
I W B
Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden e. V.
Bonn – Sankt Augustin – Siegen
Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. Hartmut Witte

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

„Aufbereitung und Verwertung von Kläranlagen- und Kanalsand“

Abschlußbericht (Kurzfassung)

im Auftrag des
Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und
Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (MURL)

bearbeitet vom: Gemeinnütziges Institut Wasser und Boden e.V. (IWB)
Leitung: Professor Dr.-Ing. Hartmut Witte
Dr.-Ing. Jörg Strunkheide
Bearbeitung: Dipl.-Ing. Andrea Koy
Dipl.-Ing. Christian Berger

Sankt Augustin, Juli 2000

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis.....	I
II	Tabellenverzeichnis.....	II
III	Abbildungsverzeichnis.....	III
1	Veranlassung und Zielsetzung	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Zielsetzung	3
2	Vorgehensweise	4
3	Vorversuche	5
4	Ausschreibung	7
5	Anforderungen an die Verwertung des gewaschenen Sandes	11
5.1	Wasser- und abfallwirtschaftliche Parameter	11
5.2	Hygienische Parameter	12
5.3	Bautechnische Parameter.....	13
6	Großtechnisches Versuchsprogramm	17
7	Auswertung der Ergebnisse des großtechnischen Versuchsbetriebes im Hinblick auf wasser-/ abfallwirtschaftliche, bautechnische und hygienische Parameter	18
8	Verbleibende Verwertungswege aus wasser- und abfallwirtschaftlicher, bautechnischer und hygienischer Sicht	28
9	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	35
10	Handlungsalternativen und Handlungsvorschlag	38
10.1	Handlungsalternativen	38
10.2	Darstellung des Verwertungsversuches in der Betonindustrie	38
10.3	Handlungsempfehlung	39
11	Ausblick	41
	Literaturverzeichnis	42

II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung der bisher entsorgten Mengen an Sandfanggut / Rechengut / Kanalsand / Sinkkastengut	5
Tabelle 2:	Betriebszustände der Sandwaschanlage bezüglich der Auswertung der Rückbelastung der Kläranlage	10
Tabelle 3:	Auswertung der Ergebnisse der wasser- und abfallwirtschaftlichen Untersuchungen hinsichtlich der untersuchten Vorschriften ohne erlaubte Abweichung innerhalb der Vorschriften (Prozentual an der Gesamtuntersuchung)	19
Tabelle 4:	Mittlere Anzahl der in den gesamten Untersuchungen überschrittenen Parameter der untersuchten Vorschriften ohne erlaubte Abweichung innerhalb der Vorschriften	19
Tabelle 5:	Auswertung der Ergebnisse der wasser- und abfallwirtschaftlichen Untersuchungen hinsichtlich der untersuchten Vorschriften mit erlaubter Abweichung innerhalb der Vorschriften (Prozentual an der Gesamtuntersuchung)	20
Tabelle 6:	Mittlere Anzahl der in den gesamten Untersuchungen überschrittenen Parameter der untersuchten Vorschriften mit erlaubter Abweichung innerhalb der Vorschriften	20
Tabelle 7:	Überprüfung der untersuchten Vorschriften (ohne zulässige Abweichungen) anhand des 95%igen Konfidenzniveaus	21
Tabelle 8:	Überprüfung der untersuchten Vorschriften (mit zulässigen Abweichungen) anhand des 95%igen Konfidenzniveaus	22
Tabelle 9:	Zusammenfassung der statistischen Parameter der Siebdurchgänge der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande	25
Tabelle 10:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Eingruppierung der gewaschenen Kläranlagen und Kanalsande in Lieferkörnungen	26
Tabelle 11:	Ausgangswerte, Entsorgungskosten, Investitionskosten	36

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorgehensweise zur Durchführung des Forschungsprojektes	4
Abbildung 2: Verfahrensfleißbild der Sandwaschanlage mit gereinigtem Sandfangwasser	9
Abbildung 3: Darstellung der Bandbreite des gewaschenen Sandes mit mittlerer Sieblinie	24
Abbildung 4: Verwertungsmöglichkeiten für Recycling-Baustoff I nach MURL-Erlass 1991 [6]	31
Abbildung 5: Mögliche Verwertungswege	33
Abbildung 6: Alternativenvergleich Sandwäsche	37

1 Veranlassung und Zielsetzung

1.1 Veranlassung

Auf Kläranlagen und in Kanalisationen fällt als Reststoff auch Sand an, der entsorgt werden muß. Dieser Sand ist als Abfall zu bezeichnen. Im Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) [1] ist die Rangfolge „Vermeidung vor Verwertung vor Beseitigung“ festgelegt worden. Das KrW-/AbfG verwendet einheitlich den Begriff „Abfall“, unterscheidet aber nach „Abfällen zur Verwertung“ und „Abfällen zur Beseitigung“. Der Abfallbegriff wird in § 3 Abs. 1 KrW-/AbfG definiert. Danach sind Abfälle alle beweglichen Sachen, die unter die in Anhang I des KrW-/AbfG aufgeführten Gruppen fallen und deren sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muß. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung.

Des weiteren wird zwischen besonders überwachungsbedürftigen, überwachungsbedürftigen und nicht überwachungsbedürftigen Abfällen differenziert.

Kläranlagen- und Kanalsande sind gemäß der „Verordnung zur Bestimmung von überwachungsbedürftigen Abfällen zur Verwertung - BestüVAbfV“ überwachungsbedürftig, wenn sie verwertet werden [2]. Sie sind auch überwachungsbedürftig, wenn sie beseitigt werden [§3 Abs. 8 KrW-/AbfG iVm § 41 Abs. 2 KrW-/AbfG]. Dabei wird von folgender Zuordnung ausgegangen:

Kläranlagensanden ist der LAGA-Abfallschlüssel 94704 (Sandfangrückstände) und der EAK-Schlüssel 190802 (Abfälle aus Sandfängen) zuzuordnen, Kanalsanden der LAGA-Schlüssel 94702 (Rückstände aus Siel-, Kanalisations- und Gullyreinigung) und der EAK-Schlüssel 190801 (Sieb- und Rechengutrückstände) [3].

Bei den unbehandelten Sanden handelt es sich um Abfall. Die Abfalleigenschaft ist beendet, wenn die Verwertung abgeschlossen ist. Das setzt voraus, daß die sich aus §§ 5 bis 9 KrW-/AbfG ergebenden Grundpflichten erfüllt sind und damit das durch die Abfalleigenschaft ausgelöste abfallrechtliche Rechtsverhältnis beendet ist. Dies ist der Fall, wenn abfallspezifische Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit von den betreffenden Sachen nicht mehr ausgehen können und keine weiteren Abfallbehandlungsschritte erforderlich sind. Gemäß § 4 Abs. 3 KrW-/AbfG ist die stoffliche Verwertung u.a. dann abgeschlossen, wenn Rohstoffe durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen (Sekundäre Rohstoffe) substituiert werden. Ein sekundärer Rohstoff liegt dann vor, wenn die Eigenschaften des gewonnenen Materials

mit den Eigenschaften der zu substituierenden Primärrohstoffe vergleichbar sind und keine weitere Abfallbehandlung erforderlich ist.

Seit Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes [1] am 7. Oktober 1996 ist die Rangfolge für den Umgang mit Reststoffen somit klar definiert:

Vermeidung steht vor Verwertung steht vor Beseitigung.

Vermeidung von Sand aus Abwasseranlagen ist eine Aufgabenstellung, die im Vorfeld einer Einleitung geschehen muß. Dies ist nicht Gegenstand vorliegender Untersuchungen. Hier geht es um die umweltgerechte Entsorgung anfallender Sandmengen.

Anzumerken gilt ferner, daß der grundsätzlich geforderte Verwertungsvorrang jedoch dann entfällt, wenn die Beseitigung die umweltverträglichere Lösung darstellt (z.B. im Hinblick auf die zu erwartenden Emissionen, Schonung der Ressourcen, die einzusetzende oder zu gewinnende Energie). Dies trifft für den vorliegenden Fall allerdings auch nicht zu.

Die TA Siedlungsabfall [4] gibt in Abschnitt 5.2.9 an, daß „eine Aufbereitung und Verwertung der Rückstände (Sandfang- und Fettfangrückstände, Rechengut, Rückstände aus Siel-, Kanalisations- und Gullyreinigung)“ anzustreben ist. Soweit dies nicht möglich ist, sind diese Abfälle der weiteren Entsorgung zuzuführen“.

Zudem ist nach Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall der Glühverlust des zu deponierenden Abfalls auf < 3% (Deponieklasse I) respektive < 5% (Deponieklasse II) zu beschränken.

Da die in dem Forschungsvorhaben untersuchten Reststoffe Kläranlagen- und Kanalsande nicht vermieden werden können, gilt es somit, diese einer (stofflichen) Verwertung zuzuführen bzw. den Entsorgungsweg der Deponierung (Beseitigung) durch eine Verringerung des organischen Anteils sicherzustellen.

Vor diesem Hintergrund initiierte das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (MURL) in Zusammenarbeit mit dem Amt für Stadtentwässerung der Stadt Köln und dem Institut Wasser und Boden e.V. das Forschungsvorhaben zur „Aufbereitung und Verwertung von Kläranlagen- und Kanalsanden“. Mit der Durchführung des Vorhabens wurde das IWB betraut. Die Durchführung war nur in enger Zusammenarbeit mit dem Amt für Stadtentwässerung möglich, was sowohl für Planung und Bau der Versuchsanlage auf dem Gelände der Kläranlage Köln-Stammheim, als auch für den anschließenden Betrieb galt.

1.2 Zielsetzung

Untersuchungsziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung abgesicherter Verwertungswege für gewaschene Kläranlagen- und Kanalsande.

Die Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens umfaßte im einzelnen:

1. die Durchführung von Vorversuchen zur Ermittlung der notwendigen Verfahrenstechnik zur Sandwäsche der im Raum Köln anfallenden Kläranlagen- und Kanalsande,
2. die Ausschreibung und den Bau einer großtechnischen Versuchsanlage sowie die Durchführung von Versuchen über einen längeren Zeitraum,
3. die Recherche der maßgeblichen Gesetze, Normen, Richtlinien etc., die für gewaschene Sande aus wasser- und abfallwirtschaftlicher, hygienischer und bautechnischer Sicht relevant sind,
4. die Sammlung und Auswertung der Daten zur Beschaffenheit der Kläranlagen- und Kanalsande sowie deren gewaschene Pendanten im Hinblick auf die sich als relevant herauskristallisierten Verwertungswege.

