,45 €/h
Fahrer:	$30 \text{ €/h} \times 1,1 \text{ (Schmierstunde)}$	= 33,00 €/h
<hr/>		
<i>Kosten Sattelzug je Betriebsstunde</i>		<i>96,88 €/h</i>

### Kosten Büro- bzw. Aufenthaltscontainer:

Die monatlichen Sätze wurde aus einem Neuwert von 5.480 € berechnet.<sup>104</sup>

AV/h:	$(137,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	=	0,33 €/h
Rep/h:	$(153,44 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	=	0,40 €/h
<hr/>			
<i>Kosten Büro- bzw. Aufenthaltscontainer je Betriebsstunde</i>			<i>0,73 €/h</i>

### Kosten Sanitärcontainer:

Die monatlichen Sätze wurde aus einem Neuwert von 11.750 € berechnet.<sup>105</sup>

AV/h:	$(293,75 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	=	0,70 €/h
Rep/h:	$(329,00 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	=	0,88 €/h
<hr/>			
<i>Kosten Sanitärcontainer je Betriebsstunde</i>			<i>1,57 €/h</i>

### Kosten Werkzeugcontainer:

Die monatlichen Sätze wurde aus einem Neuwert von 2.239,50 € berechnet.<sup>106</sup>

AV/h:	$(55,99 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo}$	=	0,13 €/h
Rep/h:	$(62,71 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo}$	=	0,16 €/h
<hr/>			
<i>Kosten Werkzeugcontainer je Betriebsstunde</i>			<i>0,30 €/h</i>

### Gesamtkosten:

Zusätzlich zu den Kosten der einzelnen Geräte werden noch folgende Kosten angesetzt:

### Tiefladertransporte (Wels - Riedenburg):

Die Kosten für An- und Abtransport der Geräte und Container mittels Tieflader werden mit 95 €/h angenommen. Um die Kosten gering zu halten, werden pro Tiefladertransport immer zwei 20-Fuß-Container verfahren. Je nach Größe und Gewicht werden auch bis zu zwei verschiedene Aufbereitungsgeräte transportiert.

---

<sup>104</sup> <http://www.steinecker-container.de/aktionen/buerocontainer-preise.html>

<sup>105</sup> <http://www.steinecker-container.de/aktionen/Sanitaer-preise.html>

<sup>106</sup> <http://www.ebay.de/bhp/seecontainer-20-fuss>

Separieranlage:	2 x 4h x 95 €/h	=	760,00 €
Eindicker und Absetzbecken:	2 x 4h x 95 €/h	=	760,00 €
Dekanter und Flockungsanlage:	2 x 4h x 95 €/h	=	760,00 €
Radbagger mit Tauchpumpe:	2 x 4h x 95 €/h	=	760,00 €
Radlader	2 x 4h x 95 €/h	=	760,00 €
Bürocontainer + Sanitärcontainer	2 x 4h x 95 €/h	=	760,00 €
2 Aufenthaltscontainer	2 x 4h x 95 €/h	=	760,00 €
2 Werkzeugcontainer	2 x 4h x 95 €/h	=	760,00 €
			<hr/>
			6.080,00 €

Für den Transport der Schubleichter und des Stelzenpontons mit Bagger im Schubverband mit dem Schubschiff wird eine Transportgeschwindigkeit von 7 km/h angesetzt. Dabei wird von einer Wasserstraßenstrecke bis zum Einsatzort von ca. 300 km ausgegangen.

$$\text{Transportzeit}_{\text{Schubverband}} = \frac{300 \text{ km}}{7 \text{ km/h}} = 41,86 \text{ h}$$

damit gilt:

$$\text{Schiffstransport:} \quad 2 \times 41,86 \text{ h} \times 120,55 \text{ €/h} \quad = \quad 10.332,86 \text{ €}$$

Für das Aufstellen und Räumen der Geräte und Container sowie aller anderen Arbeiten, die die Baustelleneinrichtung betreffen, wird ein pauschaler Betrag von 7.000 € angesetzt.

Aus der Gerätebenutzung geht hervor, dass 8 Mitarbeiter auf der Baustelle tätig sind. Die Sattelzüge und deren Fahrer gehören dagegen einer Fremdfirma an und arbeiten nur auf Regie zu den ermittelten Stundensätzen. Die 8 Mitarbeiter werden während der gesamten Bauzeit in einem nahegelegenen Quartier untergebracht.

Die Kosten dafür belaufen sich auf:

$$\text{Übernachtung:} \quad 8 \times 32 \text{ d} \times 25 \text{ €/d} \quad = \quad 6.400,00 \text{ €}$$

Aus der Kalkulation ergeben sich die Gesamtkosten wie folgt:

Hydraulikbagger	140,90 €/h x 280,33 h	=	39.493,91 €
Stelzenponton	85,68 €/h x 280,33 h	=	24.015,65 €
2 Schubleichter	27,30 €/h x 2 x 280,33 h	=	15.305,07 €
Motorschiff	120,55 €/h x 280,33 h	=	33.789,43 €
Bagger + Tauchpumpe	117,64 €/h x 280,33 h	=	32.975,28 €
Separieranlage	100,24 €/h x 280,33 h	=	28.095,79 €

2 Eindicker und Flock-Anlagen	51,81 €/h x 2 x 280,33 h	= 29.041,78 €
Dekanter	97,59 €/h x 280,33 h	= 27.354,01 €
4 Sattelzüge	96,88 €/h x 4 x 280,33 h	= 108.619,86 €
Radlader	72,49 €/h x 280,33 h	= 20.318,17 €
Baustelleneinrichtung	6.080 € + 7.000 € + 10.332,86 €	= 23.412,86 €
Container (Alle)	(1,57 €/h + 3 x 0,73 €/h + + 2 x 0,30 €/h) x 280,33 h	= 1.222,09 €
Übernachtung	6.400 €	= 6.400,00 €
		<hr/>
		= 390.043,90 €

Die Kosten bezogen auf einen m<sup>3</sup> Sohlenmaterial betragen damit:

$$\frac{390.043,90 \text{ €}}{11.000 \text{ m}^3} = 35,46 \text{ €/m}^3$$

## 6.6 Kalkulation ohne Aufbereitung

Zum Unterschied zu Kapitel 6.5 werden die ausgebagerten Baggergutmassen ohne vorherige Separierung und Entwässerung direkt zum Steinbruch Pfraundorf transportiert. Das grundsätzliche Gerätekonzept am Wasser aus Kapitel 6.5 wird beibehalten.

### 6.6.1 Leistung Kettenbagger (Stelzenponton)

Als Schlüsselgeräte wird nun der Hydraulikbagger CAT 385 am Stelzenponton angesetzt. Die Leistung des Baggers kann mit Hilfe folgender Annahmen ermittelt werden:

Löffelinhalt:	2,00 m <sup>3</sup>
Ladespiele pro Stunde:	50 LS/h
Füllfaktor:	90 %

$$\text{Leistungswert}_{\text{Bagger}} = 50 \times 2,00 \times 0,90 = 90,00 \text{ m}^3/\text{h}$$

Die Beladezeit der Schute beträgt damit:

$$\text{Dauer}_{\text{Beladung}} = \frac{850 \text{ m}^3}{90,00 \text{ m}^3/\text{h}} = 9,44 \text{ h}$$

Somit gilt:

$$\text{Dauer}_{\text{Beladung} + \text{Umsetzen}} = 9,44 \text{ h} + 0,5 \text{ h} + 1,0 \text{ h} = 10,94 \text{ h}$$

### 6.6.2 Leistung Radbagger (Umschlagplatz)

Um keinen Stillstand des Hydraulikbaggers beim Umschlagplatz und der damit verbundenen Sattelzugkolonne zu verursachen, darf die Entladezeit die zuvor ermittelten 10,94 Stunden nicht unterschreiten. Als geeignetes Gerät für den Baggergutumschlag eignet sich ein Hydraulikbagger mit einem Zweischalengreifer. Aus Abb. 92 in Anhang 2 geht hervor, dass bei der Wahl eines Greifers mit 1,05 m<sup>3</sup> Inhalt ein Baggergewicht von 15 - 25 Tonnen erforderlich ist. Als geeignetes Gerät wird ein CAT M 322 D eingestuft. Folgende Annahmen gelten für die Leistungsberechnung:

Löffelinhalt:	1,05 m <sup>3</sup>
Ladespiele pro Stunde:	70 LS/h
Füllfaktor:	90 %

$$\text{Leistungswert}_{\text{Bagger}} = 70 \times 1,05 \times 0,90 = 66,15 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Gesamtdauer} = \frac{11.000 \text{ m}^3}{(66,15 \text{ m}^3/\text{h})/1,15} = 191,23 \text{ h} \text{ bzw. } \frac{191,23 \text{ h}}{9,00 \text{ h/d}} = 21,24 \text{ d}$$

Abhängig von der Dichte der Austräge können auch die Ladespiele pro Sattelzug auf folgende Weise berechnet werden:

Nutzlast Sattelzug:	24,70 to
Dichte Austrag:	1,60 to/m <sup>3</sup> (siehe Abb. 59)
max. Laderaum:	28,0 m <sup>3</sup>

$$\text{Ladevolumen}_{\text{Sattelzug}} = \frac{24,70 \text{ to}}{1,60 \text{ to/m}^3} = 15,50 \text{ m}^3$$

$$\text{Ladespiele pro Sattelzug} = \frac{15,50 \text{ m}^3}{1,05 \text{ m}^3 \times 0,9} = 16,35 \text{ LS}$$

$$\text{Beladezeit pro Sattelzug} = 16,35 \text{ LS} \times 60/70 \text{ min/LS} = 14,02 \text{ min}$$

### 6.6.3 Leistung Sattelzug

Für die Umlaufzeit eines Sattelzugs beim Baggerguttransport gilt:

Beladezeit:	14,02 min
Hinfahrt mit durchschn. 30 km/h:	Fahrzeit = $\frac{30,0 \text{ km}}{30 \text{ km/h}} \times 60 \text{ min} = 60,0 \text{ min}$
Abladezeit:	3,0 min
Rückfahrt mit durchschn. 40 km/h:	Fahrzeit = $\frac{30,0 \text{ km}}{40 \text{ km/h}} \times 60 \text{ min} = 45,0 \text{ min}$

$$\text{Umlaufzeit}_{\text{Sattelzug}} = 14,02 + 60,0 + 3,0 + 45,0 = 122,02 \text{ min}$$

$$\text{Leistung}_{\text{Sattelzug}} = \frac{60 \text{ min/h}}{122,02 \text{ min/Umlauf}} \times 15,5 \text{ m}^3/\text{h} = 7,60 \text{ m}^3/\text{h} (< 66,15 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$\text{erf. Sattelzüge} = \frac{66,15 \text{ m}^3/\text{h}}{7,60 \text{ m}^3/\text{h}} = 8,70 \text{ LKWs} \quad (\text{gewählt } 9 \text{ LKWs})$$

Damit gilt für den Baggerguttransport:

$$\text{Leistung}_{\text{Sattelzüge}} (68,39 \text{ m}^3/\text{h}) > \text{Umschlag}_{\text{Radbagger}} (66,15 \text{ m}^3/\text{h})$$

### 6.6.4 Kostenermittlung

Es gelten die Ansätze aus Kapitel 6.5.6.

Listennummer	Gerät	Eigenschaft	Monatlicher A. u. V.	Monatliche Reparatur
D.1.00.0230	Hydraulikbagger	390 kW	15.000,0 €	12.000,0 €
D.1.40.0300	Ausleger	7,2 m	1.490,0 €	1.020,0 €
D.1.60.1950	Tieflöffel	2,00 m <sup>3</sup>	179,0 €	179,0 €
D.1.60.***-AD	Schnellwechsler	+ 50 % auf Tieflöffel	179,0 € x 0,5	179,0 € x 0,5

**Tab. 20: CAT 385 nach ÖBGL**

$$\text{AV/h:} \quad (179 \text{ €/Mo} \times 1,5 + 15.000,0 \text{ €/Mo} + 1.490,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h/Mo} = 39,90 \text{ €/h}$$

$$\text{Rep/h:} \quad (179 \text{ €/Mo} \times 1,5 + 12.000,0 \text{ €/Mo} + 1.020,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h/Mo} = 35,15 \text{ €/h}$$

$$\text{Diesel:} \quad 390 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l} = 98,28 \text{ €/h}$$

$$\text{Schmiermittel:} \quad 10 \% \text{ der Treibstoffkosten} = 9,83 \text{ €/h}$$

$$\text{Fahrer:} \quad 30 \text{ €/h} \times 1,1 \text{ (Schmierstunde)} = 33,00 \text{ €/h}$$

---


$$\text{Hydraulikbaggerkosten inkl. Ausrüstung je Betriebsstunde} \quad 216,16 \text{ €/h}$$

#### Kosten Radbagger (Umschlagplatz):

Listennummer	Gerät	Eigenschaft	Monatlicher A. u. V.	Monatliche Reparatur
D.1.00.0130	Hydraulikbagger	130 kW	4.990,0 €	3.090,0 €
D.1.40.0300	Ausleger	6,1 m	535,0 €	371,0 €
D.1.60.1200	2-Schalengreifer	1,05m	150,0 €	150,0 €
D.1.60.1200	Schnellwechsler	+ 50 % auf Tieflöffel	150 € x 0,5	150 € x 0,5

**Tab. 21: Radbagger CAT M 322 D nach ÖBGL**

## 6 Beispiel einer Nassbaggerung

---

AV/h:	$(150 \text{ €/Mo} \times 1,5 + 4.990,0 \text{ €/Mo} + 535,0 \text{ €/Mo}) \times 0,45/189 \text{ h / Mo}$	=	13,51 €/h
Rep/h:	$(150 \text{ €/Mo} \times 1,5 + 3.090,0 \text{ €/Mo} + 371,0 \text{ €/Mo}) \times 0,50/189 \text{ h / Mo}$	=	9,56 €/h
Diesel:	$130 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,26 \text{ €/l}$	=	32,76 €/h
Schmiermittel:	10 % der Treibstoffkosten	=	3,28 €/h
Fahrer:	$30 \text{ €/h} \times 1,1 \text{ (Schmierstunde)}$	=	33,00 €/h
<hr/>			
<i>Hydraulikbaggerkosten inkl. Ausrüstung je Betriebsstunde</i>			<i>92,10 €/h</i>

### Gesamtkosten:

Zusätzlich zu den Kosten der einzelnen Geräte werden noch folgende Kosten angesetzt:

### Tiefladertransporte (Wels - Riedenburg):

Radbagger	$2 \times 4\text{h} \times 95 \text{ €/h}$	=	760,00 €
Büro- und Aufenthaltscontainer	$2 \times 4\text{h} \times 95 \text{ €/h}$	=	760,00 €
Sanitär- und Werkzeugcontainer	$2 \times 4\text{h} \times 95 \text{ €/h}$	=	760,00 €
<hr/>			
			<i>2.280,00 €</i>

Für das Aufstellen und Räumen sämtlicher Geräte und Container wird ein pauschaler Betrag von 1.500 € angesetzt. Die Übernachtungskosten von 25 € pro Tag werden für 5 Mitarbeiter angesetzt.

Übernachtung:	$5 \times 22 \text{ d} \times 25 \text{ €/d}$	=	2.750,00 €
---------------	---	---	------------

Aus der Kalkulation ergeben sich die Gesamtkosten wie folgt:

Hydraulikbagger	$216,16 \text{ €/h} \times 191,23 \text{ h}$	=	41.337,03 €
Stelzenponton	$85,68 \text{ €/h} \times 191,23 \text{ h}$	=	16.384,49 €
2 Schubleichter	$27,30 \text{ €/h} \times 2 \times 191,23 \text{ h}$	=	10.441,77 €
Motorschiff	$120,55 \text{ €/h} \times 191,23 \text{ h}$	=	23.052,58 €
Radbagger	$92,10 \text{ €/h} \times 191,23 \text{ h}$	=	17.612,44 €
9 Sattelzüge	$96,88 \text{ €/h} \times 9 \times 191,23 \text{ h}$	=	166.736,41 €
Baustelleneinrichtung	$2.280 \text{ €} + 1.500 \text{ €} + 10.332,86 \text{ €}$	=	14.112,86 €
Container (Alle)	$(1,57 \text{ €/h} + 2 \times 0,73\text{€/h} + 0,30 \text{ €/h}) \times 191,23 \text{ h}$	=	636,80 €
Übernachtung	2.750 €	=	2.750,00 €
<hr/>			
			<i>= 293.064,37 €</i>

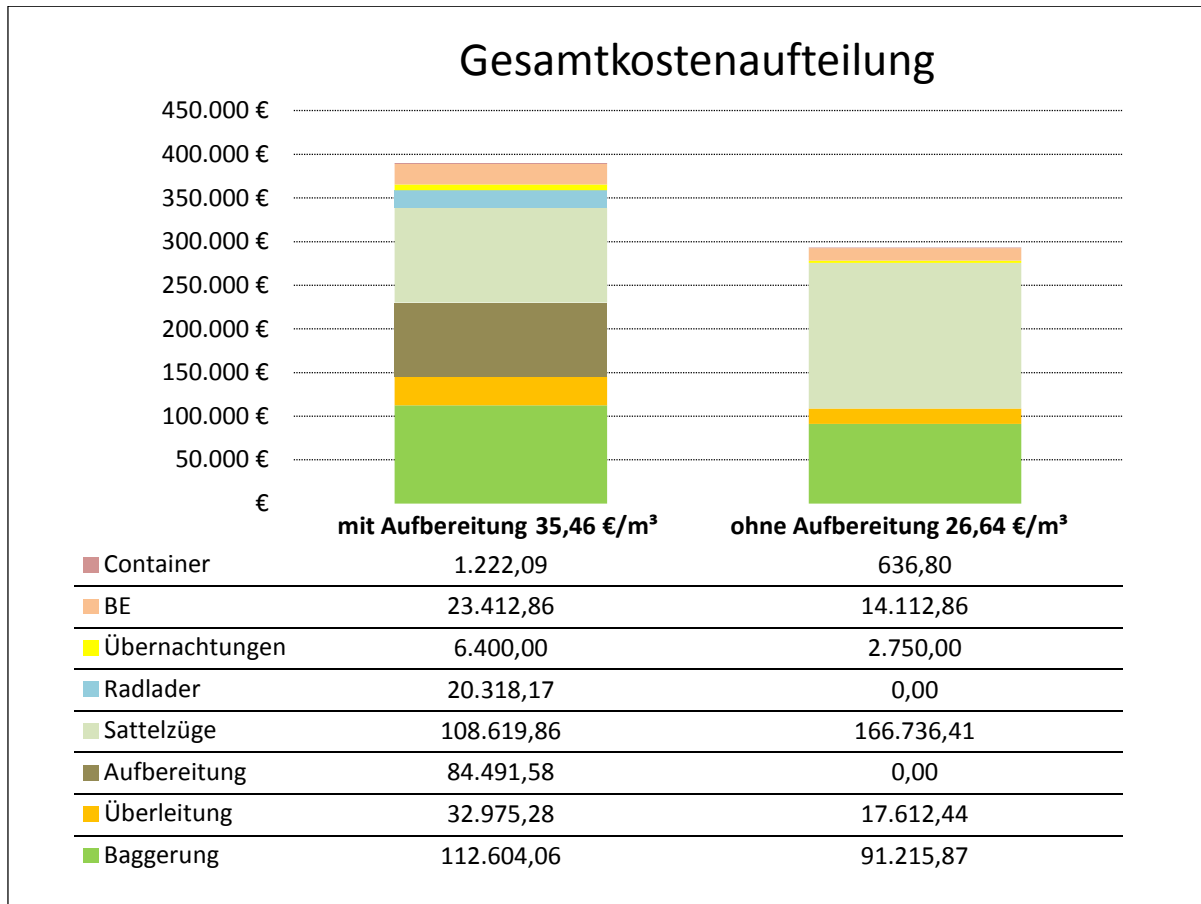
Die Kosten bezogen auf einen m<sup>3</sup> Sohlenmaterial betragen damit:

$$\frac{293.064,37 \text{ €}}{11.000 \text{ m}^3} = 26,64 \text{ €/m}^3$$

### 6.6.5 Kostenvergleich

In Tab. 22 wird der Gesamtkostenvergleich bei der Nassbaggerung mit und ohne Aufbereitung gezeigt. Dabei wird deutlich, dass die Gesamtkosten im Falle einer Aufbereitung durch die zusätzlichen Kostenträger Radlader und Aufbereitungsgeräte höher sind. Der deutliche Unterschied bei der Baustelleneinrichtung ist vor allem durch die größere Anzahl an Geräten und Containern seitens der Aufbereitungsvariante zu begründen. Die höheren Kosten der Sattelzüge bei der Variante ohne Aufbereitung sind durch die fehlende Möglichkeit den Grobsedimentanteil bei der naheliegenden Baustelle abzugeben, erklärbar. Zudem verringert sich die zu verfahrenende Gesamtkubatur durch die Entwässerungsleistung der Aufbereitungsgeräte wie in Kapitel 6.7 gezeigt wird. Theoretisch wäre der Ansatz gleicher Leistungswerte bei beiden Varianten für die Vergleichbarkeit sinnvoller. Jedoch stellt der Leistungswert der Separieranlage bei der Aufbereitungsvariante einen Zwangspunkt, der keine hohen Baggerleistungen erlaubt, dar. Demnach wäre es nicht realistisch den schwachen Leistungswert auch auf die Variante ohne Aufbereitung zu übertragen. Die zwei angesetzten Leistungswerte können als durchschnittlich für die jeweilige Variante bezeichnet werden und sind somit miteinander vergleichbar.