2 Vorgehensweise

In Abbildung 1 ist die Vorgehensweise zur Durchführung des Forschungsvorhabens schematisch dargestellt. Sie gibt die einzelnen Schritte in ihrer zeitlichen Abfolge wieder.

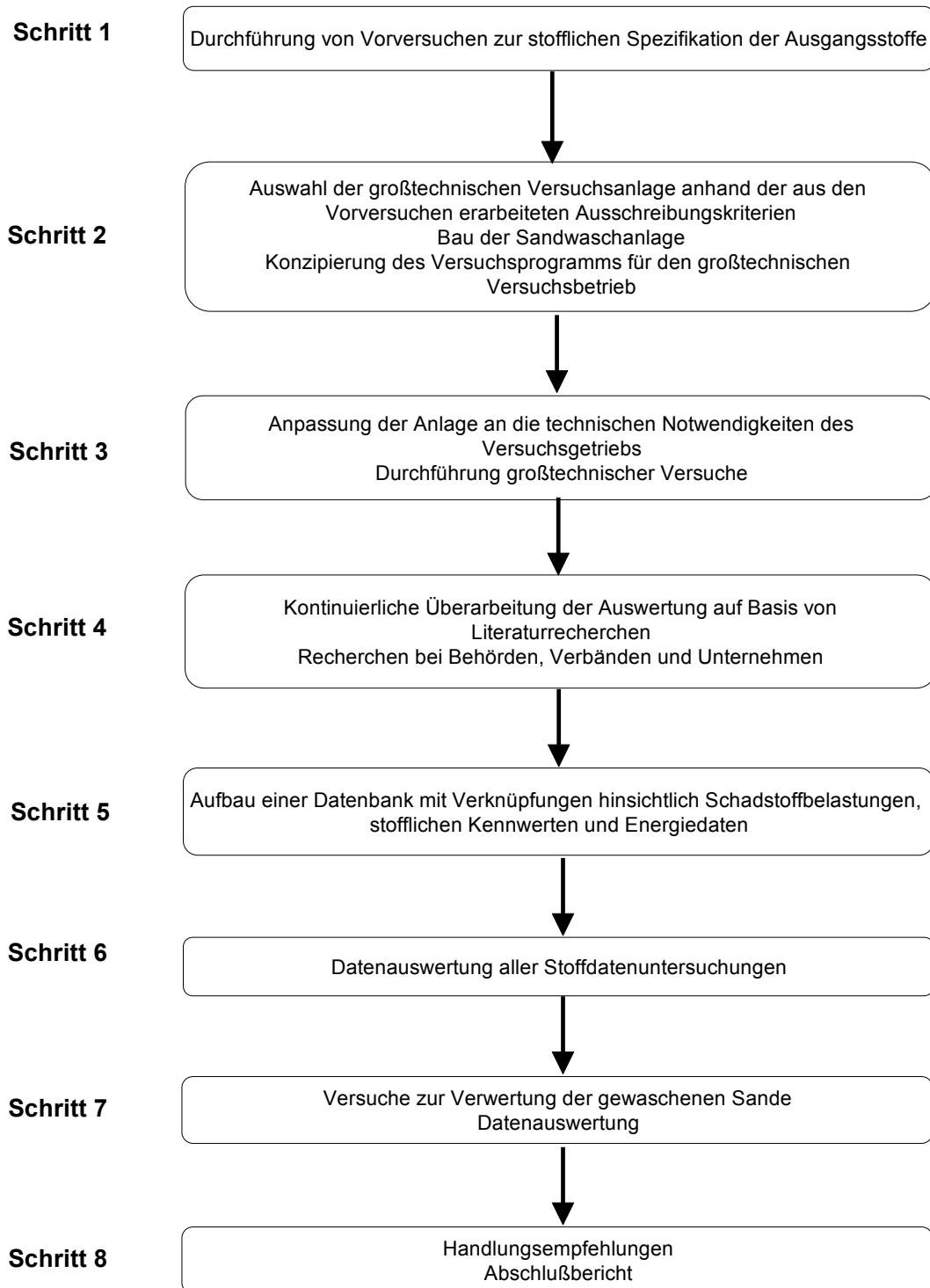


Abbildung 1: Vorgehensweise zur Durchführung des Forschungsprojektes

3 Vorversuche

Im Raum Köln fielen in den Jahren 1996 bis 1999 die in Tabelle 1 angegebenen Mengen an Kläranlagen- und Kanalsand an. Die Entwicklung der letzten 4 Jahre zeigt eine deutliche Verschiebung der zu entsorgenden Reststoffmengen (vgl. Tabelle 1). von Kanalsanden hin zu den Reststoffen im Kläranlagenbereich.

Tabelle 1: Zusammenstellung der bisher entsorgten Mengen an Sandfanggut / Rechengut / Kanalsand / Sinkkastengut

Jahr [-]	GKW Stammheim		Außen- klärwerke	Kanalunter- nehmen	Gesamt [t]	Kanal [%]	Kläranlage [%]
	RG [t]	SFG [t]	RG + SFG [t]	SKG + KS [t]			
1996	12.698	5.103	1.180	4.621	23.602	19,6%	80,4%
1997	14.750	4.719	1.160	3.464	24.094	14,4%	85,6%
1998	16.180	4.005	1.358	2.402	23.945	10,0%	90,0%
1999	15.025	4.781	1.345	1.259	22.410	5,6%	94,4%
1996-1999	58.652	18.608	5.043	11.747	94.051	12,5%	87,5%

Insgesamt gesehen ist allerdings keine Reduzierung der Reststoffmengen zu verzeichnen. Die zu entsorgenden Reststoffe liegen im Bereich zwischen 22.410 t und 24.094 t. Der Anteil der mit dem Kanalgut zu entsorgenden Reststoffe ist in den vergangenen 4 Jahren von 19,6% der Gesamtmenge kontinuierlich bis auf aktuell 5,6% der Gesamtmenge zurückgegangen.

Dahingegen hat die in den Kläranlagen der Stadt Köln zu entsorgende Menge an Sandfanggut und Rechengut von 80,4% kontinuierlich auf 94,4% der Gesamtmenge zugenommen. Ein möglicher Grund hierfür kann die verminderte Spülung des Kanalsystems sein, welche zu erhöhten Transportvorgängen im Kanalnetz und zu erhöhten Reststoffmengen der Kläranlagen führt.

Zur Charakterisierung dieser anfallenden Reststoffe wurden zu Anfang des Forschungsvorhabens Proben von diesen Stoffen gezogen und hinsichtlich der wasser- und abfallwirtschaftlichen Parameter sowie der Sieblinien untersucht. Um den derzeitigen Stand der Technik festzustellen, wurde eine Firmen- und Betreiberrecherche durchgeführt. Es wurden fünf Firmen ausgewählt, um die Verfahrenstechnik, den Reinigungserfolg und die Stoffströme anhand von Versuchen mit den verschiedenen Anlagenvarianten zu ermitteln.

Die Versuche fanden teilweise auf anderen Kläranlagen (feste/mobile Anlagen) und teilweise auf dem Gelände des GKW Stammheim (mobile Versuchsanlagen) statt. Die Anlagen wurden mit den in Köln anfallenden Reststoffen während der Versuchsphase beschickt. Aus den

gewonnenen Daten (z.B. Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Schadstoffreduzierung etc.) und den Beobachtungen während der Versuche (z.B. Schwierigkeiten mit einer Naßbeschickung, zu feine Maschenweite für die Störstoffabtrennung, hohe Feinstsandanteile im Abwasser und hohe Grobstoffmengen bei kleinem Trennkorn) ergaben sich die in der Ausschreibung festgelegten Ausschreibungskriterien.

4 Ausschreibung

Die in den Vorversuchen gewonnenen Erfahrungen wurden in die Ausschreibung eingearbeitet und die Anforderungen an das aufbereitete Material formuliert:

- Der Gehalt an organischen Bestandteilen im aufbereiteten Material (gewaschene mineralische Stoffe) ist möglichst gering zu halten. Als Mindestanforderung gilt: $GV < 3\%$. Dieser Wert darf zu keinem Zeitpunkt überschritten werden.
- Der Gehalt an Störstoffen (z. B. Metalle) im aufbereiteten Material ist möglichst gering zu halten.
- Das aufbereitete Material ist möglichst weitgehend zu entwässern.
- Das aufbereitete Material soll einen möglichst großen Anteil der im aufzubereitenden Material enthaltenen mineralischen Stoffe (Sand, Kies) enthalten.
- Mit Blick auf mögliche verschiedene Verwertungspfade wird es als positiv bewertet, wenn die Anlage insofern flexibel ist, als unterschiedliche Körnungen eingestellt werden können.
- Es ist eine möglichst hohe Trennschärfe sowohl bei Größt- als auch bei Kleinstkorn anzustreben, das heißt:
 - Bezogen auf die Masse an aufbereitetem Material (m_S) ist der Massenanteil an Bestandteilen mit einem Korndurchmesser von $d \leq d_u$ (mit $d_u = 0,063 \text{ mm}$) ($m_{S,u}$) möglichst gering zu halten.
 - Bezogen auf die Masse an aufbereitetem Material (m_S) ist der Massenanteil an Bestandteilen mit einem Korndurchmesser von $d > d_o$ ($m_{S,o}$) möglichst gering zu halten.
- Die Menge der zu entsorgenden Reststoffe ist möglichst gering zu halten.
- Die Groborganik (Teil der Ausgangsstoffe, die der Sandwäsche zugeführt und abgeschieden werden) ist mit dem Rechengut zu entsorgen.
- Der Anteil an mineralischen Bestandteilen in der Groborganik ist möglichst gering zu halten.
- Der Anteil an mineralischen Bestandteilen im Abwasser ist möglichst niedrig zu halten.

- Der gesamte Wasserverbrauch der Anlage ist möglichst gering zu halten.
- Der Energiebedarf für den gesamten Aufbereitungsprozeß ist möglichst gering zu halten.
- Die Durchsatzleistung der Sandwaschanlage soll gewährleisten, daß das Material innerhalb der Tagschicht in „normalem Wochenbetrieb“ (ohne Samstag/Sonntag) die anfallenden Reststoffmengen bewältigt.

Um die vorgenannten in der Ausschreibung vom Bieter zu beziffernden Werte zu überprüfen, wurde ein Erfüllungsnachweis vereinbart. Über einen Kontrollzeitraum von einer Woche (5 d) bei durchgehendem Betrieb (8 h/d) sollen die beschriebenen Parameter ermittelt werden.

Nach der Ausschreibung folgte die Vergabe und der Bau der Sandwaschanlage auf dem GWK Stammheim. Nach Inbetriebnahme der Anlage ergaben sich verfahrenstechnische Probleme, die dazu führten, daß die Anlage mehrfach umgebaut wurde. Die aufgetretenen Probleme waren zum Großteil auf die zu verarbeitenden Reststoffe (Sandfanggut und Kanalsand) zurückzuführen.

Es wurde letztendlich entschieden, eine Sandwaschanlage mit optionalem Wasserkreislauf aus rezirkuliertem aufbereitetem Zulaufwasser (Sandfangwasser) mit externer Annahme (Vorlagebunker) von Kanalsand zu realisieren.

Sandfanggut gelangt dabei über drei Fördereinrichtungen in den Vorlagebunker, der einerseits zur Speicherung des Sandfanggutes der Kläranlage, andererseits zur Aufnahme von angeliefertem Kanalsand dient. Von diesem Vorlagebunker wird das Ausgangsmaterial über eine Förderschnecke auf ein Linearschwingsieb der Lochweite 10 mm (optional 8 mm, 4 mm) gefördert. Durch die vorgegebene Neigung und Bewegung des Schwingsiebes wird das Material über das Sieb geführt. In Gegenrichtung wird das Material mit Brunnenwasser bedüst, um das Material besser abzusieben. Der Siebrückstand wird über weitere Fördereinheiten den Grobstoffen zugeschlagen. Der Siebdurchgang wird durch die zentrale Einheit der Sandwaschanlage, den Aufstromsortierer, von den organischen Inhaltsstoffen weitgehend getrennt und gelangt über eine weitere Fördereinheit in vorgehaltene Container, um dann einer Verwertung zugeführt zu werden. Die vom Aufstromsortierer abgesonderte Organik wird ebenfalls den Grobstoffen und somit dem Grobrechengut der Kläranlage zugeführt.

In Abbildung 2 ist schematisch der Aufbau der Sandwaschanlage dargestellt.

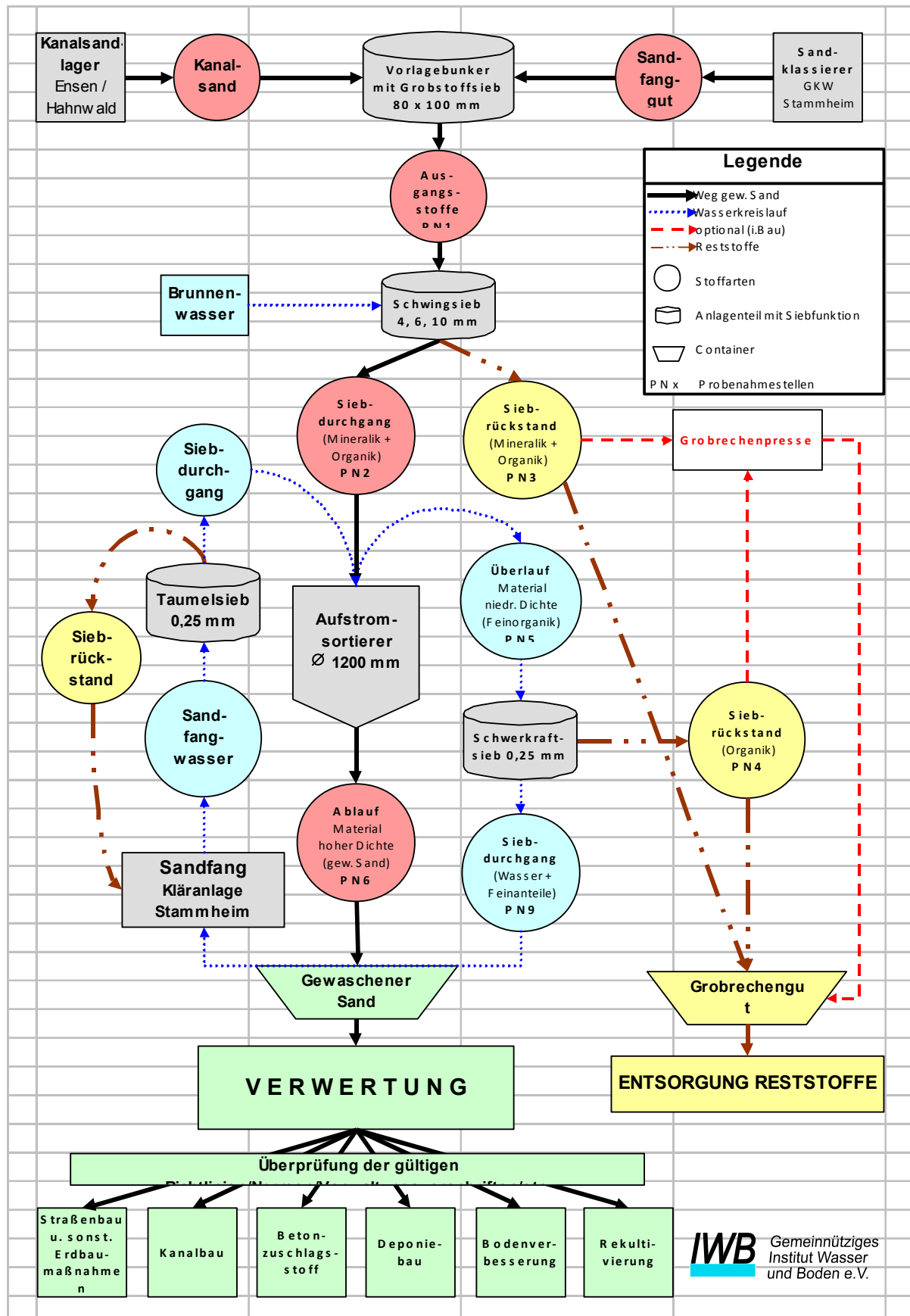


Abbildung 2: Verfahrensfliessbild der Sandwaschanlage mit gereinigtem Sandfangwasser

In Tabelle 2 sind einige relevante Betriebsdaten der Sandwaschanlage (Wasserverbrauch, Trockenrückstand, Beschickungsmenge, etc.) differenziert nach den vier Betriebszuständen, dargestellt.

Tabelle 2: Betriebszustände der Sandwaschanlage bezüglich der Auswertung der Rückbelastung der Kläranlage

Ausgangsmaterial	mittl. Durchsatz	Jahresmenge	Trockenrückstand	Wasserkreislauf	Ablaufwassermenge	Brunnenwassermenge	Abwassermenge	Kurzzeichen
[E – J]	[t/h]	[t/a]	[%]		[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[-]
Sandfanggut	5	4005 bis 5103	25,9 bis 53,0 (i.M. 34,69)	Brunnenwasser	i.M. 20	i.M. 18	0	SFG-BW
				Rezirkulation Abwasser	i.M. 25	i.M. 5	i.M. 18	SFG-RZ
Kanalsand	7,5	1278 bis 4621	71,4 bis 83,9 (i.M. 77,75)	Brunnenwasser	i.M. 18	i.M. 18	0	KS-BW
				Rezirkulation Abwasser	i.M. 23	i.M. 5	i.M. 18	KS-RZ

Hierin bedeuten:

SFG-BW: Sandfanggut / Brunnenwasser

SFG-RZ: Sandfanggut / Rezirkulation

KS-BW: Kanalsand / Brunnenwasser

KS-RZ: Kanalsand / Rezirkulation

5 Anforderungen an die Verwertung des gewaschenen Sandes

Bei der Verwertung der mineralischen Komponenten von Kläranlagen- und Kanalsanden sind insbesondere die Regelungen hinsichtlich wasser-/ abfallwirtschaftlicher, hygienischer und bautechnischer Parameter zu nennen.

5.1 Wasser- und abfallwirtschaftliche Parameter

Grundvoraussetzung zur Verwertung gewaschener Sande ist die Einhaltung der für den Verwertungspfad geltenden rechtlichen Voraussetzungen an die Schadstoffgehalte im Feststoff und Eluat des untersuchten Stoffes.

Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) hat hierzu in technischen Regeln die „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen“ [5] definiert. Diese technischen Regeln haben empfehlenden Charakter und sind kein bundeseinheitliches Regelwerk aus wasser- und abfallwirtschaftlicher Sicht. Sie sind von jedem Bundesland gesondert einzuführen.

In den Regeln werden zur Vereinheitlichung des Vollzugs für den Einbau Zuordnungswerte (Z 0 bis Z 2) festgelegt, die unter Berücksichtigung des Gefährdungspotentials eine umweltverträgliche Verwertung ermöglichen sollen.

Für die Verwendung von aufbereiteten Altbaustoffen (Recycling-Baustoffen) und industriellen Nebenprodukten im **Erd- und Straßenbau** wurde vom Land Nordrhein-Westfalen ein Erlaß [6] formuliert. Der Erlaß gilt dem Zweck, Anforderungen bei der Verwertung vorher genannter Stoffe aus wasserrechtlicher Sicht für NRW zu definieren. Es wird in RCL I und RCL II unterschieden.

In diesem Jahr sind die Technischen Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (TL Min-StB 2000) erschienen. Diese ersetzen nach Einführung folgende Regelwerke: TL Min-StB 94, TL SKG-StB 93, TL SFA-StB 93, TL RC-ToB 95, TL SWS-StB 95, und TL HMVA-StB 95. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen empfiehlt gleichermaßen, die TL Min-StB 2000 [7] prinzipiell für **Straßenbaumaßnahmen** einzuführen. In der TL Min-StB 2000 sind in Teil B 12-4 Grenzwerte für wasserwirtschaftliche Merkmale angegeben.

Für den Bereich **Straßen- und Erdbau** ist von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) ein Arbeitspapier mit dem Titel „Umweltverträglichkeit von Mineral-

stoffen, Teil: Wasserwirtschaftliche Verträglichkeit“ erschienen [8]. Darin sind Grenzwerte und zulässige Überschreitungen vornehmlich für die Eluatanalyse des einzusetzenden Baustoffes beschrieben. Die Technischen Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Trag-schichten ohne Bindemittel (TL RC-ToB 95) [14] enthalten ebenfalls Regelanforderungen an die wasserwirtschaftlichen Merkmale von RC-Baustoffen. Es wird in RC-Baustoffe II und RC-Baustoffe I (höhere Anforderungen) unterschieden.