**Tab. 22: Gesamtkostenvergleich mit und ohne Aufbereitung**

Den größte Einfluss auf die Gesamtkosten übt die Verwertbarkeit des Baggergutes aus. Zeigt die Sieblinie bspw. große Anteile an unbelastetem verwertbaren Grobsediment, könnte eine Separierung mit nachgeschalteter Entwässerung der Feinteile Sinn haben sofern sich ein regionaler Abnehmer für die abgetrennten Grobsedimente fände.

## 6.7 Volumensvergleich

Betrachtet man bei der Gesamtkostenaufteilung in Tab. 22 nur den Kostenblock der Sattelzüge, so ist ein großer Kostenunterschied feststellbar. Zu einem Teil erklärt sich dieser Unterschied durch die in Summe längeren Strecken bei der Variante ohne Aufbereitung. Andererseits bewirkt der Einsatz der Aufbereitungsgeräte eine Reduzierung der zu verfahrenen Baggergutmassen. Ausgehend von einer vollen Schute, die mit Baggergut (siehe Abb. 59) gefüllt ist, kann der Volumensunterschied wie folgt festgestellt werden:

### Volumen ohne Aufbereitung:

Nimmt man an, dass das in der Schute befindliche Baggergut, wie in Abb. 59 dargestellt, seine Zusammensetzung während der Beladung der Sattelzüge nicht ändert, so gilt:

$$\text{Volumen in der Schute} = \text{Verfuhrvolumen} = 850 \text{ m}^3$$

### Volumen mit Aufbereitung:

Nachdem die 850 m<sup>3</sup> Baggergut aus der Schute entnommen und verarbeitet wurden, konnten folgende Austräge festgestellt werden:

$$\text{Austrag}_{\text{AKA SEP 400}} = 24,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Austrag}_{\text{Zentrifuge}} = 17,94 \text{ m}^3/\text{h}$$

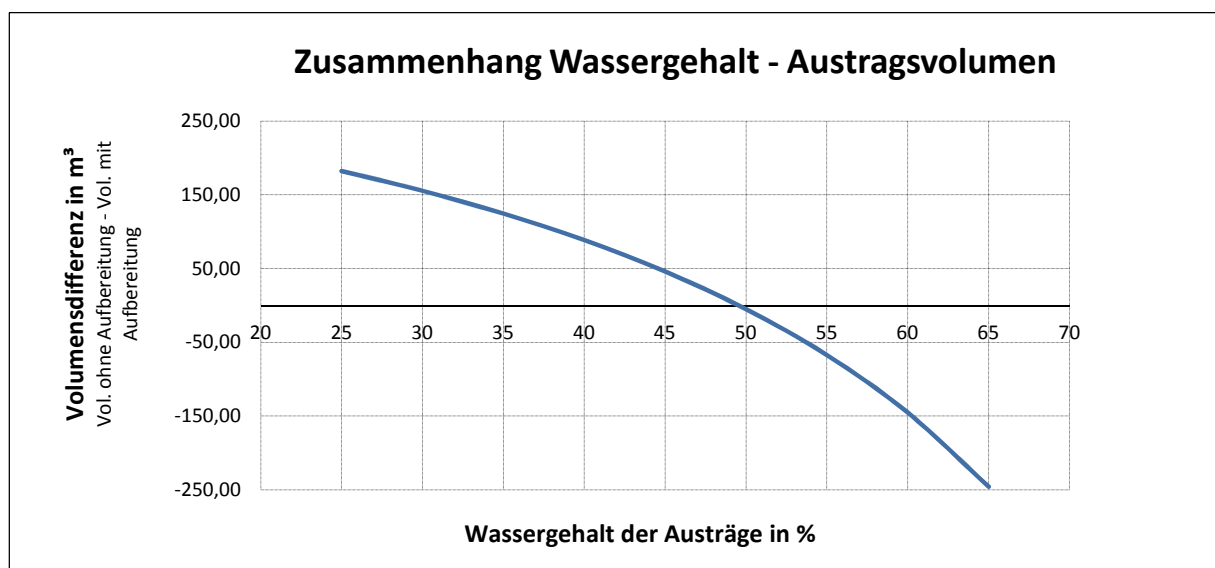
Multipliziert man diese Austräge mit der Dauer einer Schutenentleerung, so gilt:

$$(24,75 \text{ m}^3/\text{h} + 17,94 \text{ m}^3/\text{h}) \times 18,83 \text{ h} = 804,08 \text{ m}^3$$

Damit beträgt die Differenz der Volumens:

$$850 \text{ m}^3 - 804,08 \text{ m}^3 = 45,92 \text{ m}^3$$

D. h., dass bei der Aufbereitungsvariante 45,92 m<sup>3</sup> weniger verfahren werden müssen. Eine Volumensreduzierung ist vor allem durch die Entwässerungsleistung der Zentrifuge beeinflussbar. Variiert man den Wassergehalt der Austräge, so gilt folgender Zusammenhang:



**Abb. 68: Zusammenhang Wassergehalt (Dekanteraustrag) - Volumensdifferenz**

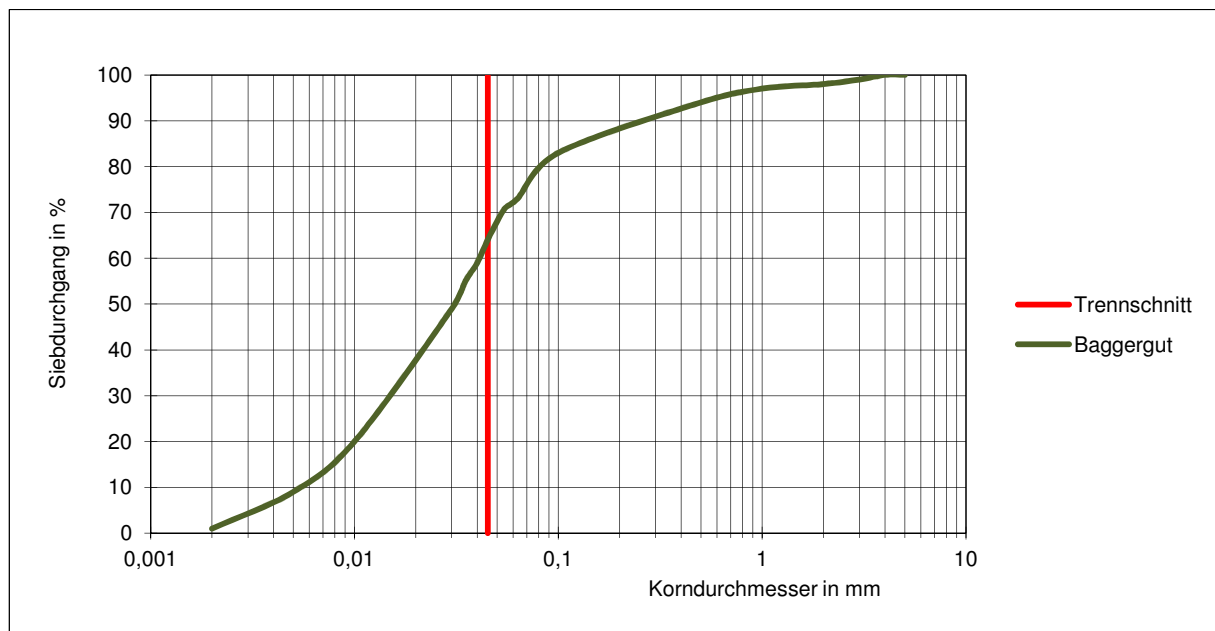
## 6.8 Variationen

Im folgenden werden Veränderungen an der ursprünglichen Variante (siehe Kapitel 6) vorgenommen um die einzelnen Abhängigkeiten und deren Einfluss auf die Gesamtkosten zu deuten. Dabei werden vor allem Sieblinien des Baggergutes und Distanzen zu den Verwertungsstellen variiert.

### 6.8.1 Variation der Sieblinie

#### Sieblinie mit hohem Feinanteil:

Ausgehend von einem Trennschnitt der Separieranlage bei 45 µm gilt folgende Sieblinie:



**Abb. 69: Sieblinie - hoher Feinanteil**

Bis auf den veränderten Feinkornanteil (64 %) bzw. den damit verbundenen Grobkornanteil (36 %) werden sämtliche Eingabewerte wie in Tab. 16 gezeigt, beibehalten.

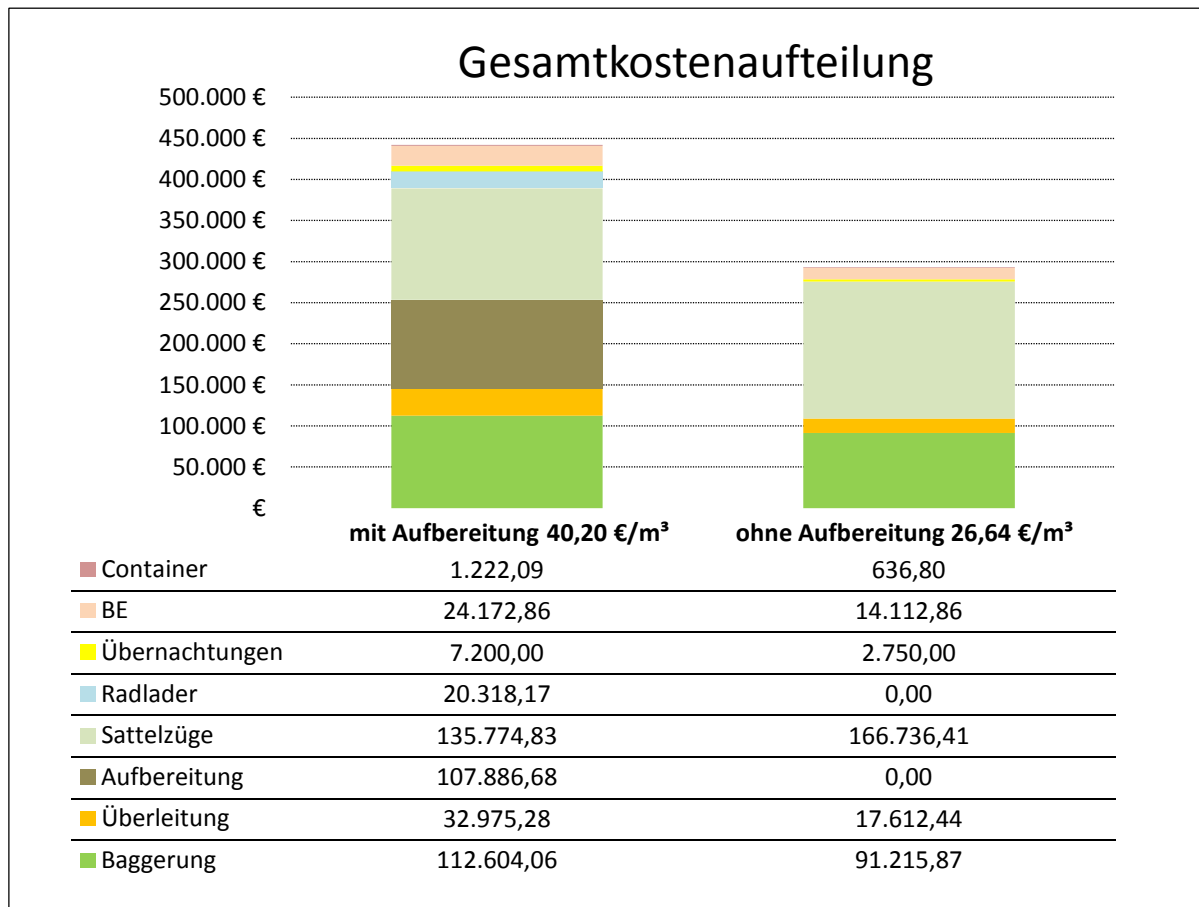
Durch diese Veränderung kommt es zu folgenden Ausgabewerten:

<u>Ausgabewerte:</u>		
Feststoffanteil Zyklonbeaufschlagung:	146,25	g/l
Feuchtdichte nach Entsandung:	1,46	to/m <sup>3</sup>
Dichte nach Zyklon:	1,06	to/m <sup>3</sup>
Wassergehalt nach Zyklon:	90,86	%
Feuchtdichte nach Eindickung:	1,09	to/m <sup>3</sup>
Feuchtdichte nach Zentrifuge:	1,51	to/m <sup>3</sup>

erf. Pumpleistung:	ZU VIEL WASSER	m <sup>3</sup> /h
Leistung Schutenmaterial:	45,13	m <sup>3</sup> /h
Dauer Schutenentleerung:	18,83	h
Durchsatz Eindicker:	289,98	m <sup>3</sup> /h
Durchsatz Zentrifuge:	183,29	m <sup>3</sup> /h
Austrag Separieranlage:	13,50	m <sup>3</sup> /h
Austrag Zentrifuge:	33,77	m <sup>3</sup> /h

**Tab. 23: Ausgabewerte - hoher Feinanteil**

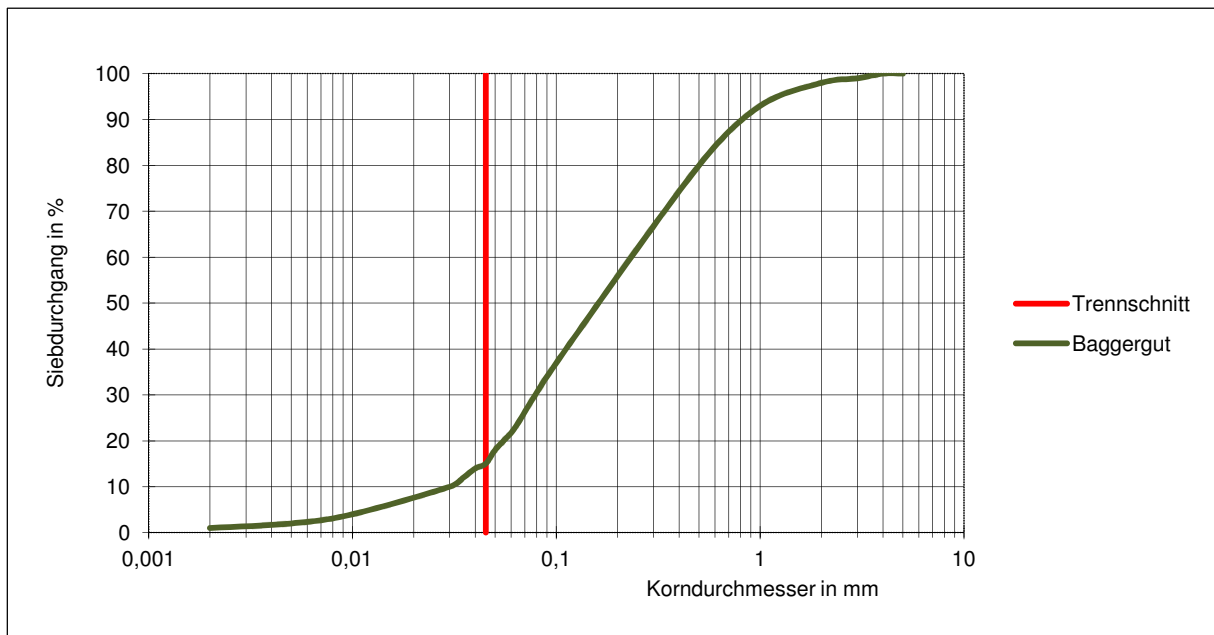
Aus Tab. 23 geht hervor, dass durch die höhere erforderliche Durchsatzleistung beim Eindicker eine zweite Zentrifuge erforderlich ist. Damit verbunden bedingt der höhere Feinaustrag eine größere Anzahl an Sattelzügen, die zum Steinbruch fahren müssen. Eine Korrektur wird auch beim Radlader vorgenommen, da die höhere Anzahl an Sattelzügen auch eine Beschleunigung der Beladezeit sinnvoll macht. Bei der Berechnung der Sattelzüge wird seitens des Radladers von 65 LS/h ausgegangen. Dabei werden 4 Sattelzüge für den Transport der Feinsedimente und einer für den Transport des Grobsediments zur benachbarten Baustelle benötigt. Die Änderungen führen zu folgenden Gesamtkosten:



**Tab. 24: Gesamtkostenvergleich bei hohem Feinanteil**

Sieblinie mit geringem Feinanteil:

Verringert man den Feinanteil, so ergibt sich folgende Sieblinie:



**Abb. 70: Sieblinie - geringer Feinanteil**

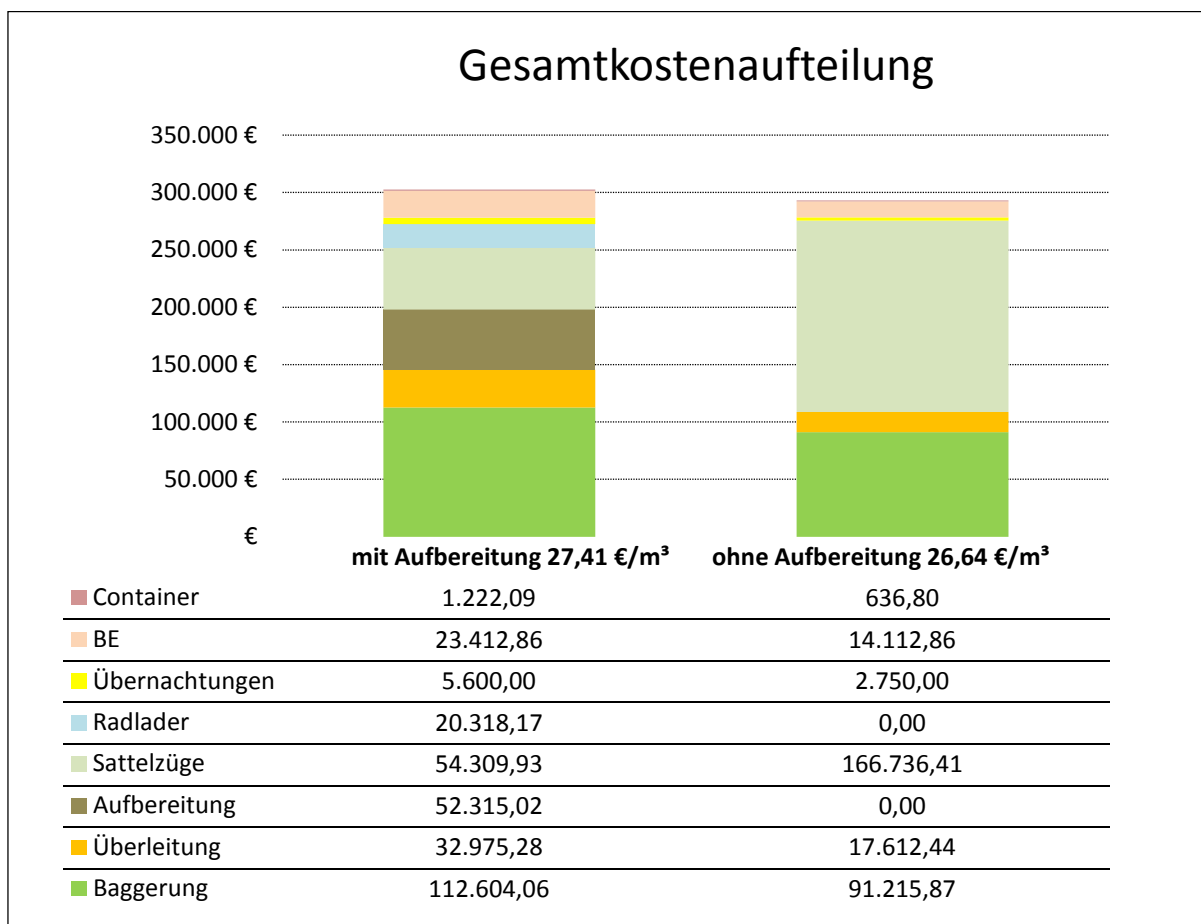
Ohne weiter Veränderungen an der Eingabemaske aus Tab. 16 vorzunehmen, ergeben sich folgende Ausgabewerte:

<u>Ausgabewerte:</u>		
Feststoffanteil Zyklonbeaufschlagung:	146,25	g/l
Feuchtdichte nach Entsandung:	1,46	to/m <sup>3</sup>
Dichte nach Zyklon:	1,01	to/m <sup>3</sup>
Wassergehalt nach Zyklon:	97,65	%
Feuchtdichte nach Eindickung:	1,09	to/m <sup>3</sup>
Feuchtdichte nach Zentrifuge:	1,51	to/m <sup>3</sup>
erf. Pumpleistung:	ZU VIEL WASSER	m <sup>3</sup> /h
Leistung Schutenmaterial:	45,13	m <sup>3</sup> /h
Dauer Schutenentleerung:	18,83	h
Durchsatz Eindicker:	276,33	m <sup>3</sup> /h
Durchsatz Zentrifuge:	42,96	m <sup>3</sup> /h
Austrag Separieranlage:	31,88	m <sup>3</sup> /h
Austrag Zentrifuge:	7,92	m <sup>3</sup> /h

**Tab. 25: Ausgabewerte - geringer Feinanteil**

Durch die neue Sieblinie kommt es zu einer Umverteilung der Massen, wie in Tab. 25 gezeigt wird. Diese Veränderungen wirken sich in erster Linie auf die Verfuhr der Austräge.

Nun ist jeweils nur ein Sattelzug für das Grob- bzw. Feinsediment nötig. Auch der geringe erforderliche Durchsatz der Zentrifuge stellt das ursprünglich angesetzte Gerät, welches mit einer Leistung von 100 m<sup>3</sup>/h betrieben werden kann, in Frage. Um diesen Umstand zu berücksichtigen wird der in Kapitel 6.5.6 berechnete Stundensatz von 97,59 € pauschal auf 48,79 € halbiert. Außerdem wird angenommen, dass alle Aufbereitungsgeräte nur durch eine Person bedient werden. Diese Annahme kann durch die deutlich geringere Belastung der Zentrifuge begründet werden. Es wird auch angenommen, dass für den Notfall der wenig ausgelastete Radladerfahrer die Bedienung der Geräte übernehmen kann. Die Gesamtkostenaufteilung sieht folgendermaßen aus:



**Abb. 71: Gesamtkostenvergleich bei geringem Feinanteil**

### 6.8.2 Zusammenhang zwischen Sieblinie und Kosten

Abb. 72 zeigt den Zusammenhang zwischen den Feinteilen der Sieblinie und den Kosten pro m<sup>3</sup> Sohlenmaterial. Es wird deutlich, dass die Kosten mit sinkendem Anteil der Feinteile (< 45µm) auch fallen. Dabei werden die Kosten hauptsächlich durch Veränderungen bei der Verfuhr und Aufbereitung beeinflusst. Betrachtet man die in Kapitel 5 vorgestellten Siebli-

nien, so lässt sich auch der Bereich der häufigsten Sieblinien im Stauraum abgrenzen. Dabei erkennt man, dass sehr feinteilmarme Sieblinien in der Regel selten vorkommen. Aus diesem Grund stellt eine Aufbereitung bei den in dieser Simulation angenommenen Randbedingungen keine wirtschaftliche Lösung dar.

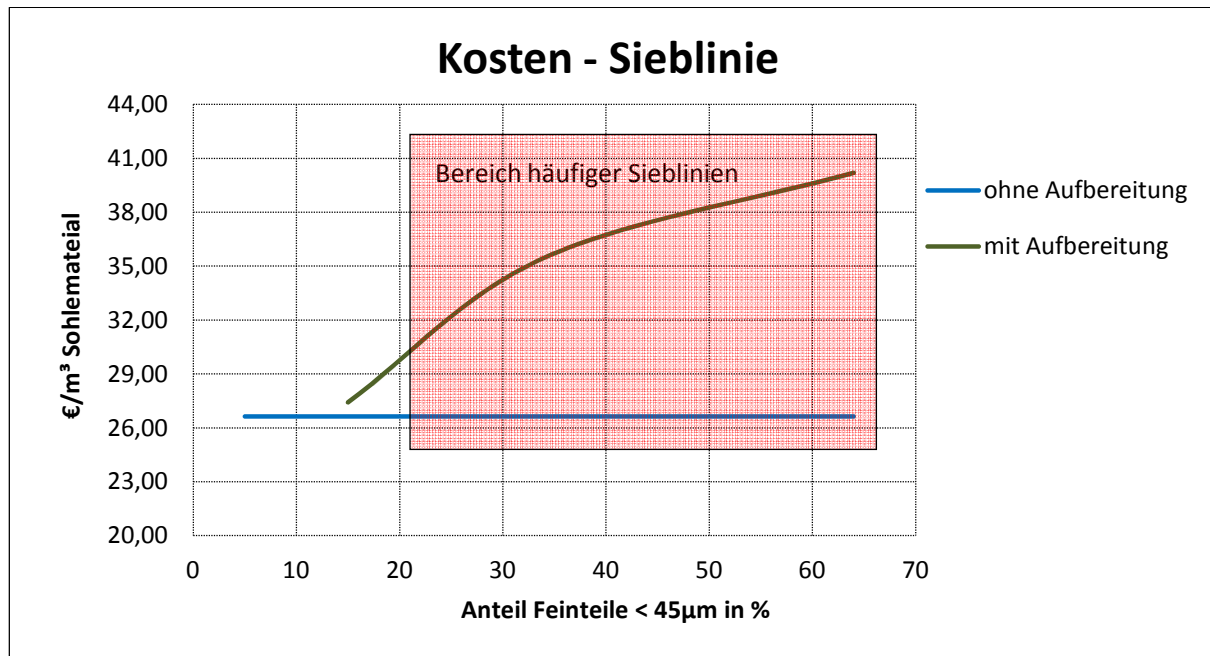


Abb. 72: Zusammenhang Sieblinie - Kosten

Zuletzt stellt sich auch die Frage, ob eine Entwässerung mit Eindicker und Zentrifugen bei sehr geringen Feinanteilen überhaupt sinnvoll ist. Wie bereits in Abb. 25 gezeigt, empfiehlt sich bei feinteilmarmen Sieblinie die alleinige Anwendung von Separieranlagen.

### 6.8.3 Zusammenhang zwischen Distanz und Kosten

Ausgehend von der in Abb. 57 dargestellten Sieblinie werden die Entfernungen zum Steinbruch und der Abgabestelle der Grobsedimente (Baustelle) im Folgenden variiert. Abb. 73 zeigt die Kostenentwicklung bei festgehaltener Entfernung zur Abgabestelle und veränderlicher Distanz zum Steinbruch. Die Bandbreite der Entfernungen wird mit 5 bis 90 km beschränkt. Betrachtet man die Kostenkurve, so kann die Entwicklung dieser in Anhängigkeit des variablen Parameters als annähernd linear steigend bezeichnet werden. Analog dazu wird in Abb. 74 die Entfernung zur Abgabestelle des Grobsediments bei festgehaltener Entfernung zum Steinbruch variiert. Der Kurvenverlauf kann hier ebenso als linear steigend eingestuft werden.

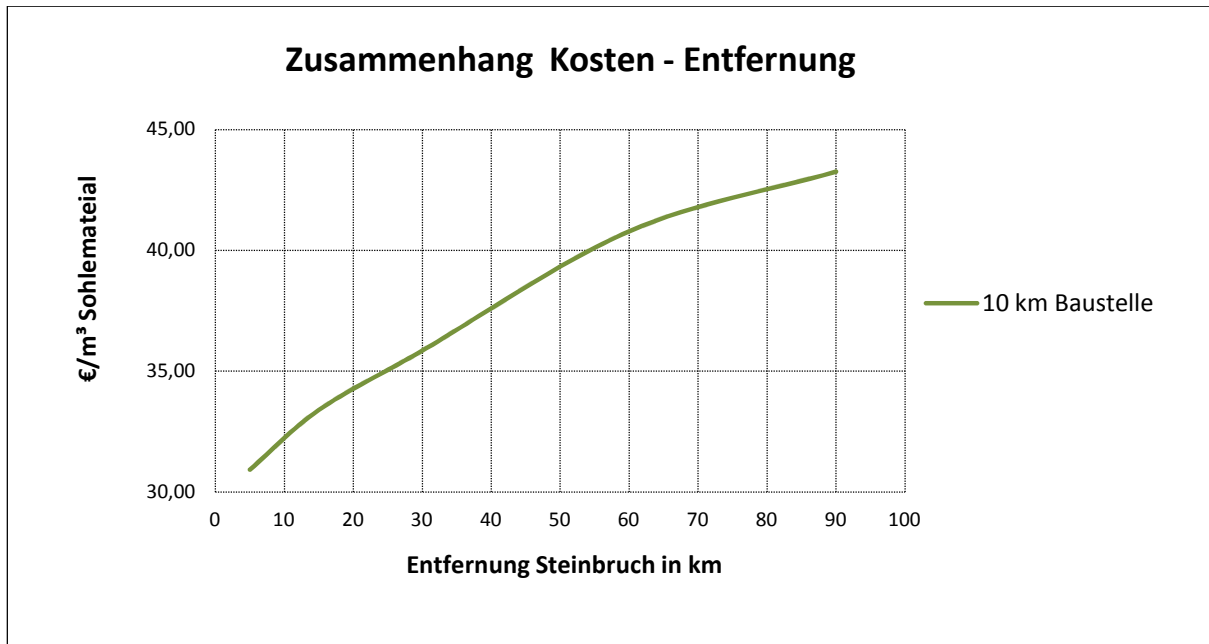


Abb. 73: Variation der Entfernung zum Steinbruch

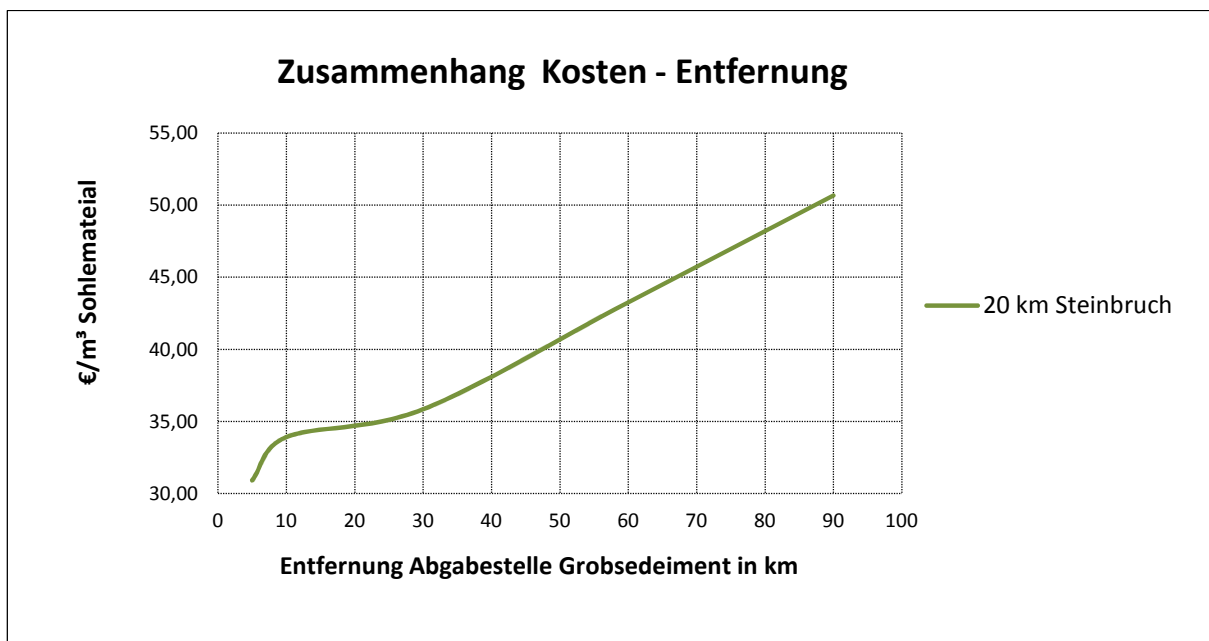


Abb. 74: Variation der Entfernung zur Baustelle (Grobsediment)

#### 6.8.4 Zusammenhang zwischen Leistung und Kosten

Da bisher in den Kapiteln 6.5 und 6.8 stets die Leistung der Separieranlage mit 300 m<sup>3</sup>/h angesetzt wurde, ist der Zusammenhang zwischen Kosten und Leistung nicht geklärt. Um diesen Umstand entgegen zu wirken, werden 400 bzw. 200 m<sup>3</sup>/h in die Eingabemaske der Tab. 16 eingetragen. Dabei bleiben die Entfernungen zum Steinbruch und der Entladestelle für die Grobsedimente wie in Kapitel 6.5.5 erhalten.



Veränderungen bei gewählter Leistung der Separieranlage von 400 m<sup>3</sup>/h:

- Gesamtdauer auf 210,22 h verkürzt
- Leistung Schutenabsaugung auf 60,17 m<sup>3</sup>/h erhöht
- Baggerung durch Hydraulikbagger mit gesteigerter Leistung (63 LS/h statt 50 LS/h)
- Einsatz von 3 statischen Eindickern
- Einsatz von 2 Zentrifugen
- 12 Tiefladertransporte
- Baustelleneinrichtungskosten von 7.000 € auf 9.000 € gestiegen
- Kosten: 32,43 €/m<sup>3</sup> statt 35,46 €/m<sup>3</sup>

Veränderungen bei gewählter Leistung der Separieranlage von 200 m<sup>3</sup>/h:

- Gesamtdauer auf 420,44 h gestiegen
- Leistung Schutenabsaugung auf 30,09 m<sup>3</sup>/h gefallen
- Lange Stehzeiten des Hydraulikbaggers wegen geringer Separieranlagenleistung
- Einsatz von 2 statischen Eindickern
- Einsatz einer Zentrifuge
- 8 Tiefladertransporte
- Baustelleneinrichtungskosten betragen 7.000 €
- Kosten: 48,10 €/m<sup>3</sup> statt 35,46 €/m<sup>3</sup>

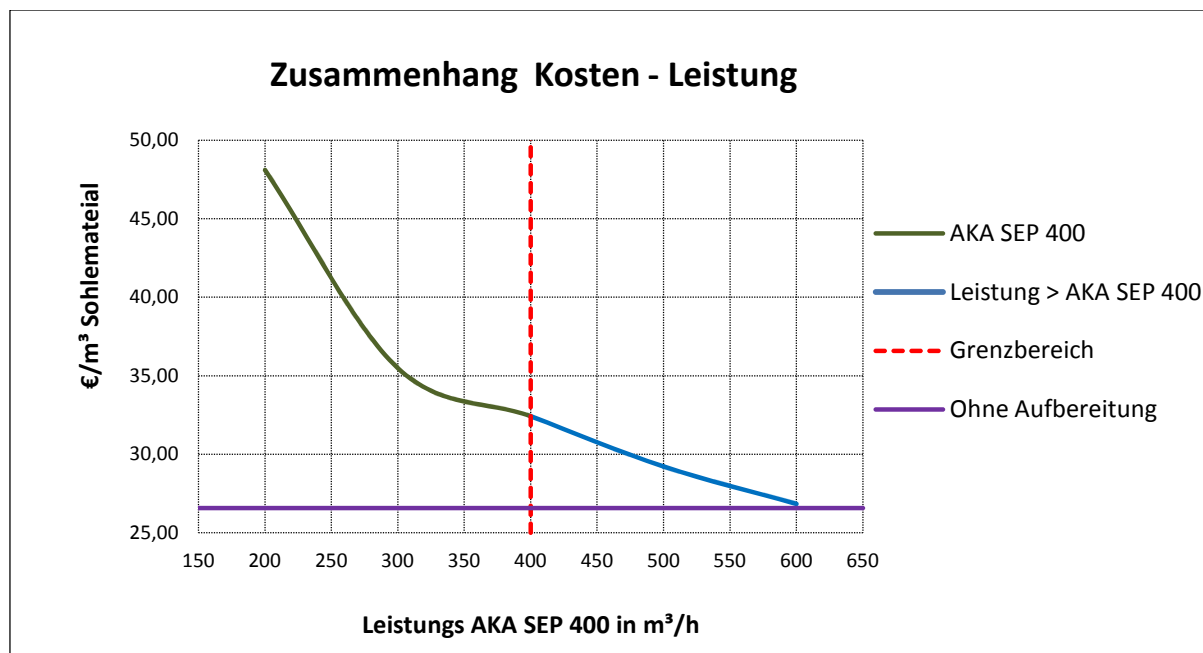


Abb. 75: Zusammenhang Leistung - Kosten

Auffällig in Abb. 75 ist der steile Anstieg der Kosten beim Abfallen der Leistung unter 300 m<sup>3</sup>/h. Die Kostensteigerung kann durch die deutlich längere Dauer der Baggermaßnah-

me bei geringer Anpassung der Geräte an die Leistung der Separieranlage begründet werde. Bspw. wirkt sich die geringe Leistung der AKA SEP auf den CAT 345, bei dem lange Stehzeiten entstehen. Dazu werden die Zentrifuge und die zwei Eindicker nur zu 65 % bzw. 17 % ausgelastet. Änderungen der Leistung des Schlüsselgeräts können zu großen Auswirkungen auf der Kostenseite führen. Eine größere Kostensicherheit setzt ein stabiles Leistungsverhalten der Separieranlage sowie eine flexible Anpassung der anderen Geräte voraus. Eine wirtschaftliche Alternative zur konventionellen Methode ohne Aufbereitung bietet die AKA SEP auch bei maximaler Leistung nicht. Dazu müsste der Leistungswert mehr als 500 m<sup>3</sup>/h, bei gleichbleibendem Stundensatz, betragen.