Für den **Bereich Betonbau** ist vom Deutschen Ausschuß für Stahlbeton eine Richtlinie mit dem Titel „Beton mit rezykliertem Zuschlag“ [9] veröffentlicht. Diese gibt wasserwirtschaftliche Parameter für Zuschlagstoffe des Betonbaus an.

Als übergeordnete Richtlinie ist noch die vom Bundesverband der Deutschen Recycling-Baustoff-Industrie e.V. (BRB) herausgegebene Richtlinie „Recycling-Baustoffe“ [10] zu nennen. Die Zuordnung zu den Einbauarten offen/geschlossen erfolgt nach den anfangs erwähnten Zuordnungsklassen gemäß den Technischen Regeln der LAGA. In der Richtlinie wird des weiteren auf die Richtlinien RG Min-StB 93 [11], TP Min-StB 94 [12], TL Min-StB 94 [13], TL RC-ToB 95 [14] und deren Einhaltung verwiesen.

An dieser Stelle sei angemerkt, daß nach Einführung der TL Min-StB 2000 [7] auch hier eine Novellierung der Richtlinie bevorsteht.

Für die Verwertung in der **Landwirtschaft (Rekultivierung)** stellt die Klärschlammverordnung (AbfKlärV) [15] die Grundlage dar. Es werden darin Schadstoffhöchstgrenzen definiert, die einzuhalten sind. Sofern nicht die Klärschlammverordnung Anwendung findet, ist für die Verwertung von organischen Abfällen als Richtlinie die Bioabfallverordnung (BioAbfV) [16] mit den darin festgelegten Höchstgehalten an Schwermetallen bindend.

5.2 Hygienische Parameter

In enger Zusammenarbeit mit dem Hygieneinstitut des Ruhrgebietes, Gelsenkirchen, Deutschland, wurden maßgebliche Parameter für die Beurteilung der ungewaschenen und gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande erarbeitet. Die Fragestellung aus hygienischer Sicht kann folgendermaßen zusammengefaßt werden:

- Welche rechtlichen Grundlagen zur Beurteilung/Bewertung der untersuchten Stoffe existieren bzw. können rechtliche Grundlagen, die für andere Stoffe gelten, sinngemäß übertragen werden?

- Inwieweit sollen/müssen bei dem Umgang mit den gewaschenen Sanden Vorsichtsmaßnahmen (z.B. Arbeitsschutz, Abdeckung am Straßenrand, etc.) getroffen werden?
- Welche Verwertungsart bietet sich aus hygienischer Sicht an bzw. welche Verwertungsart muß aus hygienischer Sicht als bedenklich eingestuft werden?
- Können die Hygieneparameter durch unterschiedliche Betriebsweise verändert/verbessert werden?
- Inwieweit ist die Hygiene abhängig von dem eingesetzten Material (Sandfanggut/Kanalsand)?

Zur Klärung vorheriger Fragestellungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Hygieneinstitut des Ruhrgebiets die Untersuchungsparameter und die Probenahme festgelegt. Als relevante Untersuchungsparameter wurden Koloniezahl bei 36° C, E.coli und Salmonellen in 10 g ausgewählt. Es waren jeweils Mischproben aus 5 Einzelproben über einen Tag Versuchsbetrieb der Probenahmestellen 1 und 6 (ungewaschenes/gewaschenes Material) zu entnehmen. Durch gleichzeitige Analyse von Ausgangs- und Endmaterial ist die Reduktion der Parameter quantifizierbar.

5.3 Bautechnische Parameter

Vorausschickend sei hier erwähnt, daß die bautechnischen Parameter maßgeblich durch die Sieblinie des Sandes bestimmt werden. Durch Beimengungen von Kiesen/Sanden zu dem gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsand können dessen bautechnische Eigenschaften verändert/verbessert werden. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß bei Zumengung nicht belasteter Sande zu den belasteten gewaschenen Sanden die wasser- und abfallwirtschaftlichen Parameter für die jeweiligen Einzelkomponenten erfüllt sein müssen (Verdünnungsverbot).

Von der **Betonindustrie** werden Anforderungen an die gewaschenen Sande in Form von Normen, Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien gestellt. Die Verwendung von Recycling-Baustoffen als Betonzuschlag für die Herstellung von Beton nach DIN 1045 [17] ist entweder über eine Zustimmung im Einzelfall bzw. durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin, Deutschland, möglich.

Anforderungen an die Korngruppe/Lieferkörnung wird durch DIN 4226 [18] bzw. auch in der TL Min-StB 94 geregelt. Die DIN 4226 enthält darüber hinaus Anforderungen an die Kornform, Festigkeit, Widerstand gegen Frost, schädliche und abschlämmbare Bestandteile, Stoff-

fe organischen Ursprungs, erhärtungsstörende Stoffe, Schwefelverbindungen, Stahl angreifende Stoffe, alkalilösliche Kieselsäure.

Die Richtlinie für Beton mit rezykliertem Zuschlag vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton bezieht sich bei der Verwendung des die Richtlinie erfüllenden Zuschlags auf die Anforderungen der DIN 1045. Es dürfen 35 Vol-% des rezyklierten Zuschlags am Gesamtzuschlag nicht überschritten werden.

Für die **Baustoffproduktindustrie** sind die maßgeblichen Regelwerke: für Mauerwerk die DIN 1053 [19], für Putzmörtel die DIN 18550 [20], für Estriche die DIN 18560 [21], für Kalksandsteine und Porenbetonsteine die DIN 106 [22] und für Mauersteine aus Beton und Leichtbeton die DIN 18151 – 18153 [23], [24], [25]. Es wird zusätzlich immer auf die DIN 4226 verwiesen.

Für den Bereich **Erdarbeiten/Kanalbau** gilt für die Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen die europäische Norm DIN EN 1610 [26]. Hierin sind Anforderungen an die Kornzusammensetzung in Abhängigkeit vom Einbauort (Leitungszone, Hauptverfüllung) und von der Materialart (körnige ungebundene Baustoffe, hydraulisch gebundene Baustoffe, sonstige Baustoffe) beschrieben. Das ATV Arbeitsblatt A 127 [27] enthält Anforderungen an den Verdichtungsgrad in Abhängigkeit von der Bodengruppe. Die zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB 94 [28]) enthalten Regelungen für das Lösen, Laden, Fördern, Einbauen und Verdichten von Boden, Fels und sonstigen erdbautechnisch geeigneten Stoffen. In den zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen (ZTV A-StB 97 [29]) ist der Aufbruch von Verkehrsflächen, das Herstellen und Verfüllen von Leitungsgräben und die Wiederherstellung von Oberbauschichten geregelt. Es wird darin in Verdichtbarkeitsklassen in Abhängigkeit von der Bodengruppe nach DIN 18196 unterschieden.

Zusätzlich zu den vorgenannten Technischen Vertragsbedingungen gelten in Köln die ZTV AA K/1 [30] (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Abwasseranlagen in Köln). In diesen Vertragsbedingungen ist festgeschrieben, daß es für die Verwendung von aufbereiteten Altbaustoffen (Recycling-Baustoffen) als Verfüllmaterial der schriftlichen Genehmigung des Auftraggebers bedarf und, soweit für Baustoffe eine Güteüberwachung vorgeschrieben ist, nur solche Bauteile eingebaut werden dürfen, die das Überwachungs- und Prüfzeichen tragen.

In den **Bereich sonstiger Erdarbeiten** fällt der Einsatz des Materials in Lärmschutzwällen und als Auffüllmaterial im privatwirtschaftlichen Bereich. Anforderungen hierfür sind, wie im

Kanalbau, in den ZTV E-StB 94 [28] getroffen. Für Raumgitterkonstruktionen ist grob- und gemischtkörniger Verfüllboden gemäß DIN 18196 zu verwenden. Für Lärmschutzwälle gelten als Anforderung die Standsicherheit des Bauwerkes, die Umweltverträglichkeit des Baustoffes und die vegetationstechnischen Belange.

Im **Bereich des Straßenbaus** sind für die Zuschlagstoffe als wichtigste Vorschriften die TL Min-StB 94, TP Min-StB 94, RG Min-StB 93 und TL RC-ToB 95 zu nennen. Zusätzlich sind die Technischen Vertragsbedingungen ZTV Asphalt-StB 94 [31], ZTV T-StB 95 [32], ZTV Beton StB 95 [33] und eventuelle Anforderungen von Beton- und Asphaltmischwerken zu nennen. Die TL Min-StB 94 enthält Anforderungen an Mineralstoffe, die im Straßen- und Wegebau zur Herstellung und Instandsetzung von Oberbauschichten zur Verwendung kommen. Sie können auch für Mineralstoffe zur Befestigung ländlicher Wege und anderer Verkehrsflächen angewendet werden. Anforderungen wurden an die Gewinnung und Aufbereitung, die Frostbeständigkeit, die Raumbeständigkeit, die Widerstandsfähigkeit gegen Schlag, die Polierresistenz, die Widerstandsfähigkeit gegen Hitzebeanspruchung, die Haftung zwischen Mineralstoff und Bitumen, Korngrößenverteilung (Unter- und Überkorn), die Kornform, an den Anteil gebrochener Körner und die Reinheit gestellt.

Die RG Min-StB 93 (Richtlinie für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau) [11] ist in NRW per Erlaß für den klassifizierten Straßenbau eingeführt und festgeschrieben. Sie enthält Anforderungen an Prüfverfahren und Prüfungshäufigkeit hinsichtlich des Eignungsnachweises und der Güteüberwachung (Eigen- und Fremdüberwachung).

Die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau (ZTV T-StB 95) enthalten Anforderungen an Tragschichten ohne Bindemittel, Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Asphalttragschichten. Sie verweisen auf verschiedene weitere Normen (z.B. DIN 18196, TL Min-StB 94, DIN 4226 etc.) und fassen diese für o.g. Tragschichten zusammen.

Die TL RC-ToB 95 (Technische Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel) enthalten Anforderungen und Prüfbemerkungen, die den Besonderheiten des Recycling-Baustoffs und der Anwendung dieses Baustoffs in ungebundenen Tragschichten Rechnung tragen. Es werden Aussagen bezüglich der Begriffsdefinition RC-Baustoff, der stofflichen Zusammensetzung, der Raumbeständigkeit, der Bruchflächigkeit, des Widerstands gegen Frost-Tau-Wechsel und, wie schon vorher in diesem Kapitel erwähnt, bezüglich wasserwirtschaftlicher Merkmale getroffen.