### 6.8.5 Zusammenhang zwischen Kosten und Pumpdichte

Zwischen der Pumpdichte der Tauchpumpe und der Leistung für die Schutenentleerung herrscht, wie in Abb. 76 erkennbar, ein linearer Zusammenhang. Schon geringfügige Änderungen der Dichte, die durch die Feststoffanteile bestimmt wird, führen zu Schwankungen der Leistung. Bei allen Kalkulationen wurde bisher mit der Pumpdichte von 1,09 t/m<sup>3</sup>, die zu einer Feststoffbeaufschlagung der Hydrozyklone von 143,67 g/l führt, gerechnet. Würde man nun eine Dichte von ca. 1,12 t/m<sup>3</sup> bei einer Leistung von 300 m<sup>3</sup>/h (AK SEP) ansetzen, so könnte die gleiche Menge an Schutenmaterial wie mit einer Leistung von 400 m<sup>3</sup>/h bei einer Dichte von 1,09 t/m<sup>3</sup> umgesetzt werden. Jedoch bedeutet eine Steigerung der Leistung durch die Erhöhung der Dichte auch eine höhere Belastung der Hydrozyklone. In dieser Arbeit soll die Feststoffbeaufschlagung stets unter 200 g/l gehalten werden um Ausfälle der Anlage zu vermeiden. Abb. 77 zeigt den Zusammenhang zwischen Pumpdichte und Hydrozyklonbeaufschlagung.

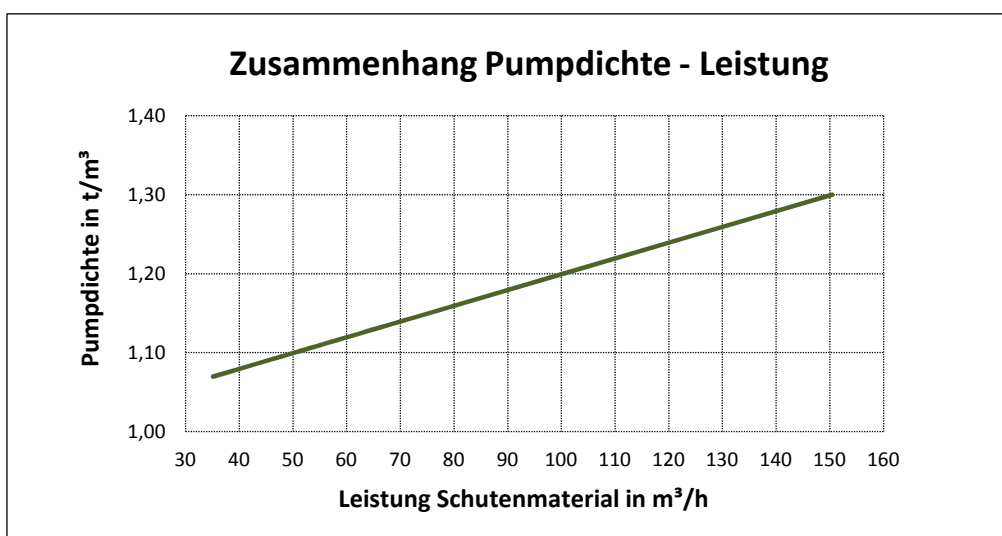
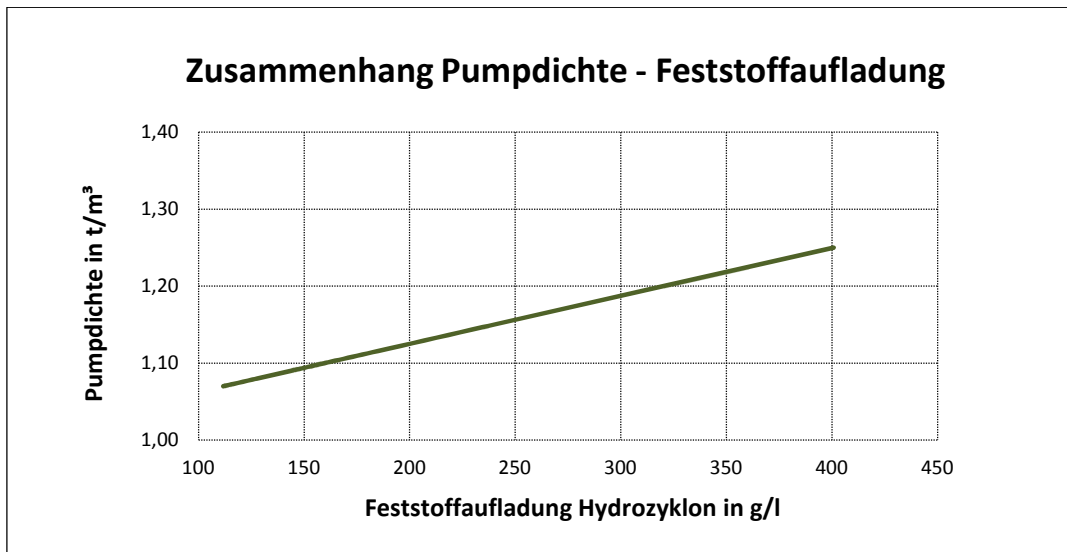


Abb. 76: Zusammenhang Leistung - Pumpdichte



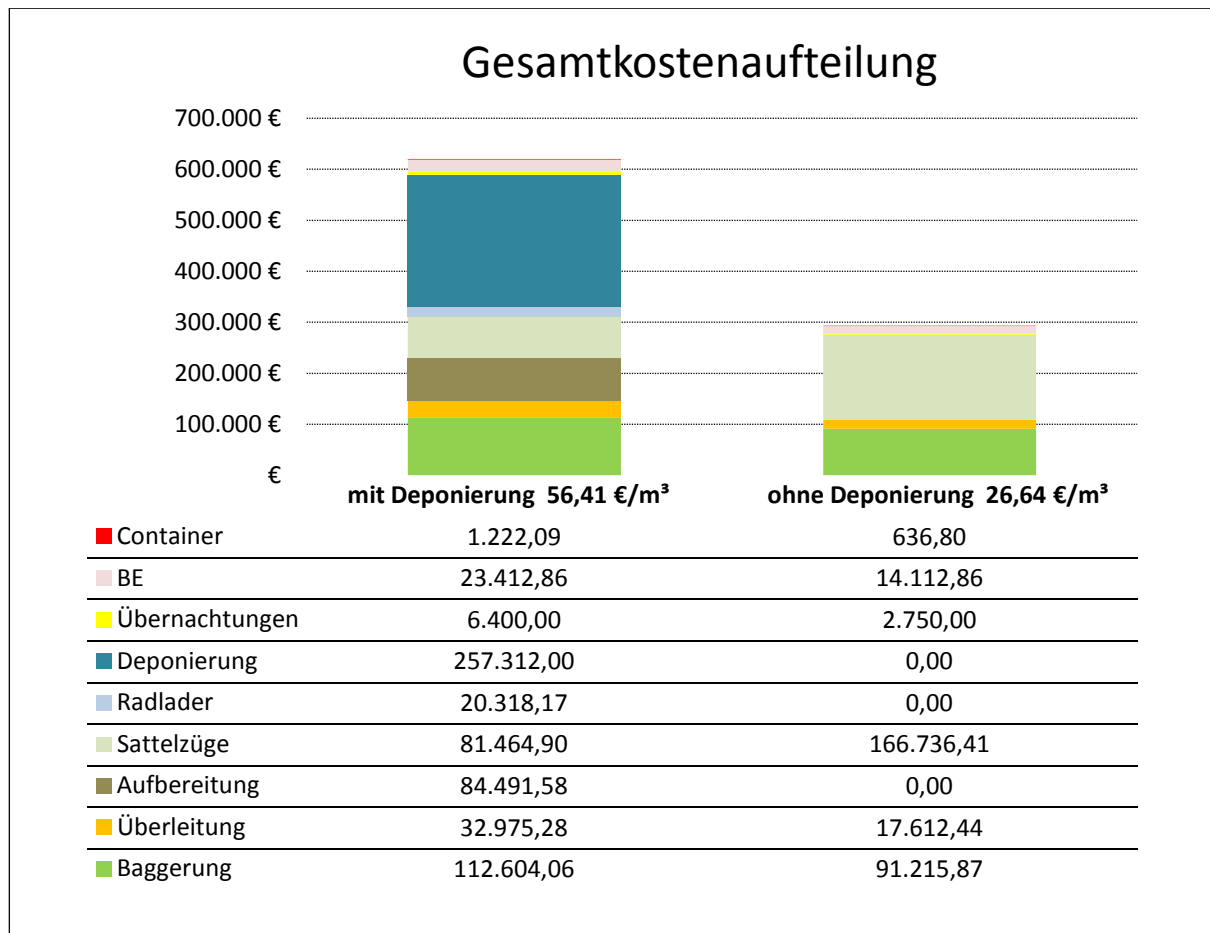
**Abb. 77: Zusammenhang Pumpdichte - Feststoffaufladung Zyclone**

## 6.9 Kalkulation mit Aufbereitung und Deponierung

Wäre die Möglichkeiten einer Verwertung mit oder ohne vorheriger Aufbereitung des Baggergutes verwehrt, so müssten die Flusssedimente beseitigt bzw. deponiert werden. Bezugnehmend auf die in Tab. 15 ermittelten Zuordnungswerte müsste das Baggergut auf einer Deponie der Klasse 1 beseitigt werden. Obwohl laut Deponieverordnung keine expliziten Anforderungen hinsichtlich Wassergehalt vorgesehen wurden, ist eine Entwässerung der zu deponierenden Massen ratsam. Eine Entwässerung führt zu einer Verringerung der Massen und somit zu einer Reduzierung der Deponiekosten. Außerdem bedeutet eine Entwässerung auch eine Verbesserung der Eigenschaften hinsichtlich Einbaufähigkeit. Damit verbunden sind die Aufwendungen, die ein Deponiebetreiber leisten muss um die Standfestigkeit einer Deponie zu gewährleisten, geringer. Eine Erhebung von Zusatzgebühren für Sonderleistungen kann somit eventuell vermieden werden.<sup>107</sup> Die in Abb. 78 dargestellten Kalkulationsergebnisse wurden unter Anwendung der in Tab. 16 gezeigten Eingabemaske ermittelt. Änderungen der Eingabemaske wurden nur bei beim Austrag der Feinsedimente vorgenommen. Dabei wurde der Trockensubstanzgehalt der Austräge von 55 % auf 65 % erhöht. Die Entfernung zur Deponie wurde mit 30 km angenommen. Zudem gilt, dass die separierten Grob-sedimente auf einer 5 km entfernten Baustelle verwertet werden können (siehe Kapitel 6.5.5). Die Entsorgungsgebühren für das Baggergut wurden mit 40 €/t angesetzt. Leistungen des Deponiebetreibers, wie die Wägung und dgl. sind in den Entsorgungskosten enthalten.

---

<sup>107</sup> Vgl. Amtsblatt des Landkreises Nordhausen am Harz, 2010, S.2

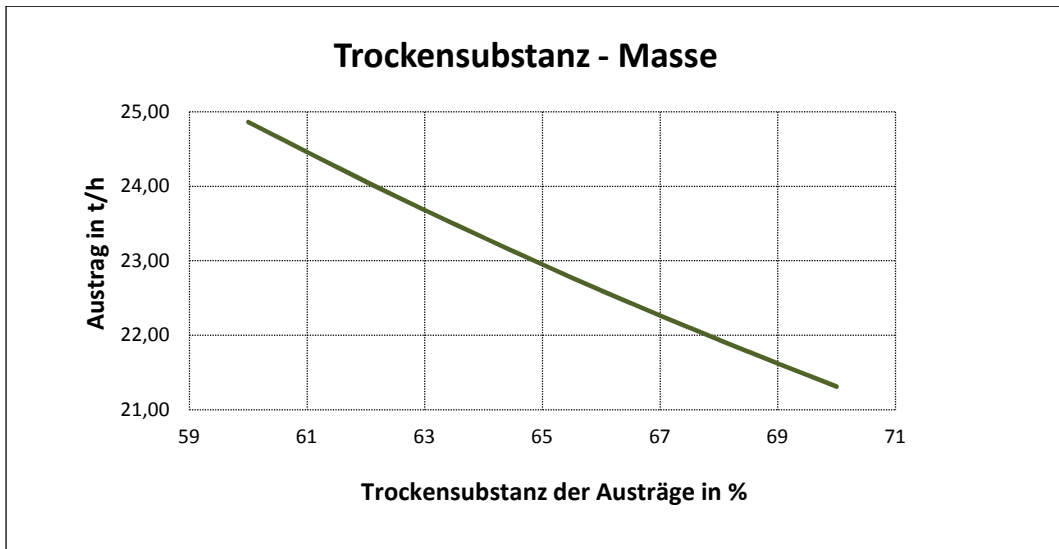


**Abb. 78: Gesamtkostenvergleich mit und ohne Deponierung**

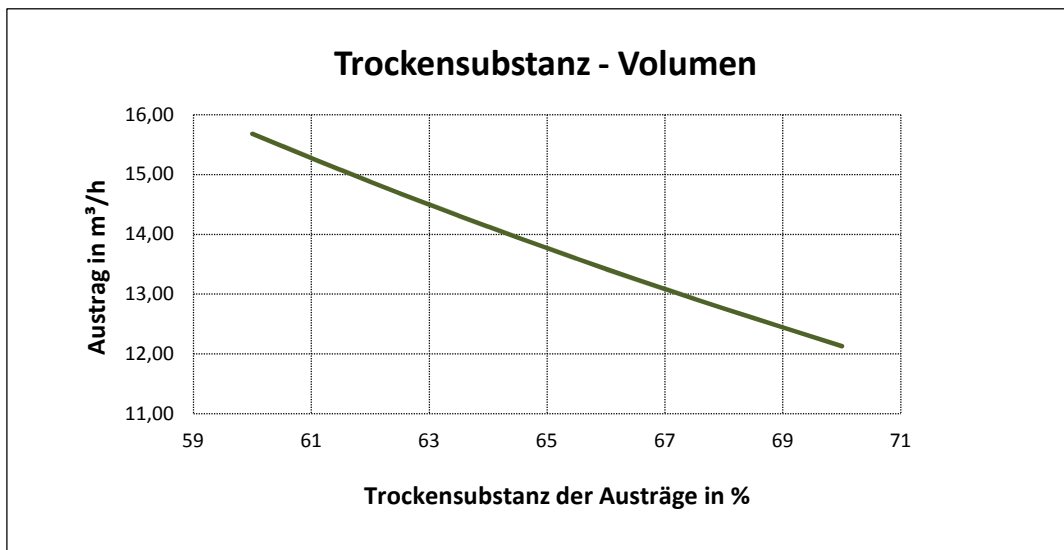
Vergleicht man die Gesamtkosten der Varianten mit und ohne Deponierung, so ist ein erwartungsgemäß deutlicher Kostenunterschied feststellbar. Der alleinige Anteil der Deponiekosten an den Gesamtkosten beträgt ca. 43 %.

Grenzt man den durch die Zentrifugen erreichbaren Trockensubstanzbereich zwischen 60 und 70 % ein, sind folgende Volumens- bzw. Massenänderungen möglich:<sup>108</sup>

<sup>108</sup> [http://www.separation.de/pdf/sus3\\_ite.pdf](http://www.separation.de/pdf/sus3_ite.pdf). 03.12.2013

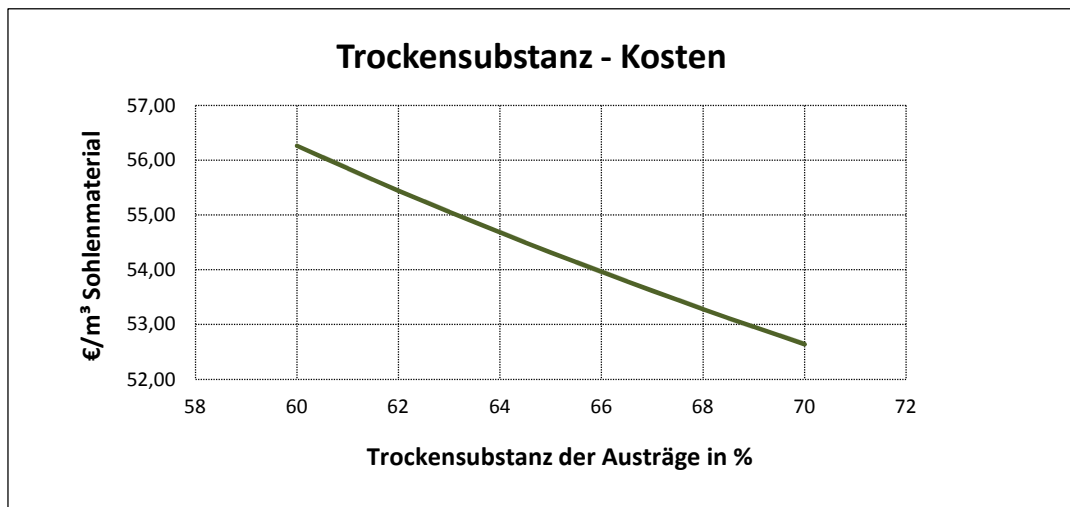


**Abb. 79: Zusammenhang Trockensubstanz - Masse**



**Abb. 80: Zusammenhang Trockensubstanz - Volumen**

Drückt man die Volumens.- bzw. Massenveränderungen in Kosten aus, so gilt:



**Abb. 81: Zusammenhang Trockensubstanz - Kosten**

Interpretiert man das in Abb. 81 dargestellte Diagramm als Bereich üblicher Leistungsstände einer Zentrifuge sind Kosteneinsparungen bei der Gegenüberstellung von optimalen und ungünstigen Bedingungen bis ca. 3,5 €/m³ möglich.

## 7. Resümee und Ausblick

Der Umgang mit Baggergut kann die Sphären einiger Fachdisziplinen berühren. Die unterschiedlichen Verwertungsmöglichkeiten von Baggergut verlangen eine Berücksichtigung verschiedener Rechtsbereiche (Wasserrecht, Deponierecht, Bodenschutzrecht, Baurecht, etc.).

Abgesehen von der Umlagerung des Baggergutes innerhalb des Flusses, welches eine häufige Lösung darstellt, wurde der Fokus auf die Verwertung und Beseitigung der ausgebagerten Sedimente gerichtet. Nach EU-Richtlinien soll in erster Linie die Verwertung angestrebt werden. Erst nach Feststellung der schlechten Eignung wegen bspw. hoher Schadstoffbelastungen soll eine Entsorgung in Erwägung gezogen werden. Auch der zu hohe wirtschaftliche bzw. technische Aufwand, der nötig ist um ein verwertbares Material herzustellen, kann den Weg zu einer Beseitigung ebnen.

In Deutschland wurde bereits ein Konzept (LAGA M 20), welches Wege der Verwertung aufzeigt, entwickelt. Je nach Höhe der Schadstoffbelastung werden dem Baggergut Zuordnungswerte, die die Entscheidung über die Einbauklasse treffen, vergeben. So besteht die Möglichkeit das Baggergut als Material bei technischen Bauwerken oder in einer bodenähnli-

chen Funktion zu verwenden. Eine besondere Verwertungsmöglichkeit ist der Einbau der Feinsedimente in einer Deponie. Dabei dienen die Sedimente als Ersatzbaustoff.

Die Beseitigung des Baggergutes kann je nach Belastungsgrad des Materials verschiedenen Deponieklassen zugeordnet werden. Nach der Deponieverordnung ist der Deponiebetreiber für die Annahme und den Einbau des belasteten Baggergutes verantwortlich. Es gibt keine präzisen Anforderungen hinsichtlich Wassergehalt der zu entsorgenden Massen. Dennoch muss damit gerechnet werden, dass ein vorher durch den Abfallbesitzer gut entwässertes Material zur Minimierung der Deponiegebühren führt. Methoden der Entwässerung wurden in dieser Arbeit unter Anwendung der Zentrifuge und Separieranlage gezeigt.

Beispielhaft wurde in dieser Arbeit eine Nassbaggerung mit anschließender Aufbereitung simuliert. Dabei wurde eine wasser- und landseitige Gerätekette entwickelt. Besondere Beachtung wurde den Separier- und Entwässerungsprozessen, welche durch die Anwendung des Einheitswürfels abgebildet werden, geschenkt. Der Einheitswürfel bietet die Möglichkeit Manipulationen an den Durchflussprozessen vorzunehmen und deren Auswirkungen auf die Austräge zu zeigen. Die innere Logik des Einheitswürfels besteht aus einem zusammenhängenden Formelapparat, der eine Eingabe- und Ausgabemaske besitzt. Als Eingabeparameter können Sieblinien, Leistungen der Separieranlage, Feststoffaufladungen oder auch die Leistungsfähigkeit der Zentrifuge variiert werden. Die Ausgabewerte wie Dichten und Wassergehalte der Austräge oder die stündlichen Durchsätze der Aufbereitungsgeräte dienen als Grundlage bei der Kostenkalkulation. Durch die Verknüpfung des Einheitswürfels mit der Kostenkalkulation können bspw. durch Änderungen der Sieblinie verursachte Auswirkungen auf die Kosten sehr rasch erfasst werden.

Nach der Variation einiger Eingabeparameter (Sieblinie, Entfernungen zur Entladestelle, Leistungswert der Separieranlage, Pumpdichte) wurden deutliche Kostenunterschiede bei der Variante mit Aufbereitung und anschließender Verwertung festgestellt. Dieser Umstand ist auch eine Hinweis auf die große Sensibilität der Aufbereitungsgeräte. Besonders die Änderungen der Sieblinien des Baggergutes können die gesamte Gerätekette und die damit verbundene Kalkulation auf den Kopf stellen. Um eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit geben zu können, wurden die Kosten der Varianten mit und ohne Aufbereitung verglichen. In der Endauswertung waren die Kosten mit Einsatz der Aufbereitungsgeräte stets höher. Neben dem Kostenblock der Aufbereitungsgeräte fielen die Verfuhrkosten ins Gewicht. Ein entscheidender Kostenfaktor bei der Aufbereitung ist die Leistungsfähigkeit der Separieranlage und Zentrifuge.



Bei der Variante mit anschließender Deponierung der entwässerten Baggergutmassen verdoppeln sich die Gesamtkosten nahezu gegenüber den Varianten ohne Entwässerung. Ob aber eine Deponierung überhaupt angestrebt werden soll, hängt vor allem von der Entfernung zwischen Baggerstelle und Deponie ab.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass es sich um nur eine bestimmte Kombination von Geräte handelt. Es bestehen weitere Möglichkeiten um bspw. das Baggergut zu Entnehmen, Transportieren oder Entwässern.

Dass die mobile Flusssedimentaufbereitung vermutlich noch keine wirtschaftliche Lösung darstellt, wird ansatzweise durch diese Arbeit bestätigt. Eine stationäre Sedimentaufbereitung im Beispiel der Hamburger Metha-Anlage (Mechanische-Trennung-Hafensedimente), bei der kontinuierlicher Betrieb herrscht, hat sich dagegen bewährt.

## 8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Unterscheidung zwischen Tal- und Flusssperre (STROBL, T.).....	10
Abb. 2: Bestandteile einer Flusssperre (STROBL, T.) .....	11
Abb. 3: Einfluss der Vegetation auf Abflussspende (%) und Erosion (t/ha) (RAPP et al., 1973).....	15
Abb. 4: Zusammenhang zwischen Relief und Denudationsrate (AHNERT, Frank, 1996).....	16
Abb. 5: Flusslauf vom Quellgebiet bis zur Mündung (PATT, H., 2011) .....	18
Abb. 6: Veränderungen der Charakteristika im Fließverlauf (OTTO, 1991).....	19
Abb. 7: Beziehung zwischen Fließgeschwindigkeit und Korngröße (HJULSTRÖM, 1935).....	19
Abb. 8: Jahresmittel der Schwebstofffracht im Längsprofil (VERBUND, 1985-1992).....	20
Abb. 9: Schematische Darstellung eines Trübestroms in einem Speichersee (OEHY, 2002).....	21
Abb. 10: Sedimentablagerung innerhalb der Donaustauräume (Donaukraftwerke AG, Verbund) .....	23
Abb. 11: Verlandungsprozess ausgewählter Donaustauräume (Donaukraftwerke AG).....	23
Abb. 12: Verlandungsschema an einer Stauanlage (WESTRICH, 1981) .....	28
Abb. 13: Verfahrensschritte beim Umgang mit Baggergut (Geowissenschaften+Umwelt, 1999) .....	29
Abb. 14: Dreiteiliges LAGA Regelwerl (LAGA Mitteilung 20, 2003) .....	37
Abb. 15: Darstellung der Zuordnungswerte bzw. Einbauklassen (LAGA Mitteilung 20, 2003).....	39
Abb. 16: Abfall Baggergut nach Technischen Regeln der LAGA (Technische Regeln, 2004) .....	40
Abb. 17: Überblick über die Regelung zur Bodenmaterialverwertung (Technische Regeln, 2004).....	41
Abb. 18: Querschnitt durch eine geschlossene Deponie (WEV mbH).....	46
Abb. 19: Verfahrensschritte beim Umgang mit Baggergut (eigene Darstellung) .....	48
Abb. 20: Baggerstelzenponton und Liebherr R 974 (Fa. Felbermayr) .....	49
Abb. 21: Motorschiff "Grafenau" bei Str.km 1938,500 in Langenzersdorf (Fa. Felbermayr) .....	51
Abb. 22: Schubverbund bestehend aus "Grafenau" und "St. Peter" (Fa. Felbermayr) .....	52
Abb. 23: Umschlagen von Baggergut über einen Schubleichter (Fa. Felbermayr).....	53
Abb. 24: Dragflow HY 85 A - Baggertauchpumpe (Fa. Dragflow).....	55
Abb. 25: Separationstechnik aus dem Tunnelbau und Rohrvortrieb (Fa. ITE GmbH).....	56
Abb. 26: Entsandungsanlage mit einer Zyklonstufe (Fa. Bauer) .....	57
Abb. 27: Grobsieb mit Rüttelmotor (Fa. Bauer).....	58
Abb. 28: Hydrozyklon (Fa. Bauer).....	59
Abb. 29: Entwässerungssieb (Fa. Bauer).....	60
Abb. 30: Doppelzyklonierung (Fa. Bauer) .....	60
Abb. 31: Separieranlage AKA SEP 400 (Fa. AKW) .....	61
Abb. 32: Vertikalklärtank VC 2500 (Fa. ITE GmbH).....	65
Abb. 33: Flockungsmittelanlage MiniFlock (Fa. ITE GmbH) .....	66
Abb. 34: Aufbau eines Dekanters (Fa. Flottweg) .....	68
Abb. 35: Trommelantrieb mit Frequenzumrichter.....	69
Abb. 36: Simp-Drive® - Antrieb (Fa. Flottweg).....	70
Abb. 37: Dekanterzentrifuge ZR17254 (Fa. ITE GmbH).....	71
Abb. 38: Zentrifugenstand (Fa. ITE GmbH) .....	71
Abb. 39: Sattelaufleger (Fa. Meiller).....	73

Abb. 40: Zugmaschine TGS 18.480 mit Hinterkipper (Fa. MAN) .....	73
Abb. 41: Radlader L 524 (Fa. Liebherr).....	74
Abb. 42: Typische Kornverteilungen nach DWA Merkblatt 362 .....	76
Abb. 43: Kornverteilung der Donauschwebstoffe (BOKU Wien, 1998).....	77
Abb. 44: Kornverteilung innerhalb des Speichers (BADURA, 2002).....	78
Abb. 45: Kornverteilung innerhalb des Wöhrdersees (SfG GmbH, 2010) .....	79
Abb. 46: Bodenprofil und Bohrkern (SfG GmbH, 2012) .....	80
Abb. 47: Kornverteilung alpiner bayerischer Flüsse (Alpreserv, 2006).....	81
Abb. 48: Lageplan des Laufkraftwerkes Mellach (NVS, 1988).....	82
Abb. 49: Kornverteilung des Staubereiches (NVS, 1988) .....	83
Abb. 50: Lageplan der Schleuse Riedenburg.....	84
Abb. 51: Verfüllung des Steinbruchs Pfraundorf (Fa. Felbermayr) .....	86
Abb. 52: Verfuhrkonzept auf dem Wasser (eigene Darstellung).....	87
Abb. 53: Baggervorgang (eigene Darstellung) .....	87
Abb. 54: Baustelleneinrichtungsplan (eigene Darstellung) .....	88
Abb. 55: Entnahme und Weiterleitung des Baggergutes (eigene Darstellung).....	89
Abb. 56: Eindickung und Entwässerung des Baggergutes (eigene Darstellung).....	89
Abb. 57: Annahme einer Sieblinie des Baggergutes (schluffiger Sand) .....	90
Abb. 58: Einheitswürfel - Flusssohle .....	91
Abb. 59: Baggergut in der Schute .....	92
Abb. 60: Pumpfähige Dichte in der Schute .....	94
Abb. 61: Pumpfähige Suspension .....	95
Abb. 62: Restmassen Grobsieb .....	96
Abb. 63: Ausscheidung Grobsediment ( $> 45\mu\text{m}$ ) .....	98
Abb. 64: Weiterleitung Feinsediment ( $< 45\mu\text{m}$ ).....	99
Abb. 65: Zustand nach der Eindickung ( $< 45\mu\text{m}$ ).....	100
Abb. 66: Dekanteraustrag ( $< \mu\text{m}45$ ).....	101
Abb. 67: Wasserkreislauf mit Rücklaufwasser .....	103
Abb. 68: Zusammenhang Wassergehalt (Dekanteraustrag) - Volumensdifferenz.....	122
Abb. 69: Sieblinie - hoher Feinanteil .....	123
Abb. 70: Sieblinie - geringer Feinanteil .....	125
Abb. 71: Gesamtkostenvergleich bei geringem Feinanteil.....	126
Abb. 72: Zusammenhang Sieblinie - Kosten .....	127
Abb. 73: Variation der Entfernung zum Steinbruch.....	128
Abb. 74: Variation der Entfernung zur Baustelle (Grobsediment).....	128
Abb. 75: Zusammenhang Leistung - Kosten .....	129
Abb. 76: Zusammenhang Leistung - Pumpdichte .....	130
Abb. 77: Zusammenhang Pumpdichte - Feststoffaufladung Zyklone .....	131
Abb. 78: Gesamtkostenvergleich mit und ohne Deponierung.....	133
Abb. 79: Zusammenhang Trockensubstanz - Masse.....	134
Abb. 80: Zusammenhang Trockensubstanz - Volumen .....	134

Abb. 81: Zusammenhang Trockensubstanz - Kosten .....	135
Abb. 82: Typenblatt CAT 345 - Böschungsbagger.....	151
Abb. 83: Typenblatt CAT 345 - Grabkurven .....	152
Abb. 84: Typenblatt CAT 345 - Traglasttabelle .....	153
Abb. 85: Typenblatt CAT 345 - Löffelspezifikationen .....	153
Abb. 86: Leistungskennlinie und Abmessungen - Dragflow HY 85 B .....	154
Abb. 87: Zyklonauswahldiagramm (Fa. Bauer) .....	154
Abb. 88: Hinterkipper-SattelauflegerMHKS 43/2 A (Fa. Meiller) .....	155
Abb. 89: Zugmaschine TGS 18.480 (Fa. Meiller).....	156
Abb. 90: Radlader L 524 (Fa. Liebherr).....	156
Abb. 91: Hydrographische Karte der Länder Riedenburg (WSA Nürnberg, 2011) .....	157
Abb. 92: CAT - Zweischalengreifer .....	158

## 9. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Korngrößenverteilung für Lockersediment nach DIN 4022.....	13
Tab. 2: Mittelwerte für Relief und Denudation (AHNERT, Frank, 1996) .....	16
Tab. 3: Verwertungsmöglichkeiten auf einer Deponie .....	46
Tab. 4: Daten Baggerstelzenponton.....	50
Tab. 5: Daten Hydraulikbagger R 974.....	50
Tab. 6: Daten Schubboot "Grafenau" .....	52
Tab. 7: Daten Schubleichter .....	54
Tab. 8: Daten baggergesteuerte Tauchpumpe .....	55
Tab. 9: Daten Entsandungsanlage.....	62
Tab. 10: Daten Vertikalklärtank .....	66
Tab. 11: Daten Flockungsstation.....	67
Tab. 12: Daten Dekanterzentrifuge .....	72
Tab. 13: Daten Sattelzug.....	74
Tab. 14: Daten Radlader .....	75
Tab. 15: Übersicht der Klassifizierung.....	85
Tab. 16: Zusammenfassung der Eingabewerte .....	104
Tab. 17: Zusammenfassung der Ausgabewerte .....	105
Tab. 18: CAT 345 nach ÖBGL .....	110
Tab. 19: Baggergesteuerte Tauchpumpe nach ÖBGL.....	111
Tab. 20: CAT 385 nach ÖBGL .....	118
Tab. 21: Radbagger CAT M 322 D nach ÖBGL.....	118
Tab. 22: Gesamtkostenvergleich mit und ohne Aufbereitung .....	121
Tab. 23: Ausgabewerte - hoher Feinanteil .....	124
Tab. 24: Gesamtkostenvergleich bei hohem Feinanteil .....	124
Tab. 25: Ausgabewerte - geringer Feinanteil .....	125
Tab. 26: Z-Werte bei bodenähnlichen Anwendungen-Feststoffgehalte (TR , 2004) .....	144
Tab. 27: Z-Werte bei bodenähnlichen Anwendungen-Eluatkonzentrationen (TR , 2004) .....	144
Tab. 28: Z-Werte beim eingeschränkten Einbau - Feststoffgehalte.....	145
Tab. 29: Z-Werte beim eingeschränkten Einbau - Eluatkonzentrationen .....	145
Tab. 30: Zuordnungswerte für die Ablagerung auf Deponien (Teil 1) (DepV) .....	146
Tab. 31: Zuordnungswerte für die Ablagerung auf Deponien (Teil 2) (DepV) .....	147
Tab. 32: Zuordnungswerte für die Ablagerung auf Deponien (Teil 3) (DepV) .....	148
Tab. 33: Zuordnungskriterien für die Deponieersatzbaustoffe (Teil 1) (DebV) .....	149
Tab. 34: Zuordnungskriterien für die Deponieersatzbaustoffe (Teil 2) (DebV) .....	150

## 10. Literaturverzeichnis

- Ahnert, F. (1996). *Einführung in die Geomorphologie*. Stuttgart: UTB.
- Badura, H. (2002). *Diplomarbeit: Schwebstoffbilanz im Einzugsgebiet des Speichers Großölk*.
- Bechteler, W. (2006). *Sedimentquellen und Transportprozesse*. Neubiberg: Institut für Wasserwesen - Universität der Bundeswehr München.
- Bertram, H. U. (2002). *Fachliche Grundlagen für die Überarbeitung der LAGA-Mitteilung 20*. Hannover.
- Cantré, S. (2011). *Mobile Baggergut-Entwässerung mit geotextilen Schläuchen*.
- Frey, W. (2000). *3. Workshop Schlammbehandlung - Maschinelle Ausrüstung der Schlammbehandlung*. Wien: TU-Wien.
- Fritze, C. (2012). *Umgang mit Baggergut unter Beachtung der aktuellen Gesetzgebung*. Zittau/Görlitz.
- Hafentechnische Gesellschaft Fachausschuss Baggergut. (2006). *Verwertung von feinkörnigem Baggergut im Bereich der deutschen Küste*. Hamburg: HTG Fachausschuss Baggergut.
- Köthe, H. (2002). *Baggergut im Kontext nationaler und europäischer Regelungen*. Rostock: Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz.
- Lehner, J. (unbekannt). *Mechanisches Trennen*. Wels.
- Luckert, K. (2004). *Handbuch der mechanischen Fest-Flüssig-Trennung*. Essen: Vulkan-Verlag GmbH.
- Nachtnebel, H.-P. (1998). *Schwebstoffe in der Donau - Herkunft und Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Donau und ihren wichtigsten Zubringern*. Wien: Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft.

- Patt, H. (2011). *Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Pelzer, J., Laier, W., Fuchs, G., & Grünwald, K. (2005). *Bewertungskriterien für die Unterbringung von Baggergut an Land*. Koblenz.
- Seuss, J. (2010). *Der Sandfang wird für 200000 Euro geleert*. Nürnberg: Nürnberger Nachrichten.
- Stolz, J., Achermann, U., & Amrein, B. (2003). *Entsorgung von Sedimenten aus Stauhaltungen*. Zürich: Baudirektion Kanton Zürich.
- Strobl, T., & Zunic, F. (2006). *Wasserbau: Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

## 11. Anhang 1

Parameter	Dimension	Z 0 (Sand)	Z 0 (Lehm/Schluff)	Z 0 (Ton)	Z 0* <sup>1)</sup>
Arsen	mg/kg TS	10	15	20	15 <sup>2)</sup>
Blei	mg/kg TS	40	70	100	140
Cadmium	mg/kg TS	0,4	1	1,5	1 <sup>3)</sup>
Chrom (gesamt)	mg/kg TS	30	60	100	120
Kupfer	mg/kg TS	20	40	60	80
Nickel	mg/kg TS	15	50	70	100
Thallium	mg/kg TS	0,4	0,7	1	0,7 <sup>4)</sup>
Quecksilber	mg/kg TS	0,1	0,5	1	1,0
Zink	mg/kg TS	60	150	200	300
TOC	(Masse-%)	0,5 (1,0) <sup>5)</sup>	0,5 (1,0) <sup>5)</sup>	0,5 (1,0) <sup>5)</sup>	0,5 (1,0) <sup>5)</sup>
EOX	mg/kg TS	1	1	1	1 <sup>6)</sup>
Kohlenwasser- stoffe	mg/kg TS	100	100	100	200 (400) <sup>7)</sup>
BTX	mg/kg TS	1	1	1	1
LHKW	mg/kg TS	1	1	1	1
PCB <sub>8</sub>	mg/kg TS	0,05	0,05	0,05	0,1
PAK <sub>16</sub>	mg/kg TS	3	3	3	3
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,3	0,3	0,3	0,6

- <sup>1)</sup> maximale Feststoffgehalte für die Verfüllung von Abgrabungen unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen (siehe "Ausnahmen von der Regel" für die Verfüllung von Abgrabungen in Nr. II.1.2.3.2)
- <sup>2)</sup> Der Wert 15 mg/kg gilt für Bodenmaterial der Bodenarten Sand und Lehm/Schluff. Für Bodenmaterial der Bodenart Ton gilt der Wert 20 mg/kg
- <sup>3)</sup> Der Wert 1 mg/kg gilt für Bodenmaterial der Bodenarten Sand und Lehm/Schluff. Für Bodenmaterial der Bodenart Ton gilt der Wert 1,5 mg/kg
- <sup>4)</sup> Der Wert 0,7 mg/kg gilt für Bodenmaterial der Bodenarten Sand und Lehm/Schluff. Für Bodenmaterial der Bodenart Ton gilt der Wert 1,0 mg/kg
- <sup>5)</sup> Bei einem C:N-Verhältnis > 25 beträgt der Zuordnungswert 1 Masse-%.
- <sup>6)</sup> Bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen.
- <sup>7)</sup> Die angegebenen Zuordnungswerte gelten für Kohlenwasserstoffverbindungen mit einer Kettenlänge von C<sub>10</sub> bis C<sub>22</sub>. Der Gesamtgehalt, bestimmt nach E DIN EN 14039 (C<sub>10</sub> bis C<sub>40</sub>), darf insgesamt den in Klammern genannten Wert nicht überschreiten.