Als letztes sind noch die Güte- und Prüfbestimmungen für Recycling-Baustoffe für den Straßenbau (RAL-RG 501/1) [34] zu nennen. In den Güte- und Prüfbestimmungen werden Art und Umfang der Prüfungen an wiedergewonnenen Baustoffen für den Einsatz im Straßenbau geregelt. Ziel der Bestimmungen ist es, eine einheitliche Vorgehensweise und Bezeichnung für die Beurteilung zu schaffen.

Es wird darin in drei Klassen unterteilt. Der Klasse I sind Baustoffe für Oberbauschichten im Straßenbau, die gewisse Gütebestimmungen erfüllen, zuzuordnen. Die Anforderungen gelten für die Stoffe, die entsprechend dem Abschnitt 3 "Geltungsbereich der TL-Min-StB 94" zu verwenden sind. Der Klasse II sind Baustoffe für Oberbauschichten im Straßenbau, die nicht entsprechend Abschnitt 3 "Geltungsbereich der TL-Min-StB 94" zu verwenden sind, jedoch geringere Gütebestimmungen erfüllen, zuzuordnen. Der Klasse III sind Baustoffe für Lärmschutzwälle, Unterbau, Untergrundverbesserung, die verminderte Gütebestimmungen erfüllen, zuzuordnen. Sie enthalten weiterhin Angaben über die notwendigen Anforderungen bezüglich der Eigenüberwachung und Fremdüberwachung.

Für den **Deponiebau** gelten im Regelfall die Anforderungen nach TA Siedlungsabfall. Es können abweichend dazu in Abstimmung mit den zuständigen Behörden Abweichungen zu den in der TA Siedlungsabfall vorgeschriebenen Materialeigenschaften (k_f -Wert, Tragfähigkeit, etc.) definiert werden. Soll das Material als Abfall abgelagert werden, so müssen die in der TA Siedlungsabfall vorgegebenen Grenzwerte eingehalten werden. Die Anforderungen der Festigkeit sind, da nur für steinfreie, wassergesättigte, bindige Abfallstoffe vorgesehen, nicht für die betrachteten Sande zu beachten. In der NRW Richtlinie Nr. 18 „Mineralische Deponieabdichtungen“ [35] werden keine konkreten Anforderungen für den Einbau von Ausgleichsschichten unterhalb der Deponieabdichtung gestellt. Das MURL hat allerdings in einer Stellungnahme vom 02.09.1998 zu seinem Erlaß vom 30.03.1998 – IVAZ-800-21771 dargelegt, daß als Verwertungsmaßnahme nicht der Einsatz von Abfällen für die regelmäßige Abdeckung von Ablagerungsbereichen in Betracht kommt.

6 Großtechnisches Versuchsprogramm

Auf Basis der für die Verwertung der gewaschenen Sande einzuhaltenden wasser-/ abfallwirtschaftlichen und hygienischen Parameter wurde ein Versuchsprogramm entwickelt. Hierzu wurden relevante Probenahmestellen und die dort zu untersuchenden Parameter im Vorfeld festgelegt. Die Häufigkeit der Untersuchungen wurde anhand der Anfallmenge (Sandfanggut/Kanalsand), Fahrweise der Anlage (Brunnenwasser/Rezirkulation mit Sandfangwasser) zu 14 Probenahmen Sandfanggut Rezirkulation, 7 Probenahmen Kanalsand Rezirkulation, 7 Probenahmen Sandfanggut Brunnenwasser, 4 Probenahmen Kanalsand Brunnenwasser (jeweils Ausgangs- und Endmaterial) sowie einzelner Probenahmen des Endmaterials und Probenahmen der Außenklärwerke Langel und Rodenkirchen festgelegt.

Neben der wasser-/ abfallwirtschaftlichen und hygienischen Untersuchung des Ausgangs- und Endmaterials fand begleitend die Siebanalyse der gewaschenen Sande statt. Außerdem wurde parallel die Rückbelastung der Kläranlage durch Untersuchungen des Abwasserstroms der Sandwaschanlage festgehalten.

Nach Eingang des Großteils der Untersuchungsergebnisse und deren statistischer Auswertung konnten mögliche Verwertungswege eingeschränkt werden. Die Ergebnisse wurden potentiellen Verwertungsfirmen zur Prüfung übergeben. Es wurden außerdem bautechnische Untersuchungen zur Charakterisierung des gewaschenen Sandes in Auftrag gegeben.

7 Auswertung der Ergebnisse des großtechnischen Versuchsbetriebes im Hinblick auf wasser-/ abfallwirtschaftliche, bautechnische und hygienische Parameter

Im großtechnischen Versuchsbetrieb wurden sowohl die Ausgangsstoffe Sandfanggut und Kanalsand als auch die gewaschenen Fraktionen beprobt. Die Untersuchungsergebnisse wurden statistisch ausgewertet.

Wasser- und abfallwirtschaftliche Parameter

In der abschließenden Auswertung der wasser- und abfallwirtschaftlichen Parameter wurden relevante Normen, Richtlinien und Gesetze hinsichtlich der darin festgeschriebenen Grenzwerte überprüft. Es handelt sich dabei um Richt- und Grenzwerte, die in folgenden Vorschriften enthalten sind:

- LAGA Zuordnungswerte für Boden (Klassen Z0 – Z2)
- LAGA Zuordnungswerte für Bauschutt (Klassen Z0 – Z2)
- TA-Siedlungsabfall (Deponieklasse I/II)
- TL Min-StB 2000 (Zuordnungsklassen RC 1 – RC 3)
- TL RC-ToB 95 (Zuordnungsklassen RC 1 und RC 2)
- FGSV-Arbeitspapier 28/1 (Zuordnungsklassen RCL 1 und RCL 2)
- MURL-Erlass NRW 1991 (Zuordnungsklassen RCL I und RCL II)
- DAfStb Baustoffkreislaufrichtlinie
- Abfallklärverordnung (Klasse 1 und Klasse 2)
- Bioabfallverordnung (Zuordnungsklassen 1 und 2).

In Tabelle 3 sind die Untersuchungsergebnisse zusammengefaßt. Die prozentuale Angabe zeigt die Häufigkeit an, mit der die einzelne Klasse insgesamt eingehalten wurde. Hierzu müssen alle Parameter, die in der jeweiligen Klasse vorgeschriebenen Grenzwerte einhalten.

In Tabelle 4 ist parallel dazu die Anzahl der in den einzelnen Klassen durchschnittlich überschrittenen Parameter eingetragen. In Tabelle 5 sind die Untersuchungsergebnisse unter Ausnutzung der erlaubten Abweichungen prozentual dargestellt. In Tabelle 6 ist parallel dazu die Anzahl der in den einzelnen Klassen durchschnittlich überschrittenen Parameter eingetragen.

Tabelle 3: Auswertung der Ergebnisse der wasser- und abfallwirtschaftlichen Untersuchungen hinsichtlich der untersuchten Vorschriften ohne erlaubte Abweichung innerhalb der Vorschriften (Prozentual an der Gesamtuntersuchung)

			LAGA - Boden				LAGA - Bauschutt				TASi		TL Min-StB 2000		
			z0	z1.1	z1.2	z2	z0	z1.1	z1.2	z2	Dep.-kl. I	Dep.-kl. II	RC-1	RC-2	RC-3
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sandfanggut (SFG)	BW	A	0%	0%	5%	75%	0%	5%	80%	85%	35%	95%	55%	85%	85%
	RZ	B	0%	0%	0%	44%	0%	0%	67%	89%	56%	89%	22%	89%	89%
Kanalsand (KS)	BW	C	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	0%	50%	100%
	RZ	D	0%	0%	20%	60%	0%	60%	80%	100%	100%	100%	80%	80%	100%
SFG/KS	-	E	0%	0%	6%	61%	0%	11%	75%	89%	53%	94%	47%	83%	89%

			TL RC-ToB 95 Baustoffe		FGSV Arbeitspapier 28/1		NRW Erlaß 1991		Baustoffkreislauf-Richtlinie DAfStb	AbfKl. V.		Bioabfallverordnung	
			RC 1	RC 2	RCL 1	RCL 2	RCL I	RCL II		Ton > 5%	Ton < 5%	Klasse 1	Klasse 2
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sandfanggut (SFG)	BW	A	30%	100%	30%	100%	85%	15%	95%	80%	80%	5%	0%
	RZ	B	22%	100%	22%	100%	89%	0%	100%	78%	78%	0%	0%
Kanalsand (KS)	BW	C	50%	100%	50%	100%	100%	0%	100%	50%	50%	0%	0%
	RZ	D	40%	100%	40%	100%	80%	40%	100%	60%	60%	0%	0%
SFG/KS	-	E	31%	100%	31%	100%	86%	14%	97%	75%	75%	3%	0%

Tabelle 4: Mittlere Anzahl der in den gesamten Untersuchungen überschrittenen Parameter der untersuchten Vorschriften ohne erlaubte Abweichung innerhalb der Vorschriften

			LAGA - Boden				LAGA - Bauschutt				TASi		TL Min-StB 2000		
			z0	z1.1	z1.2	z2	z0	z1.1	z1.2	z2	Dep.-kl. I	Dep.-kl. II	RC-1	RC-2	RC-3
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sandfanggut (SFG)	BW	A	10	7	2	0	10	2	0	0	1	0	1	0	0
	RZ	B	11	8	3	1	11	2	0	0	1	0	2	0	0
Kanalsand (KS)	BW	C	10	9	4	1	10	3	1	0	0	0	1	1	0
	RZ	D	9	5	2	1	8	1	0	0	0	0	0	0	0
SFG/KS	-	E	10	7	2	0	10	2	0	0	1	0	1	0	0

			TL RC-ToB 95 Baustoffe		FGSV Arbeitspapier 28/1		NRW Erlaß 1991		Baustoffkreislauf-Richtlinie DAfStb	AbfKl. V.		Bioabfallverordnung	
			RC 1	RC 2	RCL 1	RCL 2	RCL I	RCL II		Ton > 5%	Ton < 5%	Klasse 1	Klasse 2
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sandfanggut (SFG)	BW	A	1	0	1	0	0	2	0	0	0	3	4
	RZ	B	1	0	1	0	0	2	0	1	1	4	5
Kanalsand (KS)	BW	C	1	0	1	0	0	3	0	1	1	4	4
	RZ	D	1	0	1	0	0	1	0	0	0	3	4
SFG/KS	-	E	1	0	1	0	0	2	0	0	0	3	4