Tab. 26: Z-Werte bei bodenähnlichen Anwendungen-Feststoffgehalte (TR , 2004)

Parameter	Dimension	Z 0/Z 0*
pH-Wert	-	6,5-9,5
Leitfähigkeit	µS/cm	250
Chlorid	mg/L	30
Sulfat	mg/L	20
Cyanid	µg/L	5
Arsen	µg/L	14
Blei	µg/L	40
Cadmium	µg/L	1,5
Chrom (gesamt)	µg/L	12,5
Kupfer	µg/L	20
Nickel	µg/L	15
Quecksilber	µg/L	< 0,5
Zink	µg/L	150
Phenolindex	µg/L	20

Tab. 27: Z-Werte bei bodenähnlichen Anwendungen-Eluatkonzentrationen (TR , 2004)



Parameter	Dimension	Z 1	Z 2
Arsen	mg/kg TS	45	150
Blei	mg/kg TS	210	700
Cadmium	mg/kg TS	3	10
Chrom (gesamt)	mg/kg TS	180	600
Kupfer	mg/kg TS	120	400
Nickel	mg/kg TS	150	500
Thallium	mg/kg TS	2,1	7
Quecksilber	mg/kg TS	1,5	5
Zink	mg/kg TS	450	1500
Cyanide, gesamt	mg/kg TS	3	10
TOC	(Masse-%)	1,5	5
EOX	mg/kg TS	3 <sup>1)</sup>	10
Kohlenwasserstoffe	mg/kg TS	300 (600) <sup>2)</sup>	1000 (2000) <sup>2)</sup>
BTX	mg/kg TS	1	1
LHKW	mg/kg TS	1	1
PCB <sub>6</sub>	mg/kg TS	0,15	0,5
PAK <sub>16</sub>	mg/kg TS	3 (9) <sup>3)</sup>	30
Benzo(a)pyren	mg/kg TS	0,9	3

- 1) Bei Überschreitung ist die Ursache zu prüfen
- 2) Die angegebenen Zuordnungswerte gelten für Kohlenwasserstoffverbindungen mit einer Kettenlänge von C<sub>10</sub> bis C<sub>22</sub>. Der Gesamtgehalt, bestimmt nach E DIN EN 14039 (C<sub>10</sub>-C<sub>40</sub>), darf insgesamt den in Klammern genannten Wert nicht überschreiten.
- 3) Bodenmaterial mit Zuordnungswerten > 3 mg/kg und ≤ 9 mg/kg darf nur in Gebieten mit hydrogeologisch günstigen Deckschichten eingebaut werden.

**Tab. 28: Z-Werte beim eingeschränkten Einbau - Feststoffgehalte**

Parameter	Dimension	Z 1.1	Z 1.2	Z 2
pH-Wert	-	6,5-9,5	6-12	5,5-12
Leitfähigkeit	µS/cm	250	1500	2000
Chlorid	mg/L	30	50	100 <sup>2)</sup>
Sulfat	mg/L	20	50	200
Cyanid	µg/L	5	10	20
Arsen	µg/L	14	20	60 <sup>3)</sup>
Blei	µg/L	40	80	200
Cadmium	µg/L	1,5	3	6
Chrom (gesamt)	µg/L	12,5	25	60
Kupfer	µg/L	20	60	100
Nickel	µg/L	15	20	70
Quecksilber	µg/L	< 0,5	1	2
Zink	µg/L	150	200	600
Phenolindex	µg/L	20	40	100

<sup>2)</sup> bei natürlichen Böden in Ausnahmefällen bis 300 mg/l

<sup>3)</sup> bei natürlichen Böden in Ausnahmefällen bis 120 µg/l

**Tab. 29: Z-Werte beim eingeschränkten Einbau - Eluatkonzentrationen**

1	2	3	4	5	6	7	8	9 <sup>1)</sup>
Nr.	Parameter	Maßeinheit	Geologische Barriere	DK 0	DK I	DK II	DK III	Rekultivierungsschicht
<b>1</b>	<b>organischer Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz<sup>2)</sup></b>							
1.01	bestimmt als Glühverlust	Masse%	≤ 3	≤ 3	≤ 3 <sup>3)4)5)</sup>	≤ 5 <sup>3)4)5)</sup>	≤ 10 <sup>4)5)</sup>	
1.02	bestimmt als TOC	Masse%	≤ 1	≤ 1	≤ 1 <sup>3)4)5)</sup>	≤ 3 <sup>3)4)5)</sup>	≤ 6 <sup>4)5)</sup>	
<b>2</b>	<b>Feststoffkriterien</b>							
2.01	Summe BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o-, m-, p-Xylol, Styrol, Cumol)	mg/kg TM	≤ 1	≤ 6				
2.02	PCB (Summe der 7 PCB-Kongenere, PCB-28, -52, -101, -118, -138, -153, -180)	mg/kg TM	≤ 0,02	≤ 1				≤ 0,1
2.03	Mineralölkohlenwasserstoffe (C 10 bis C 40)	mg/kg TM	≤ 100	≤ 500				
2.04	Summe PAK nach EPA	mg/kg TM	≤ 1	≤ 30				≤ 5 <sup>6)</sup>
2.05	Benzo(a)pyren	mg/kg TM						≤ 0,6
2.06	Säureneutralisationskapazität	mmol/kg			muss bei gefährlichen Abfällen ermittelt werden <sup>7)</sup>	muss bei gefährlichen Abfällen ermittelt werden <sup>7)</sup>	muss ermittelt werden	
2.07	extrahierbare lipophile Stoffe in der Originalsubstanz	Masse%		≤ 0,1	≤ 0,4 <sup>5)</sup>	≤ 0,8 <sup>5)</sup>	≤ 4 <sup>5)</sup>	
2.08	Blei	mg/kg TM						≤ 140
2.09	Cadmium	mg/kg TM						≤ 1,0
2.10	Chrom	mg/kg TM						≤ 120
2.11	Kupfer	mg/kg TM						≤ 80
2.12	Nickel	mg/kg TM						≤ 100
2.13	Quecksilber	mg/kg TM						≤ 1,0
2.14	Zink	mg/kg TM						≤ 300
<b>3</b>	<b>Eluatkriterien</b>							
3.01	pH-Wert <sup>8)</sup>		6,5-9	5,5-13	5,5-13	5,5-13	4-13	6,5-9

Tab. 30: Zuordnungswerte für die Ablagerung auf Deponien (Teil 1) (DepV)

1	2	3	4	5	6	7	8	9 <sup>1)</sup>
Nr.	Parameter	Maß- einheit	Geo- logische Barriere	DK 0	DK I	DK II	DK III	Rekulti- vierungs- schicht
3.02	DOC <sup>9)</sup>	mg/l		≤ 50	≤ 50 <sup>3)</sup> , <sup>10)</sup>	≤ 80 <sup>3)</sup> , <sup>10)</sup> , <sup>11)</sup>	≤ 100	
3.03	Phenole	mg/l	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 50	≤ 100	
3.04	Arsen	mg/l	≤ 0,01	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 2,5	≤ 0,01
3.05	Blei	mg/l	≤ 0,02	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 1	≤ 5	≤ 0,04
3.06	Cadmium	mg/l	≤ 0,002	≤ 0,004	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 0,002
3.07	Kupfer	mg/l	≤ 0,05	≤ 0,2	≤ 1	≤ 5	≤ 10	≤ 0,05
3.08	Nickel	mg/l	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,2	≤ 1	≤ 4	≤ 0,05
3.09	Quecksilber	mg/l	≤ 0,0002	≤ 0,001	≤ 0,005	≤ 0,02	≤ 0,2	≤ 0,0002
3.10	Zink	mg/l	≤ 0,1	≤ 0,4	≤ 2	≤ 5	≤ 20	≤ 0,1
3.11	Chlorid <sup>12)</sup>	mg/l	≤ 10	≤ 80	≤ 1 500 <sup>13)</sup>	≤ 1 500 <sup>13)</sup>	≤ 2 500	≤ 10 <sup>14)</sup>
3.12	Sulfat <sup>12)</sup>	mg/l	≤ 50	≤ 100 <sup>15)</sup>	≤ 2 000 <sup>13)</sup>	≤ 2 000 <sup>13)</sup>	≤ 5 000	≤ 50 <sup>14)</sup>
3.13	Cyanid, leicht freisetzbar	mg/l	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 1	
3.14	Fluorid	mg/l		≤ 1	≤ 5	≤ 15	≤ 50	
3.15	Barium	mg/l		≤ 2	≤ 5 <sup>13)</sup>	≤ 10 <sup>13)</sup>	≤ 30	
3.16	Chrom, gesamt	mg/l		≤ 0,05	≤ 0,3	≤ 1	≤ 7	≤ 0,03
3.17	Molybdän	mg/l		≤ 0,05	≤ 0,3 <sup>13)</sup>	≤ 1 <sup>13)</sup>	≤ 3	
3.18a	Antimon <sup>16)</sup>	mg/l		≤ 0,006	≤ 0,03 <sup>13)</sup>	≤ 0,07 <sup>13)</sup>	≤ 0,5	
3.18b	Antimon - C <sub>0</sub> -Wert <sup>16)</sup>	mg/l		≤ 0,1	≤ 0,12 <sup>13)</sup>	≤ 0,15 <sup>13)</sup>	≤ 1,0	
3.19	Selen	mg/l		≤ 0,01	≤ 0,03 <sup>13)</sup>	≤ 0,05 <sup>13)</sup>	≤ 0,7	
3.20	Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen <sup>12)</sup>	mg/l	≤ 400	≤ 400	≤ 3 000	≤ 6 000	≤ 10 000	
3.21	elektrische Leitfähigkeit	µS/cm						≤ 500

Tab. 31: Zuordnungswerte für die Ablagerung auf Deponien (Teil 2) (DepV)

- 1) In Gebieten mit naturbedingt oder großflächig siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten in Böden ist eine Verwendung von Bodenmaterial aus diesen Gebieten zulässig, welches die Hintergrundgehalte des Gebietes nicht überschreitet, sofern die Funktion der Rekultivierungsschicht nicht beeinträchtigt wird.
- 2) Nummer 1.01 kann gleichwertig zu Nummer 1.02 angewandt werden.
- 3) Eine Überschreitung des Zuordnungswertes ist mit Zustimmung der zuständigen Behörde bei Bodenaushub (Abfallschlüssel 17 05 04 und 20 02 02 nach der Anlage zur Abfallverzeichnis-Verordnung) und bei Baggergut (Abfallschlüssel 17 05 06 nach der Anlage zur Abfallverzeichnis-Verordnung) zulässig, wenn
  - a) die Überschreitung ausschließlich auf natürliche Bestandteile des Bodenaushubes oder des Baggergutes zurückgeht,
  - b) sonstige Fremdbestandteile nicht mehr als 5 Volumenprozent ausmachen,
  - c) bei der gemeinsamen Ablagerung mit gipshaltigen Abfällen der DOC-Wert maximal 80 mg/l beträgt,
  - d) auf der Deponie, dem Deponieabschnitt oder dem gesonderten Teilabschnitt eines Deponieabschnitts ausschließlich nicht gefährliche Abfälle abgelagert werden und
  - e) das Wohl der Allgemeinheit – gemessen an den Anforderungen dieser Verordnung – nicht beeinträchtigt wird.
- 4) Der Zuordnungswert gilt nicht für Aschen aus der Braunkohlefeuerung sowie für Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe aus Hochtemperaturprozessen; zu Letzteren gehören insbesondere Abfälle aus der Verarbeitung von Schlacke, unbearbeitete Schlacke, Stäube und Schlämme aus der Abgasreinigung von Sinteranlagen, Hochöfen, Schachtöfen und Stahlwerken der Eisen- und Stahlindustrie. Bei gemeinsamer Ablagerung mit gipshaltigen Abfällen darf der TOC-Wert der in Satz 1 genannten Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe maximal 5 Masseprozent betragen. Eine Überschreitung dieses TOC-Wertes ist zulässig, wenn der DOC-Wert maximal 80 mg/l beträgt.
- 5) Gilt nicht für Asphalt auf Bitumen- oder auf Teerbasis.
- 6) Bei PAK-Gehalten von mehr als 3 mg/kg ist mit Hilfe eines Säulenversuches nach Anhang 4 Nummer 3.2.2 nachzuweisen, dass in dem Säuleneluat bei einem Flüssigkeits-Feststoffverhältnis von 2:1 ein Wert von 0,2 µg/l nicht überschritten wird.
- 7) Nicht erforderlich bei asbesthaltigen Abfällen und Abfällen, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten.
- 8) Abweichende pH-Werte stellen allein kein Ausschlusskriterium dar. Bei Über- oder Unterschreitungen ist die Ursache zu prüfen. Werden jedoch auf Deponien der Klassen I und II gefährliche Abfälle abgelagert, muss deren pH-Wert mindestens 6,0 betragen.
- 9) Der Zuordnungswert für DOC ist auch eingehalten, wenn der Abfall oder der Deponieersatzbaustoff den Zuordnungswert nicht bei seinem eigenen pH-Wert, aber bei einem pH-Wert zwischen 7,5 und 8,0 einhält.
- 10) Auf Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe auf Gipsbasis nur anzuwenden, wenn sie gemeinsam mit gefährlichen Abfällen abgelagert oder eingesetzt werden.
- 11) Überschreitungen des DOC-Wertes bis maximal 100 mg/l sind zulässig, wenn auf der Deponie oder dem Deponieabschnitt keine gipshaltigen Abfälle und seit dem 16. Juli 2005 ausschließlich nicht gefährliche Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe abgelagert oder eingesetzt werden.
- 12) Nummer 3.20 kann, außer in den Fällen gemäß Spalte 9 (Rekultivierungsschicht), gleichwertig zu den Nummern 3.11 und 3.12 angewandt werden.
- 13) Der Zuordnungswert gilt nicht, wenn auf der Deponie oder dem Deponieabschnitt seit dem 16. Juli 2005 ausschließlich nicht gefährliche Abfälle oder Deponieersatzbaustoffe abgelagert oder eingesetzt werden.
- 14) Untersuchung entfällt bei Bodenmaterial ohne mineralische Fremdbestandteile.
- 15) Überschreitungen des Sulfatwertes bis zu einem Wert von 600 mg/l sind zulässig, wenn der  $C_0$ -Wert der Perkulationsprüfung den Wert von 1 500 mg/l bei  $L/S = 0,1$  l/kg nicht überschreitet.
- 16) Überschreitungen des Antimonwertes nach Nummer 3.18a sind zulässig, wenn der  $C_0$ -Wert der Perkulationsprüfung bei  $L/S = 0,1$  l/kg nach Nummer 3.18b nicht überschritten wird.

**Tab. 32: Zuordnungswerte für die Ablagerung auf Deponien (Teil 3) (DepV)**

1 Nr.	2 Einsatzbereich	3 DK 0	4 DK I	5 DK II	6 DK III
<b>1</b>	<b>Geologische Barriere</b>				
1.1	Technische Maßnahmen zur Schaffung, Vervollständigung oder Verbesserung der geologischen Barriere	4	4	4	4
<b>2</b>	<b>Basisabdichtungssystem</b>				
2.1	Mineralische Abdichtungskomponente		5	5	5
2.2	Schutzlage/Schutzschicht		6	7	8
2.3	Mineralische Entwässerungsschicht	5	6	7	8
<b>3</b>	<b>Deponietechnisch notwendige Baumaßnahmen im Deponiekörper (z. B. Trenndämme, Fahrstraßen, Gaskollektoren), Profilierung des Deponiekörpers sowie Ausgleichsschicht und Gasdränschicht des Oberflächenabdichtungssystems bei Deponien oder Deponieabschnitten, die<sup>1)</sup></b>				
3.1	alle Anforderungen an die geologische Barriere und das Basisabdichtungssystem nach Anhang 1 einhalten	5	6	7	8
3.2	mindestens alle Anforderungen an die geologische Barriere oder an das Basisabdichtungssystem nach Anhang 1 einhalten	5	5 <sup>2)</sup>	6	7
3.3	weder die Anforderungen an die geologische Barriere noch die Anforderungen an das Basisabdichtungssystem nach Anhang 1 vollständig einhalten	3)	5 <sup>2)</sup>	5 <sup>2)</sup>	5 <sup>2)</sup>
<b>4</b>	<b>Oberflächenabdichtungssystem</b>				
4.1	Mineralische Abdichtungskomponente		5 <sup>2)</sup>	5 <sup>2)</sup>	5 <sup>2)</sup>
4.2	Schutzlage/Schutzschicht			4)	4)
4.3	Entwässerungsschicht		4)	4)	4)
4.4.1	Rekultivierungsschicht	9	9	9	9
4.4.2	Technische Funktionsschicht	Anhang 1 Nr. 2.3.2	Anhang 1 Nr. 2.3.2	Anhang 1 Nr. 2.3.2	Anhang 1 Nr. 2.3.2

**Tab. 33: Zuordnungskriterien für die Deponieersatzbaustoffe (Teil 1) (DebV)**

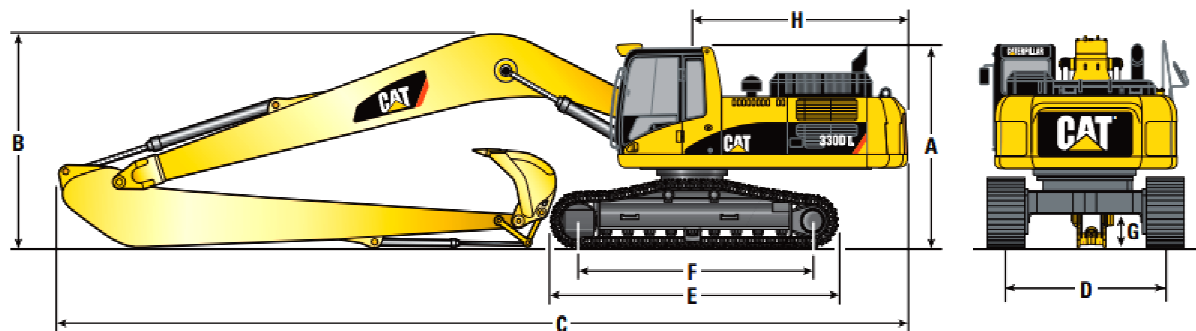
- 1) Bei erhöhten Gehalten des natürlich anstehenden Bodens im Umfeld von Deponien kann die zuständige Behörde zulassen, dass Bodenmaterial aus diesem Umfeld für die genannten Einsatzbereiche verwendet wird, auch wenn einzelne Zuordnungswerte nach Nummer 2 Tabelle 2 überschritten werden. Dabei dürfen keine nachteiligen Auswirkungen auf das Deponieverhalten zu erwarten sein.
- 2) Kann der Deponiebetreiber gegenüber der zuständigen Behörde auf Grund einer Bewertung der Risiken für die Umwelt den Nachweis erbringen, dass die Verwendung von Deponieersatzbaustoffen, die einzelne Zuordnungswerte nach Nummer 2 Tabelle 2 Spalte 5 nicht einhalten, keine Gefährdung für Boden oder Grundwasser darstellt, kann sie auch höher belastete Deponieersatzbaustoffe zulassen. Im Fall von Satz 1 müssen die Deponieersatzbaustoffe aber mindestens die Anforderungen einhalten, unter denen eine Verwertung entsprechender Abfälle außerhalb des Deponiekörpers in technischen Bauwerken mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen zulässig wäre. Im Fall von Satz 1 müssen Deponieersatzbaustoffe bei einem Einsatz in der ersten Abdichtungskomponente unter einer zweiten Abdichtungskomponente aber mindestens die Zuordnungswerte nach Tabelle 2 Spalte 6 einhalten. Unberührt von der Begrenzung nach Satz 2 bleibt der Einsatz in Bereichen nach Nummer 3, wenn im Fall von Satz 1 bei einer Deponie der Klasse II mindestens die Zuordnungswerte nach Tabelle 2 Spalte 6 und bei einer Deponie der Klasse III mindestens die Zuordnungswerte nach Tabelle 2 Spalte 7 eingehalten werden.
- 3) Deponieersatzbaustoffe müssen bei einem Einsatz auf einer Deponie der Klasse 0, die über keine vollständige geologische Barriere nach Anhang 1 Tabelle 1 verfügt, mindestens die Anforderungen einhalten, unter denen eine Verwertung entsprechender Abfälle außerhalb des Deponiekörpers zulässig wäre.
- 4) In diesen Einsatzbereichen müssen die Deponieersatzbaustoffe mindestens die Anforderungen für ein vergleichbares Einsatzgebiet außerhalb von Deponien in technischen Bauwerken ohne besondere Anforderungen an den Standort und ohne technische Sicherungsmaßnahmen einhalten.