Tabelle 5: Auswertung der Ergebnisse der wasser- und abfallwirtschaftlichen Untersuchungen hinsichtlich der untersuchten Vorschriften mit erlaubter Abweichung innerhalb der Vorschriften (Prozentual an der Gesamtuntersuchung)

			LAGA - Boden				LAGA - Bauschutt				TASi		TL Min-StB 2000		
			z0	z1.1	z1.2	z2	z0	z1.1	z1.2	z2	Dep.-kl. I	Dep.-kl. II	RC-1	RC-2	RC-3
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sandfanggut (SFG)	BW	A	0%	0%	40%	85%	0%	15%	80%	85%	75%	100%	60%	85%	85%
	RZ	B	0%	0%	22%	100%	0%	0%	67%	89%	67%	100%	22%	89%	89%
Kanalsand (KS)	BW	C	0%	0%	0%	50%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	0%	50%	100%
	RZ	D	0%	0%	40%	60%	0%	80%	80%	100%	100%	100%	80%	80%	100%
SFG/KS	-	E	0%	0%	33%	83%	0%	19%	75%	89%	78%	100%	50%	83%	89%

			TL RC-ToB 95 Baustoffe		FGSV Arbeitspapier 28/1		NRW Erlaß 1991		Baustoffkreislauf-Richtlinie DAFStb	Abfkl. V.		Bioabfallverordnung	
			RC 1	RC 2	RCL 1	RCL 2	RCL I	RCL II		Ton > 5%	Ton < 5%	Klasse 1	Klasse 2
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sandfanggut (SFG)	BW	A	45%	100%	50%	100%	90%	20%	95%	80%	80%	5%	0%
	RZ	B	56%	100%	67%	100%	89%	0%	100%	78%	78%	0%	0%
Kanalsand (KS)	BW	C	50%	100%	50%	100%	100%	0%	100%	50%	50%	0%	0%
	RZ	D	60%	100%	80%	100%	80%	40%	100%	60%	60%	0%	0%
SFG/KS	-	E	50%	100%	58%	100%	89%	17%	97%	75%	75%	3%	0%

Tabelle 6: Mittlere Anzahl der in den gesamten Untersuchungen überschrittenen Parameter der untersuchten Vorschriften mit erlaubter Abweichung innerhalb der Vorschriften

			LAGA - Boden				LAGA - Bauschutt				TASi		TL Min-StB 2000		
			z0	z1.1	z1.2	z2	z0	z1.1	z1.2	z2	Dep.-kl. I	Dep.-kl. II	RC-1	RC-2	RC-3
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Sandfanggut (SFG)	BW	A	8	5	1	0	10	2	0	0	0	0	2	0	0
	RZ	B	8	5	2	0	11	2	0	0	0	0	2	0	0
Kanalsand (KS)	BW	C	8	6	3	1	10	2	1	0	0	0	2	1	0
	RZ	D	7	3	1	1	8	0	0	0	0	0	1	0	0
SFG/KS	-	E	8	5	1	0	10	2	0	0	0	0	2	0	0

			TL RC-ToB 95 Baustoffe		FGSV Arbeitspapier 28/1		NRW Erlaß 1991		Baustoffkreislauf-Richtlinie DAFStb	Abfkl. V.		Bioabfallverordnung	
			RC 1	RC 2	RCL 1	RCL 2	RCL I	RCL II		Ton > 5%	Ton < 5%	Klasse 1	Klasse 2
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sandfanggut (SFG)	BW	A	1	0	1	0	0	1	0	0	0	3	4
	RZ	B	1	0	1	0	0	2	0	0	0	4	4
Kanalsand (KS)	BW	C	1	0	1	0	0	3	0	1	1	4	4
	RZ	D	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	3
SFG/KS	-	E	1	0	1	0	0	2	0	0	0	3	4

Es ist aus der Kombination der Tabelle 3 und Tabelle 4 erkennbar, daß hohe Abweichungen von den vorgeschriebenen/empfohlenen Grenzwerten bei den Klassen Z0 bis Z1.2 der LAGA-Boden, den Klassen Z0 und Z1.1 der LAGA Bauschutt, der Klasse RC-1 der TL Min-StB 2000, der Klasse RC 1 der TL RC-ToB 95, der Klasse RCL 1 des Arbeitspapiers 28/1 der FGSV, der Klasse RCL II des MURL-Erlasses 1991 sowie beider Klassen der Bioabfallverordnung vorliegen. Bei der AbfKlärV sind ebenfalls beide Bereiche überschritten. Bei den zu der Überschreitung führenden Parametern handelt es sich in den meisten Fällen um Quecksilber.

In den folgenden Tabellen ist nochmals die Anzahl der Parameter, die mit 95%iger Wahrscheinlichkeit im Endmaterial überschritten sind, den überprüften Normen, Richtlinien, Gesetzen und Erlässen gegenübergestellt. Die Tabellen enthalten ebenfalls die Aussage, ob die Vorschrift insgesamt erfüllt ist (vgl. Tabelle 7 und Tabelle 8).

Tabelle 7: Überprüfung der untersuchten Vorschriften (ohne zulässige Abweichungen) anhand des 95%igen Konfidenzniveaus

		Statistische Auswertung		
		SFG / KS BW / RZ	95% Konfidenzniveau	Anzahl überschrittener Parameter
Richtlinien - Normen - Gesetze - Erläße	LAGA - Boden	Z0	nicht erfüllt	12 Parameter
		Z1.1	nicht erfüllt	10 Parameter
		Z1.2	nicht erfüllt	4 Parameter
		Z2	erfüllt	-
	LAGA - Bauschutt	Z0	nicht erfüllt	9 Parameter
		Z1.1	nicht erfüllt	2 Parameter
		Z1.2	erfüllt	-
		Z2	erfüllt	-
	TaSi	Deponieklasse I	nicht erfüllt	1 Parameter
		Deponieklasse II	erfüllt	-
	TL Min-StB 2000	RC-1	erfüllt	-
		RC-2	erfüllt	-
		RC-3	erfüllt	-
	TL RC-ToB 95	RC-Baustoffe 1	nicht erfüllt	2 Parameter
		RC-Baustoffe 2	erfüllt	-
	FGSV Arbeits- papier 28/1	RCL 1	nicht erfüllt	2 Parameter
		RCL 2	erfüllt	-
	Erlaß NRW 1991	RCL I	erfüllt	-
		RCL II	nicht erfüllt	2 Parameter
	Baustoffkreislauf- Richtlinie, DAfStb	-	erfüllt	-
AbfKlärV	Ton > 5 %	nicht erfüllt	1 Parameter	
	Ton < 5 %	nicht erfüllt	1 Parameter	
BioAbfV	Klasse 1	nicht erfüllt	4 Parameter	
	Klasse 2	nicht erfüllt	4 Parameter	

Tabelle 8: Überprüfung der untersuchten Vorschriften (mit zulässigen Abweichungen) anhand des 95%igen Konfidenzniveaus

		Statistische Auswertung		
		SFG / KS BW / RZ	95% Konfidenzniveau	Anzahl überschrittener Parameter
Richtlinien - Normen - Gesetze - Erläße	LAGA - Boden	Z0	nicht erfüllt	10 Parameter
		Z1.1	nicht erfüllt	7 Parameter
		Z1.2	nicht erfüllt	1 Parameter
		Z2	erfüllt	-
	LAGA - Bauschutt	Z0	nicht erfüllt	9 Parameter
		Z1.1	nicht erfüllt	1 Parameter
		Z1.2	erfüllt	-
		Z2	erfüllt	-
	TaSi	Deponieklasse I	nicht erfüllt	1 Parameter
		Deponieklasse II	erfüllt	-
	TL Min-StB 2000	RC-1	erfüllt	-
		RC-2	erfüllt	-
		RC-3	erfüllt	-
	TL RC-ToB 95	RC-Baustoffe 1	nicht erfüllt	1 Parameter
		RC-Baustoffe 2	erfüllt	-
	FGSV Arbeitspapier 28/1	RCL 1	nicht erfüllt	1 Parameter
		RCL 2	erfüllt	-
	Erlaß NRW 1991	RCL I	erfüllt	-
RCL II		nicht erfüllt	2 Parameter	
Baustoffkreislauf- Richtlinie, DAfStb	-	erfüllt	-	
AbfKlärV	Ton > 5 %	nicht erfüllt	1 Parameter	
	Ton < 5 %	nicht erfüllt	1 Parameter	
BioAbfV	Klasse 1	nicht erfüllt	4 Parameter	
	Klasse 2	nicht erfüllt	4 Parameter	

Als erfüllt können gemäß den vorher abgebildeten Tabellen bei gleichzeitiger Auswertung der 95%igen Konfidenzobergrenze folgende Klassen gelten:

- Z2 der LAGA Boden
- Z2 und Z1.2 der LAGA Bauschutt
- Deponieklassen I und II der TASI
- RC-Klassen 1 bis 3 der TL Min-StB 2000
- RC-Klasse 2 der TL RC-ToB 95
- RCL-Klasse 2 des Arbeitspapiers 28/1 der FGSV
- Zuordnungsklasse RCL I des MURL-Erlasses 1991
- Baustoffkreislaufrichtlinie des DAfStb.

Aus Tabelle 3 bis Tabelle 6 zeigt sich, daß bei Einbezug der in den Vorschriften zugelassenen Abweichungen die Baustoffkreislaufrichtlinie zu annähernd 100% erfüllt ist. Es ist in 36 Untersuchungen 1-mal der Parameter Cadmium überschritten. Dies führt zu durchschnittlich 0 überschrittenen Parametern insgesamt. Die Klasse RC 2 der TL RC-ToB 95 und die Klasse RCL 2 des Arbeitspapiers der FGSV und die Deponieklasse II sind zu 100% erfüllt.

Bei der Zuordnungsklasse Z 2 der LAGA Boden und Bauschutt sind insgesamt 0 Parameter durchschnittlich überschritten. Ebenso ist dies der Fall für die Klasse Z 1.2 der LAGA Bauschutt. Die Deponieklasse I der TASI ist nur in 78% der Fälle eingehalten, bei Betrachtung der durchschnittlich überschrittenen Parameteranzahl (0) zeigt sich, daß für diese Prozentzahl 6 Überschreitungen des Parameters TOC und 3 Überschreitungen des Parameters Ammoniumstickstoff verantwortlich sind (9 von 720 Parametern). Der Erlaß des MURL (RCL I) ist zu 86% insgesamt bei durchschnittlich 0 überschrittenen Parametern eingehalten. Insgesamt bestätigt sich somit die vorherige Auswertung.