**Tab. 34: Zuordnungskriterien für die Deponieersatzbaustoffe (Teil 2) (DebV)**

## 12. Anhang 2

### Abmessungen und Gewichte

Bei allen Maß- und Gewichtsangaben handelt es sich um Zirkawerte.



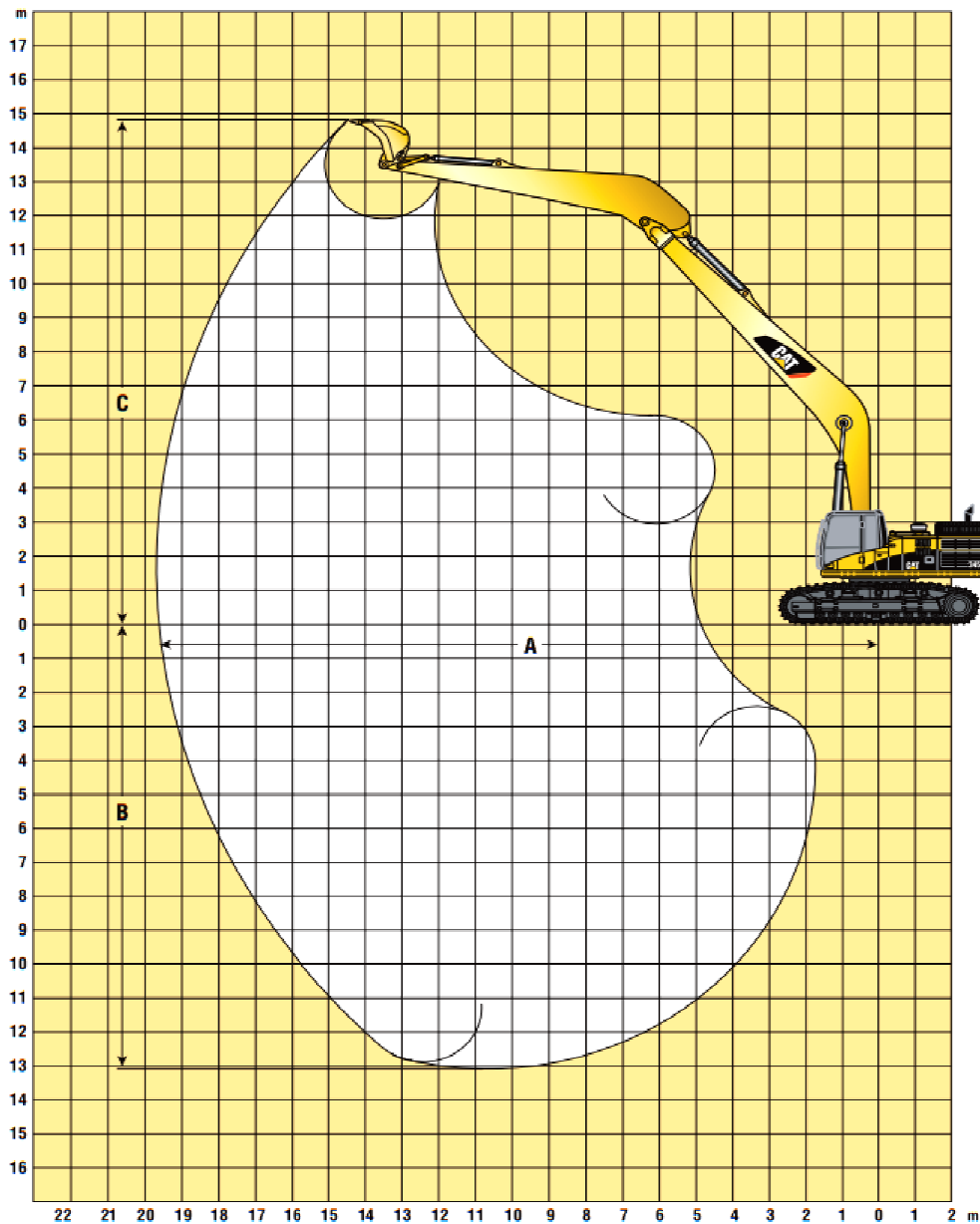
	325D			330D			345C		385C		
Unterwagen	L	HDHW	HDHW	L	HDHW	HDHW	HDW	HDW	LVG	LVG	
Böschungsausrüstung	14 m	14 m	16 m	15,5 m	15,5 m	18 m	16 m	19,5 m	18 m	21,5 m	
<b>A</b> Höhe über Kabine											
ohne Steinschlagschutz (FOG)	mm	3170	3392	3392	3280	3511	3511	3373	3373	3760	3760
mit Steinschlagschutz (FOG)	mm	3340	3562	3562	3450	3681	3681	3543	3543	3950	3950
<b>B</b> Höhe über Ausleger	mm	3205	3340	3575	3305	3445	3595	3555	3725	5715	4280
<b>C</b> Gesamtlänge	mm	12155	12130	13640	13665	13630	15310	14500	16480	16605	18780
<b>D</b> Transportbreite (eingefahren)	mm	2590	2920	2920	2590	2920	2920	3220	3220	2750	2750
Arbeitsbreite (ausgefahren)	mm	2590	2920	2920	2590	2920	2920	3720	3720	3510	3510
<b>E</b> Laufwerkslänge	mm	4860	4860	4860	5020	5020	5020	5340	5340	6360	6360
<b>F</b> Tragende Kettenlänge	mm	3990	3990	3990	4040	4040	4040	4340	4340	5120	5120
<b>G</b> Bodenfreiheit	mm	480	660	660	510	720	720	740	740	890	890
<b>H</b> Heckschwenkradius	mm	3080	3080	3080	3500	3500	3500	3770	3770	4590	4590
Auslegerlänge	mm	8000	8000	9500	9000	9000	10660	9500	11500	10500	12500
Stiellänge	mm	5300	5300	6000	6000	6000	7100	6500	8500	5500	9500
Löffelgruppe		CB2	CB2	B1	CB2	CB2	B1	DB	B1	HB	DB
Gegengewicht	kg	7700	7700	7700	8450	8450	8450	12000	12000	14700	14700
Einsatzgewicht	kg	32230	33580	33580	38420	39990	39680	55350	55 800	88310	88490

	325D	330D	345C	385C
Cat® Motoren mit ACERT™-Konzept	C7	C9	C13	C18
Nennleistung (ISO 9249) bei 1800/min	152 kW (207 PS)	200 kW (270 PS)	239 kW (325 PS)	390 kW (530 PS)
Einsatzgewicht	32,2–33,6 t	38,4–40,0 t	55,4–55,8 t	88,3–88,5 t
Maximale Reichweite	14,1–15,9 m	15,6–18,0 m	16,2–19,6 m	18,0–21,3 m

Abb. 82: Typenblatt CAT 345 - Böschungsbagger

## Grabkurven und Betriebsdaten – 345C

Maschinen mit Böschungsausrüstung, HD-Oberwagen.  
Gegengewicht 12 000 kg und Dreisteg-Bodenplatten 600 mm.



Unterwagen		HDW	HDW
Böschungsausrüstung		16 m	19,5 m
<b>A</b> Maximale Reichweite	mm	16 245	19 615
<b>B</b> Maximale Grabtiefe	mm	10 440	13 115
<b>C</b> Maximale Einsteckhöhe	mm	12 525	14 875
Löffelschwenkradius	mm	1680	1402
Losbrechkraft (ISO 6015)	kN	181	130
Reißkraft (ISO 6015)	kN	139	111

Die Grabkurven hängen vom verwendeten Löffeltyp ab.

**Abb. 83: Typenblatt CAT 345 - Grabkurven**



## Traglasttabellen – 345C

Maschinen mit Böschungsausrüstung, HD-Oberwagen, Gegengewicht 12 000 kg und Dreisteg-Bodenplatten 600 mm.  
**Schwerlast-Hubfunktion ausgeschaltet.** Alle Gewichtsangaben in kg.

Unterwagen – HDW      Böschungsausrüstung – 18,6 m      Löffelgewicht/-inhalt – 832 kg/1,2 m³

mm	1,5 m		3,0 m		4,5 m		6,0 m		7,5 m		9,0 m		10,5 m		12 m		13,5 m		15,0 m		16,5 m		18,0 m		mm
	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	HDW	
12,0 m																									
10,5 m																									
9,0 m																									
7,5 m																									
6,0 m																									
4,5 m																									
3,0 m																									
1,5 m																									
0 m																									
-1,5 m																									
-3,0 m																									
-4,5 m																									
-6,0 m																									
-7,5 m																									
-9,0 m																									
-10,5 m																									
12 m																									

Abb. 84: Typenblatt CAT 345 - Traglasttabelle

## Löffelspezifikationen

### Tieflöffel (Füllungsgrad 90%)

#### Löffelgruppe B

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	325D HDHW 16 m		330D HDHW 18 m		345C HDW 19,5 m	
			BA	SW	BA	SW	BA	SW
600	0,44	564						
750	0,59	593						
1000	0,86	698						
1200	1,08	783						
1250	1,13	800						
1300	1,19	818						
1400	1,30	853						
1500	1,41	888						

#### Löffelgruppe CB

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	325D L 14 m		325D HDHW 14 m	
			BA	SW	BA	SW
600	0,49	664				
750	0,67	688				
1250	1,29	919				
1300	1,35	958				
1350	1,42	979				
1400	1,48	1000				
1500	1,61	1043				
1600	1,74	1084				

#### Löffelgruppe DB

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	345C HDW 16 m		385C LVG 21,5 m	
			BA	SW	BA	SW
1000	1,11	1124				
1350	1,62	1333				
1500	1,84	1443				
1600	1,99	1501				
1650	2,07	1530				
1700	2,14	1558				

#### Löffelgruppe HB

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	385C LVG 18 m	
			BA	SW
1150	2,00	2833		
1350	2,60	3073		
1750	3,50	3624		

BA = Bolzenaufhängung  
 SW = Schnellwechsleraufhängung

### Grabenräumlöffel (Füllungsgrad 90%)

#### Löffelgruppe B

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	325D HDHW 16 m		330D HDHW 18 m		345C HDW 19,5 m	
			BA	SW	BA	SW	BA	SW
1800	1,05	690						
2000	1,18	750						

#### Löffelgruppe CB

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	325D L 14 m		325D HDHW 14 m	
			BA	SW	BA	SW
2100	1,23	800				
2200	1,3	830				

#### Löffelgruppe DB

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	345C HDW 16 m		385C LVG 21,5 m	
			BA	SW	BA	SW
2000	1,63	1095				

### Grabenräumlöffel, schwenkbar

#### Löffelgruppe B

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	325D HDHW 16 m		330D HDHW 18 m		345C HDW 19,5 m	
			BA	SW	BA	SW	BA	SW
1800	0,88	1010						
2000	0,98	1060						

#### Löffelgruppe CB

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	325D L 14 m		325D HDHW 14 m	
			BA	SW	BA	SW
2000	0,98	1090				
2000	1,15	1120				

#### Löffelgruppe DB

Schnittbreite mm	Inhalt (ISO) m³	Gewicht* kg	345C HDW 16 m		385C LVG 21,5 m	
			BA	SW	BA	SW
2200	1,52	1625				

Max. Materialschüttgewicht 1800 kg/m³      Max. Materialschüttgewicht 1500 kg/m³  
 Max. Materialschüttgewicht 1200 kg/m³      Unzulässig

Abb. 85: Typenblatt CAT 345 - Löffelspezifikationen

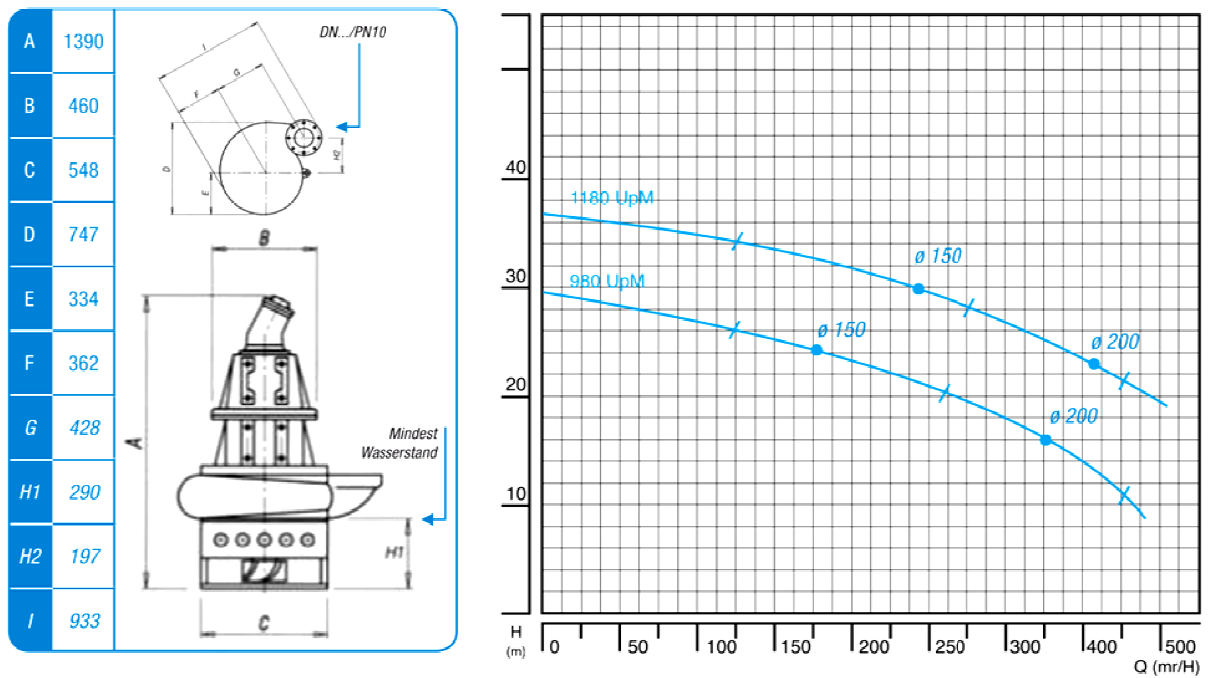


Abb. 86: Leistungskennlinie und Abmessungen - Dragflow HY 85 B

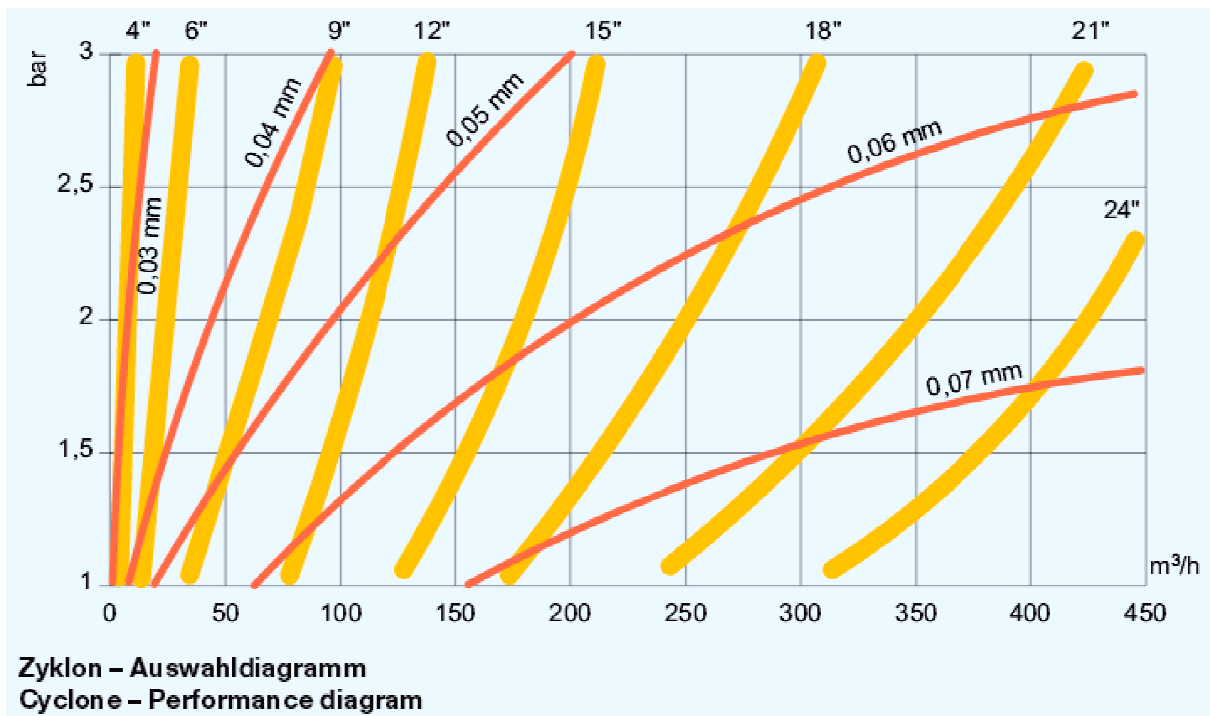
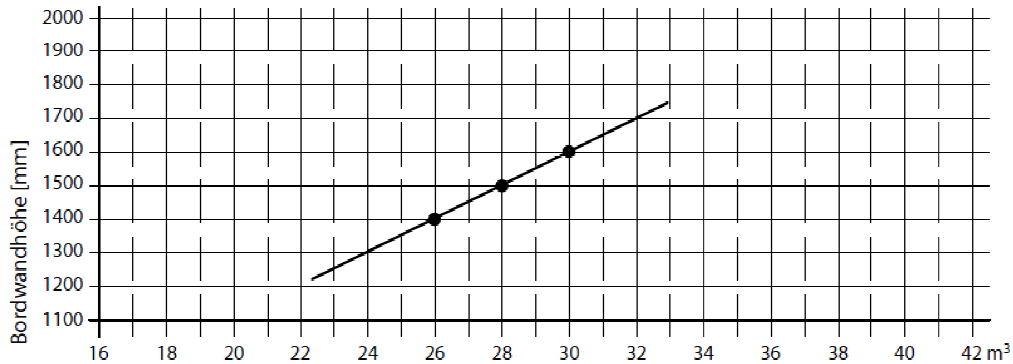
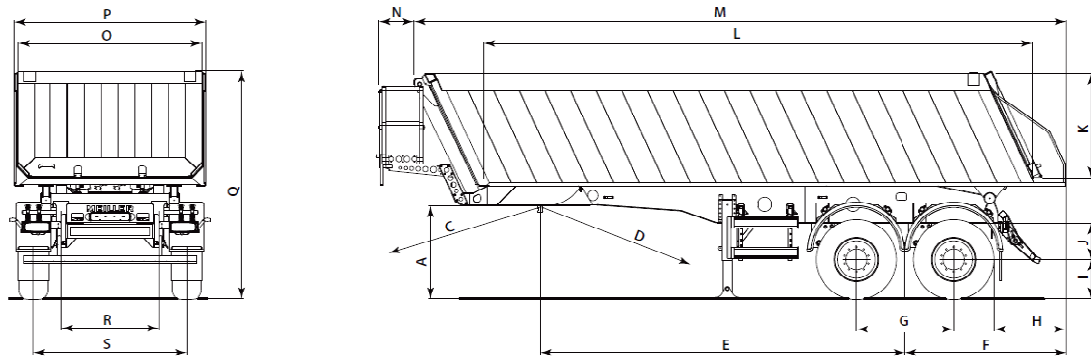
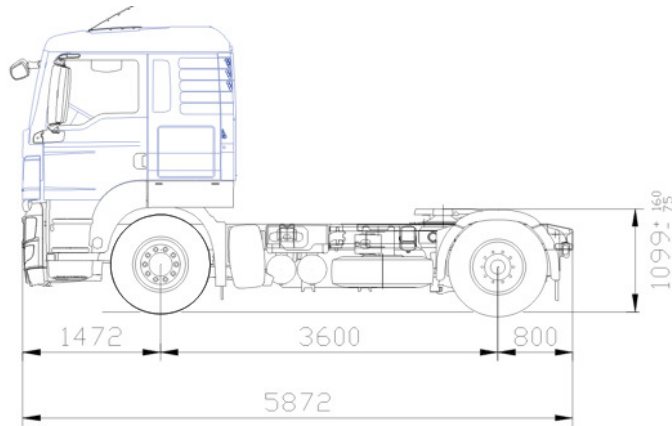


Abb. 87: Zyklonauswahldiagramm (Fa. Bauer)



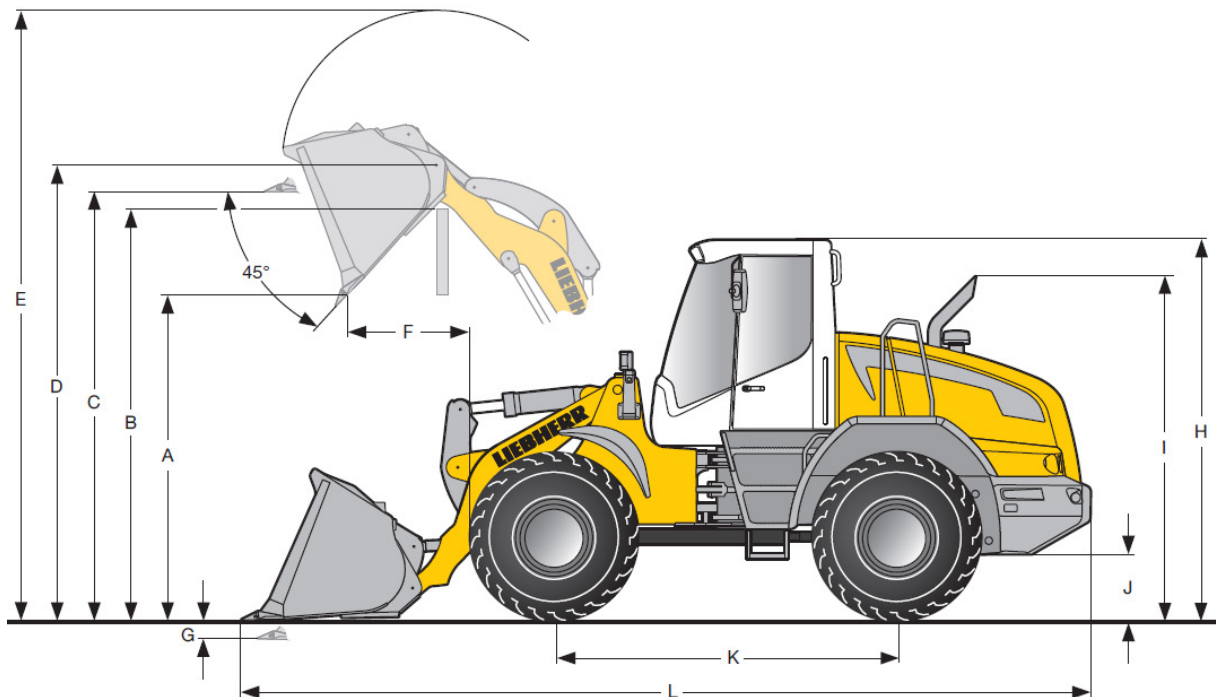
<b>Version:</b>	<b>Normalversion</b>	
<b>Ausführung:</b>	Single	
<b>Baumuster:</b>	MHKA 15/18 NOSS2	
<b>Aufbautyp:</b>	Kasten	
<b>Lage der RW:</b>	Innen (S2)	
<b>Funktion der RW:</b>	pendelnd	
<b>Abmessungen:</b>		
<b>A</b>	Min. Aufsattelhöhe, unbeladen / beladen (Sattelanhängen, waagrecht)	1.245 / 1.216 mm
<b>A1</b>	Max. Aufsattelhöhe, unbeladen / beladen	1.330 / 1.301 mm
<b>B</b>	Vorderer Durchschwenkradius KB	2.025 mm
<b>C</b>	Vorderer Durchschwenkradius mit Bedienstand	2.300 mm
<b>D</b>	Hinterer Durchschwenkradius nach ISO 1726	2.300 mm
<b>E</b>	Radstand	4.880 mm
<b>F</b>	Hinterer Überhang	2.140 mm
<b>G</b>	Achsabstand	1.310 mm
<b>H</b>	Hinterer Überhang für Fertigerinsatz	940 mm
<b>I</b>	Höhe Reifen 385/65 R 22,5 (unbeladen / beladen)	525 / 496 mm
<b>J</b>	Fahrhöhe	490 mm
<b>K</b>	Bordwandhöhe i.L. / freie Durchtrittshöhe	1.400 mm
<b>L</b>	Ladeflächenlänge i.L.	7.340 mm
<b>M</b>	Gesamtlänge	8.700 mm
<b>N</b>	Vorderer Überhang Bedienstand	505 mm
<b>O</b>	Ladeflächenbreite i.L.	2.450 mm
<b>P</b>	Gesamtbreite	2.550 mm
<b>Q</b>	Gesamthöhe (Ladekante) unbeladen / beladen	3.023 / 2.994 mm
<b>R</b>	Federspur	1.300 mm
<b>S</b>	Achsspur	2.140 mm
<b>T</b>	Höhe im gekippten Zustand ca.	8.130 mm
<b>U</b>	Kippwinkel ca.	48 °
<b>Gewichte:</b>		
<b>V</b>	zul. Gesamtgewicht	33.000 kg
<b>W</b>	Sattellast	15.000 kg
<b>X</b>	zul. Hinterachslast (techn.)	2 x 9.000 kg
<b>Y</b>	Eigengewicht	4.560 kg
<b>Z</b>	Nutzlast	28.440 kg

Abb. 88: Hinterkipper-SattelauflegerMHKS 43/2 A (Fa. Meiller)



<b>MAN</b>	TGS 18.480 4 x 4
Eigengewicht:	7,65 to
Nutzlast:	11,35 to
Gesamtgewicht:	19,00 to
Achslasten:	8,00 + 13,00 to

Abb. 89: Zugmaschine TGS 18.480 (Fa. Meiller)



	<b>L 524</b>			<b>L 528</b>			<b>L 538</b>			<b>L 542</b>			
Schaufeltyp	STD	STD-SW	LGS	STD	STD-SW	LGS	STD	STD-SW	LGS	STD	STD-SW	LGS	
Schneidewerkzeug	Z	Z	USM	Z	Z	USM	Z	Z	USM	Z	Z	USM	
Hubgerüslänge	mm	2.400	2.400	2.400	2.400	2.400	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	
Schaufelinhalt nach ISO 7546**	m³	2,1	1,8	2,4	2,3	2,1	3,0	2,6	2,3	3,5	2,8	2,5	4,0
Schaufelbreite	mm	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.750	2.500	2.500	2.750	2.500	2.500	2.750
A Schütthöhe bei max. Hubhöhe	mm	2.845	2.723	2.660	2.780	2.700	2.550	2.845	2.750	2.606	2.825	2.710	2.505
B Überschüttbare Höhe	mm	3.335	3.320	3.320	3.335	3.320	3.330	3.480	3.475	3.475	3.480	3.480	3.476
C Max. Höhe Schaufelboden	mm	3.530	3.530	3.525	3.530	3.530	3.531	3.680	3.680	3.681	3.680	3.680	3.688
D Max. Höhe Schaufeldrehpunkt	mm	3.775	3.775	3.775	3.775	3.775	3.775	3.930	3.930	3.928	3.930	3.930	3.930
E Max. Höhe Schaufeloberkante	mm	4.940	4.965	5.160	4.990	5.030	5.230	5.220	5.325	5.530	5.270	5.380	5.590
F Reichweite bei max. Hubhöhe	mm	875	942	1.075	955	980	1.120	1.015	1.035	1.165	1.025	1.080	1.265
G Schürftiefe	mm	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
H Höhe über Kabine	mm	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.200	3.250	3.250	3.250	3.250	3.250	3.250
I Höhe über Auspuff	mm	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.860	2.910	2.910	2.910	2.910	2.910	2.910
J Bodenfreiheit	mm	460	460	460	460	460	460	490	490	490	490	490	490
K Achsabstand	mm	2.850	2.850	2.850	2.850	2.850	2.850	2.975	2.975	2.975	2.975	2.975	2.975
L Gesamtlänge	mm	6.820	6.935	7.345	6.930	7.035	7.240	7.150	7.280	7.605	7.225	7.335	7.695
Wenderadius über Schaufelaußenkante	mm	5.690	5.720	5.760	5.790	5.810	5.840	6.060	6.095	6.115	6.080	6.140	6.200
Ausbrechkraft (SAE)	kN	91	82	68	89	81	68	117	109	101	114	103	85
Kipplast gerade*	kg	8.500	7.900	7.430	9.560	8.650	8.490	10.700	10.200	9.570	11.600	10.700	10.400
Kipplast geknickt 40°*	kg	7.500	7.000	6.540	8.500	7.720	7.510	9.500	9.000	8.420	10.200	9.500	9.100
Einsatzgewicht*	kg	10.400	10.800	11.100	10.900	11.300	11.500	12.800	13.200	13.400	13.400	13.800	14.000
Reifendimension		17.5R25 L3			17.5R25 L3			20.5R25 L3			20.5R25 L3		

Abb. 90: Radlader L 524 (Fa. Liebherr)

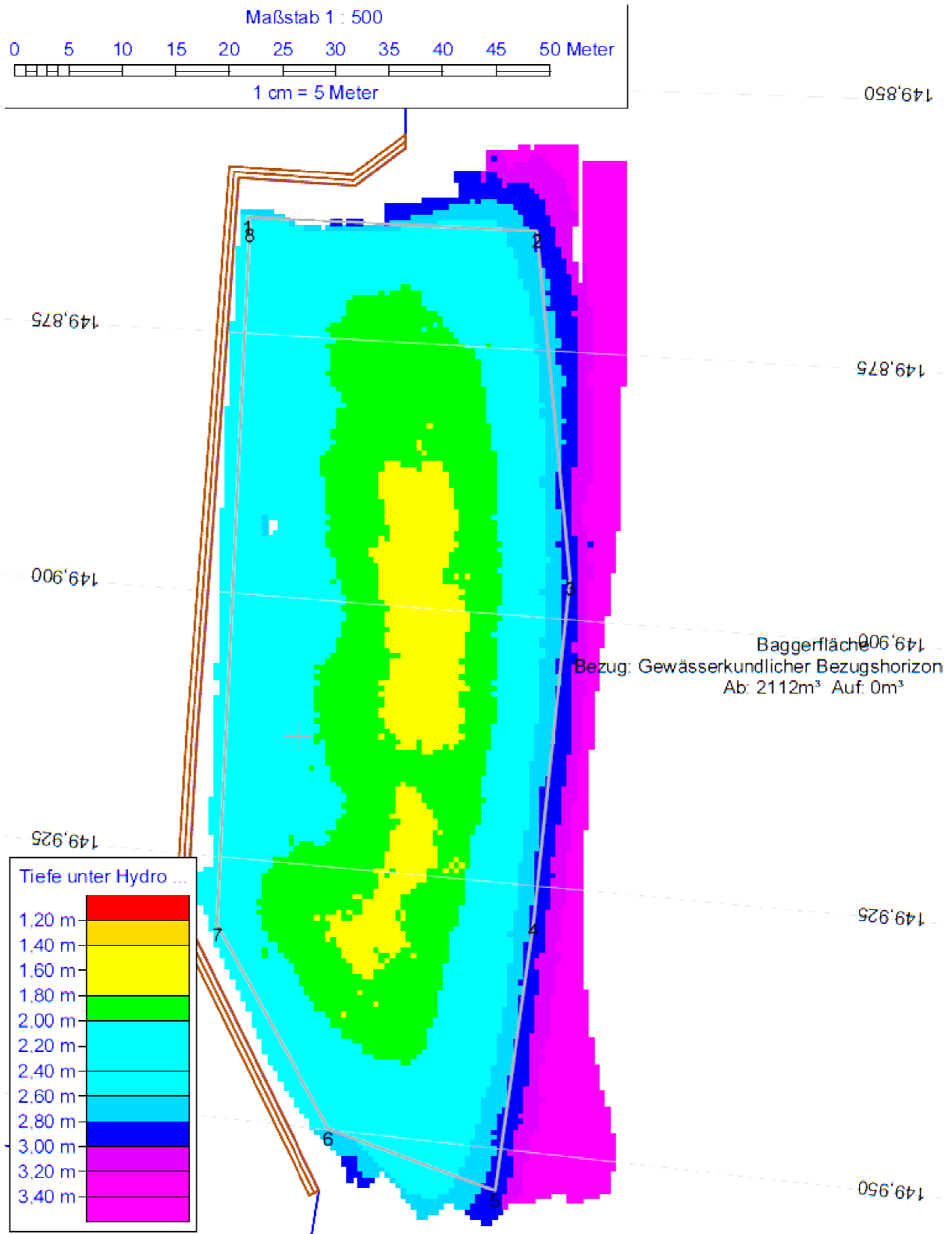
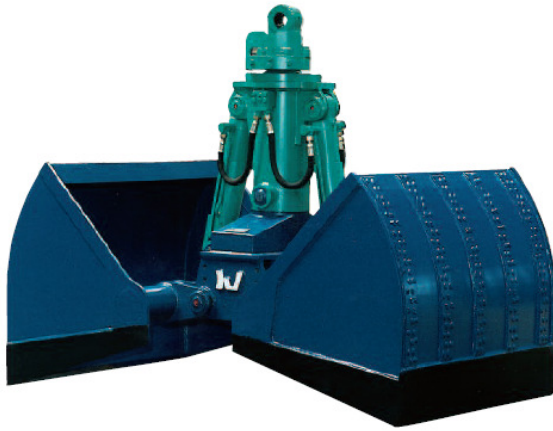


Abb. 91: Hydrographische Karte der Lände Riedenburg (WSA Nürnberg, 2011)

Greifer, Löffel, Schaufeln

## Zweischalen-Verladegreifer GOS



Zweischalen-Verladegreifer GOS

### Baureihe GOS

#### Anwendung

- Materialumschlag (Be- und Entladen von Lkws, Containern und Schiffen)

### Konstruktionsmerkmale

- Universelles Greiferoberteil (ausrüstbar mit Verlade-, Standard- und Rundschalen sowie Holzjahren)
- Maximaler Füllungsgrad durch optimale Formgebung
- Geringes Eigengewicht

#### Betriebsdaten – Zweischalen-Verladegreifer – Baureihe GOS

Typ	GOS25	GOS35	GOS45	GOS50
Bagger-Gewichtsklasse (t)	12 – 20	15 – 25	20 – 35	30 – 45
Traversenausführung <sup>1)</sup>	gesteckt	gesteckt	gesteckt	einteilig
Max. Tragfähigkeit (t)	3,5	5,0	6,0	12,0

1) Einteilige Ausführung auf Anfrage lieferbar (GOS25 – 45)

#### Technische Daten – Zweischalen-Verladegreifer – Baureihe GOS

Typ	Inhalt (l)	Gewicht (kg)	Abmessungen (mm)				
			A	B	C	D	E
GOS25-460	460	650	1455	1885	1430	1630	800
GOS25-520	520	780	1455	1885	1430	1630	900
GOS25-580	580	810	1455	1885	1430	1630	1000
GOS25-750	750	840	1485	2010	1645	1870	1000
GOS25-900	900	900	1485	2010	1645	1870	1200
GOS25-980	980	930	1485	2010	1645	1870	1300
GOS25-1140	1140	980	1485	2010	1645	1870	1500
GOS35-620	620	980	1635	2150	1710	1950	800
GOS35-700	700	1010	1635	2150	1710	1950	900
GOS35-780	780	1050	1635	2150	1710	1950	1000
GOS35-1050	1050	1290	1660	2255	1890	2150	1100
GOS35-1260	1260	1360	1660	2255	1890	2150	1300
GOS35-1460	1460	1440	1660	2255	1890	2150	1500
GOS35-1670	1670	1520	1660	2255	1890	2150	1700
GOS45-970	970	1340	1740	2310	1900	2170	1000
GOS45-1120	1120	1480	1740	2310	1900	2170	1150
GOS45-1270	1270	1530	1740	2310	1900	2170	1300
GOS45-1580	1580	1680	1770	2420	2110	2400	1300
GOS45-1710	1710	1720	1770	2420	2110	2400	1400
GOS45-2020	2020	1830	1770	2420	2110	2400	1650
GOS45-2340	2340	1940	1770	2420	2110	2400	1900
GOS50-1200	1200	2300	2050	2680	2140	2440	1000
GOS50-1450	1450	2400	2050	2680	2140	2440	1200
GOS50-1700	1700	2500	2050	2680	2140	2440	1400
GOS50-1950	1950	2600	2050	2680	2140	2440	1600
GOS50-2200	2200	2700	2050	2680	2140	2440	1800
GOS50-2450	2450	2800	2050	2680	2140	2440	2000
GOS50-2710	2710	2810	2080	2780	2320	2640	1850
GOS50-2930	2930	2890	2080	2780	2320	2640	2000
GOS50-3530	3530	3090	2080	2780	2320	2640	2400

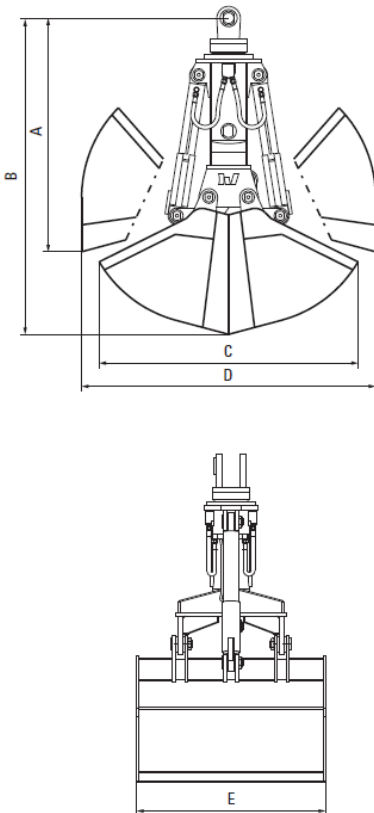


Abb. 92: CAT - Zweischalengreifer