Hygienische Anforderungen

Als hygienische Anforderungen sind der Schutz des Arbeitnehmers vor bakterieller, vireller, parasitärer Belastung sowie vor Hefen und Pilzbefall zu nennen. Hierzu wurden Koloniezahl bei 36°C, E.coli und Salmonellen als Leitparameter von dem Hygieneinstitut des Ruhrgebietes in Zusammenarbeit mit dem IWB festgelegt und parallel zu den Untersuchungen an den gewaschenen und ungewaschenen Sanden bestimmt.

Das Untersuchungsergebnis zeigt, daß in den meisten Fällen zwar eine Reduktion der Fäkalbelastung durch die Sandwäsche erkennbar ist, diese allerdings mit 1 bis 2 Zehnerpotenzen als eher gering eingestuft werden kann. Zusätzlich sind in allen Proben, in denen im Ausgangsmaterial Salmonellen festgestellt wurden, auch im Endmaterial Salmonellen nachweisbar. Das Hygieneinstitut hält das Material für seuchenhygienisch bedenklich.

Als Konsequenz muß der Umgang mit dem Material so erfolgen, daß eine Übertragung von Krankheitserregern auf Menschen ausgeschlossen ist. Es muß sowohl der beabsichtigte als auch der unbeabsichtigte Kontakt vermieden/ausgeschlossen werden.

Es ist daher erforderlich, daß eine Lagerung des Materials in einem abgeäuerten Bereich erfolgt. Sofern das Risiko einer Aerosolbildung besteht, ist es zwingend notwendig, das Material zusätzlich abzudecken.

Bautechnische Parameter

Von den gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsanden wurden jeweils Sieblinien bestimmt und bezüglich Regelsieblinien und der Ungleichförmigkeit der Sieblinie hin untersucht. In Abbildung 3 ist das gesamte ermittelte Siebspektrum nochmals dargestellt.

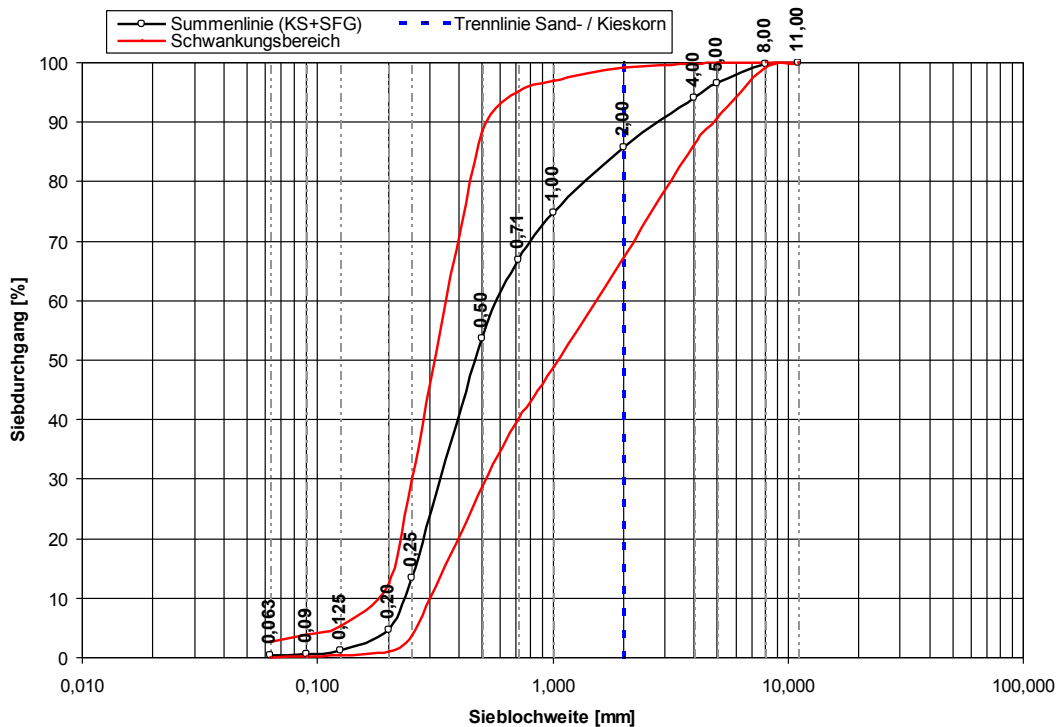


Abbildung 3: Darstellung der Bandbreite des gewaschenen Sandes mit mittlerer Sieblinie

Tabelle 9 enthält die statistische Auswertung der Sieblinien. Als Untersuchungsergebnis ist folgendes festzuhalten:

- Für gewaschenes Sandfanggut können als Regelsieblinie nach DIN 4226 0/2a, 0/2b bzw. 0/4b angegeben werden. Am ehesten trifft 0/4b zu. Die Ungleichförmigkeit der Sieblinie beträgt im Mittel 2,41. Der Sand kann als SE nach DIN 18156 eingruppiert werden. Aufgrund des geringen Anteils < 0,063 mm und der niedrigen Ungleichförmigkeit ergibt sich die Frostklasse F 1 (nicht frostempfindlich).
- Für den gewaschenen Kanalsand können als Regelsieblinien nach DIN 4226 die Lieferkörnungen 0/4a und 0/4b angegeben werden. Die Ungleichförmigkeit der Sieblinie beträgt im Mittel: $U = 3,65$. Der Sand kann ebenfalls als SE nach DIN 18196 eingruppiert werden. Als Frostklasse ist hier ebenfalls F 1 zutreffend.
- Für die gemeinsame Betrachtung der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande kann insgesamt als Regelsieblinie nach DIN 4226 0/4b angegeben werden. Die Ungleichförmigkeit beträgt: $U = 2,87$ (im Mittel). Der Sand kann als SE nach DIN 18196 eingruppiert werden und ist der Frostklasse F 1 (nicht frostempfindlich) zuzuordnen.

Tabelle 9: Zusammenfassung der statistischen Parameter der Siebdurchgänge der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande

	Siebdurchgang bei 0,063 mm	Siebdurchgang bei 0,09 mm	Siebdurchgang bei 0,125 mm	Siebdurchgang bei 0,2 mm	Siebdurchgang bei 0,25 mm	Siebdurchgang bei 0,5 mm	Siebdurchgang bei 0,71 mm	Siebdurchgang bei 1,0 mm
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Max-Wert	2,56	3,81	5,23	12,46	29,84	88,43	95,12	97,05
95%-Quantil	1,05	1,49	2,35	10,20	24,28	82,60	89,49	92,60
75%-Quantil	0,75	1,02	1,70	5,95	17,50	65,54	77,46	83,65
Median	0,40	0,51	0,93	3,81	11,87	49,97	65,61	73,91
Mittelwert	0,50	0,71	1,17	4,60	13,39	53,57	66,89	74,72
25%-Quantil	0,18	0,25	0,48	2,48	8,90	42,57	59,10	69,16
Min-Wert	0,06	0,12	0,34	1,09	3,69	28,61	40,10	48,75
obere Konfidenzschranke 95%	0,66	0,94	1,49	5,58	15,62	59,02	71,73	78,92
untere Konfidenzschranke 95%	0,35	0,48	0,85	3,61	11,16	48,12	62,06	70,53
obere Konfidenzschranke 99%	0,71	1,01	1,59	5,90	16,32	60,73	73,25	80,24
untere Konfidenzschranke 99%	0,30	0,41	0,75	3,30	10,46	46,41	60,54	69,21
	Siebdurchgang bei 2,0 mm	Siebdurchgang bei 4,0 mm	Siebdurchgang bei 5,0 mm	Siebdurchgang bei 8,0 mm	Siebdurchgang bei 11,0 mm	d_{60}/d_{10}		
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]		
Max-Wert	99,10	99,86	100,00	100,00	100,00	5,68		
95%-Quantil	96,58	99,11	99,59	100,00	100,00	5,11		
75%-Quantil	92,62	97,72	98,88	100,00	100,00	3,00		
Median	85,91	94,70	97,12	99,90	100,00	2,60		
Mittelwert	85,80	94,17	96,55	99,76	99,99	2,87		
25%-Quantil	82,58	92,14	95,32	99,55	100,00	2,28		
Min-Wert	67,18	86,19	90,64	99,13	99,81	1,79		
obere Konfidenzschranke 95%	88,66	95,58	97,49	99,85	100,00	3,19		
untere Konfidenzschranke 95%	82,94	92,75	95,62	99,67	100,00	2,55		
obere Konfidenzschranke 99%	89,56	96,03	97,79	99,88	100,00	3,30		
untere Konfidenzschranke 99%	82,04	92,30	95,32	99,64	100,00	2,45		

Überprüfung der Lieferkörnungen nach DIN 4226

Für die vorliegenden gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande wurde eine Eingruppierung der ermittelten Sieblinien anhand der in DIN 4226 angegebenen Regel-Sieblinien vorgenommen. Zur Auswertung ist folgendes anzumerken:

- Es wurden die mittlere Sieblinie und die Randbereiche des Sieblinienbandes (minimale/maximale Sieblinien) untersucht.
- Im ersten Schritt wurde überprüft, ob der in der DIN angegebene Grenzwert über- bzw. unterschritten war.
- Im zweiten Schritt wurde die prozentuale Über- bzw. Unterschreitung berechnet.
- Im dritten Schritt wurde die Summe aus Über- und Unterschreitungen berechnet.
- Im vierten Schritt erfolgte dann eine Eingruppierung nach der Höhe der Überschreitungssumme.

In Tabelle 10 ist die Auswertung für die Korngruppen 0/2 a, 0/2 b, 0/4 a, 0/4b und 0/8 abgebildet. Die dunkleren Felder markieren darin günstige Bereiche. Betrachtet man die mittleren Sieblinien, so kann resümierend festgestellt werden, daß das gewaschene Sandfanggut am ehesten den Lieferkörnungen 0/4b (0,45% Abweichungssumme), 0/2a (3,93% Abweichungs-

summe) oder 0/2b (3,59% Abweichungssumme) zugeordnet werden kann. Die prozentuale Abweichung ist in der Summe der Abweichungen in allen Fällen < 4%.

Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse der Eingruppierung der gewaschenen Kläranlagen und Kanalsande in Lieferkörnungen

		Korngruppe / Lieferkörnung				
		0/2 a	0/2 b	0/4 a	0/4 b	0/8
		Summe der Abweichungen	Summe der Abweichungen	Summe der Abweichungen	Summe der Abweichungen	Summe der Abweichungen
		[Gew.-%]	[Gew.-%]	[Gew.-%]	[Gew.-%]	[Gew.-%]
Gewaschener Kläranlagen- und Kanalsand	Maximalwert	33,41	28,57	42,53	28,43	14,86
	Mittlere Sieblinie	10,04	10,04	1,04	0,24	9,17
	Minimalwert	36,63	36,63	4,68	4,68	1,19
Gewaschener Kanalsand	Maximalwert	7,69	7,69	2,61	Lieferkörnung 0/4b	9,70
	Mittlere Sieblinie	21,30	21,30	0,45	0,45	5,37
	Minimalwert	36,63	36,63	4,68	4,68	Lieferkörnung 0/8
Gewaschenes Sandfanggut	Maximalwert	33,41	28,57	42,53	28,43	14,86
	Mittlere Sieblinie	3,93	3,59	5,66	0,45	11,41
	Minimalwert	28,13	28,13	4,55	4,55	1,29

Der gewaschene Kanalsand kann am ehesten den Lieferkörnungen 0/4a (0,45% i.M. der Summe) und 0/4b (0,45% i.M der Summe) zugeordnet werden.

Betrachtet man alle Sieblinien insgesamt, so kann eine Eingruppierung entweder zu der Lieferkörnung 0/4a (Abweichungssumme der mittleren Sieblinie 1,04%) oder 0/4b (Abweichungssumme zur mittleren Sieblinie 0,24%) erfolgen.

Da im Regelfall bzw. Betriebsfall der Sandwaschanlage nicht bekannt sein wird, aus welcher Ursprungsfraction der gewaschene Sand extrahiert wurde und da die Lieferkörnung in allen drei Untersuchungsarten die beste Eingruppierung darstellt, kann von der Lieferkörnung 0/4b ausgegangen werden.

Proctorversuch nach DIN 18127 [36]

Im Proctorversuch wurde die Proctordichte für die Kläranlagen- und Kanalsande, unterschieden nach Ausgangsmaterial, untersucht. Sie beträgt für gewaschenes Sandfanggut 1,568 g/cm³ bei einem optimalen Wassergehalt von 10,1%. Bei gewaschenem Kanalsand beträgt die Dichte 1,698 g/cm³, bei $W_{opt} = 9,50\%$. Die Dichte des gewaschenen Kanalsandes bei 100%iger Verdichtung liegt somit um 8,3% höher als die des gewaschenen Sandfanggutes. Insgesamt kann für die gewaschenen Sande ein Bereich der Proctordichten zwischen 1,5 und 1,7 bei einem ungefähren Wassergehalt von 10% für die Erreichung der 100%igen Proctordichte festgestellt werden.

Tragfähigkeit nach dem CBR-Versuch

Der Boden wurde im CBR-Versuch untersucht. Es ergaben sich für den mit 97%iger Proctordichte eingebauten Boden nach dem CBR-Versuch für beide Materialien Werte, die im oberen Bereich des als mittelmäßiger Untergrund gekennzeichneten Bereiches liegen.

Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18130 [37]

Die Durchlässigkeitsbeiwerte nach DIN 18130 liegen sowohl beim untersuchten gewaschenen Sandfanggut als auch bei dem untersuchten gewaschenen Kanalsand im Bereich von $1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-5}$ m/s (SFG bei $7,61 \cdot 10^{-5}$ m/s; KS bei $5,67 \cdot 10^{-5}$ m/s). Beide Durchlässigkeitsbeiwerte liegen in einem Bereich, der laut DIN 18130, Tabelle 1, als durchlässig gelten kann.

Schüttdichte

Als Schüttdichte für die beiden Materialien kann für Sandfanggut $\rho = 1,35$ g/cm³ und für Kanalsand $\rho = 1,51$ g/cm³ angegeben werden.

Petrographische Bestimmung

Die petrographische Bestimmung ergab für beide Materialien, daß sie nach augenscheinlicher Beurteilung aus Quarz, geringfügigen Glimmeranteilen, Kalkbestandteilen und vereinzelt vulkanischem Gestein Lava zusammengesetzt sind.

Abschlämbbare Anteile

Da die gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande im Wasseraufstrom separiert werden und durch den Aufstrom der Großteil der abschlämbbaren Anteile schon im Waschprozeß getrennt wird, enthalten beide Fraktionen geringe Anteile an abschlämbbaren Bestandteilen, bei Sandfanggut 1,4 Gew.-%, bei Kanalsand 1,3 Gew.-%.

Kornform

Die Kornform der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande kann in beiden Fällen als gedrunken und abgerundet beschrieben werden. Ungünstig geformte Körner konnten nicht festgestellt werden.

Stoffe organischen Ursprungs

Durch Auslesen wurden poröse Bestandteile in beiden Sandproben festgestellt. Diese können unter Umständen quellfähig sein. Stoffe organischen Ursprungs durch Prüfung mit NAOH (Natronlauge) ergab in beiden Fällen eine rötliche bis schwarze Färbung.

8 Verbleibende Verwertungswege aus wasser- und abfallwirtschaftlicher, bautechnischer und hygienischer Sicht

Dem gewaschenen Sand stehen aus wasser- und abfallwirtschaftlicher Sicht somit folgende Wege der Verwertung offen, wobei die Fragen der Seuchenhygiene in jedem Einzelfall zu prüfen sind (Näheres siehe letzter Abschnitt dieses Kapitels):

LAGA für die Zuordnungsklasse Z2

- Erdbaumaßnahmen
 - Lärmschutzwall
 - Straßendamm
- Straßen- und Wegebau
 - bei Anlage von befestigten Flächen in Industrie- und Gewerbegebieten sowie sonstigen Verkehrsflächen als
 - Tragschicht unter wasserundurchlässiger Deckschicht
 - gebundene Tragschicht unter wenig durchlässiger Deckschicht.

MURL-Erlaß 1991 (Recycling-Baustoff I)

unterschieden nach dem Einsatzort (vgl. Abbildung 4):

- Außerhalb wasserwirtschaftlich bedeutender und empfindlicher sowie hydrogeologisch sensibler Gebiete
 - zugelassen für:
 - Tragschicht ohne Bindemittel unter wasserundurchlässiger Deckschicht (Beton, Asphalt, Pflaster mit dichten Fugen)
 - Tragschicht bitumen- oder hydraulisch gebunden
 - Einsatz gemäß Lfd. Nr. 1, 4, 5 (Abbildung 4) in Straßen mit Entwässerungsrinnen
 - mit dichter Abdeckung Lärmschutzwall
 - mit dichter Abdeckung Unterbau, Verfestigungen, Dämme.
 - zugelassen auf Porengrundwasserleiter; nicht zugel. auf Kluftgrundwasserleiter als:

Tragschicht ohne Bindemittel unter teildurchlässiger Deckschicht (Pflaster, Platten, Deckschicht ohne Bindemittel).

- zugelassen auf Parkflächen < 200 m² als:

Deckschicht ohne Bindemittel.

- Innerhalb wasserwirtschaftlich bedeutender und empfindlicher sowie hydrogeologisch sensibler Gebiete

- zugelassen für (Einschränkungen der Gebiete siehe Abbildung 4) für:

Tragschicht ohne Bindemittel unter wasserundurchlässiger Deckschicht (Beton, Asphalt, Pflaster mit dichten Fugen)

Tragschicht bitumen- oder hydraulisch gebunden

Einsatz gemäß Lfd. Nr. 1, 4, 5 (Abbildung 4) in Straßen mit Entwässerungsrinnen.

- zugelassen auf Porengrundwasserleiter; nicht zugel. auf Kluftgrundwasserleiter für :

Lärmschutzwahl mit dichter Abdeckung bei GW-Leiter ohne ausreichende Deckschichten (GW > 1), WSG III BV (GW > 1), HSG IV (GW > 1)

Unterbau, Verfestigung, Dämme bei GW-Leiter ohne ausreichende Deckschichten (GW > 1), WSG II B (GW > 1), HSG IV (GW > 1).

Erläuterung:

GW = Abstand zwischen höchstem Grundwasserstand und Planum/Schüttkörperbasis

HSG = Schutzzonen gegen qualitative Beeinträchtigungen von Heilquellen
(festgesetzt und geplant)

WSG = Wasserschutzgebiet (festgesetzt und geplant).

- zugelassen für bitumen- oder hydraulisch gebundene Tragschicht bei:

GW > 0,1 und GW < 1 eines Grundwasserleiters ohne ausreichende Deckschicht

GW > 1 eines Karstgrundwasserleiters ohne ausreichende Deckschichten und Randgebiete, die in den Karst entwässern

GW > 1 bei Bereichen zum Schutz der Gewässer nach Landesplanungsrecht

GW > 1 bei WSG III A und HSG III.

- zugelassen auf Parkflächen < 200 m² als:

Deckschicht ohne Bindemittel bei Grundwasserleitern ohne ausreichende Deckschicht.

- zugelassen gemäß Lfd. Nr. 1, 4, 5 (Abbildung 4) als

Tragschicht ohne Bindemittel unter wasserundurchlässiger Deckschicht (Beton, Asphalt, Pflaster mit dichten Fugen)

Tragschicht bitumen- oder hydraulisch gebunden

Decke bitumen- oder hydraulisch gebunden in Straßen mit Entwässerungsrinnen bei:

Grundwasserleiter ohne ausreichende Deckschichten (GW < 1, GW > 0,1)

Karstgrundwasserleiter ohne ausreichende Deckschichten und Randgebiete, die in den Karst entwässern (GW > 1)

WSG III B, HSG IV (GW > 1)

Bereiche zum Schutz der Gewässer nach Landesplanungsrecht (GW > 1)

WSG III A, HSG III (GW > 1).

FGSV-Arbeitspapier Nr. 28/1 „Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen“ (RCL-Klasse 2)

Möglichkeiten der Verwertung entsprechen denen des MURL-Erlasses 1991 für RCL I und werden deshalb nicht nochmals aufgeführt.

TL RC-ToB 95, RC-Klasse 2

Die gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande entsprechen den Regelanforderungen (Klasse 2), aber nicht den erhöhten Anforderungen RC-Baustoffe 1. Das Material ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht als Tragschicht ohne Bindemittel einsetzbar.

DAfStb Richtlinie für Beton mit rezykliertem Zuschlag

Die Sande erfüllen die Richtlinie, sind zwar nicht in der Richtlinie aufgeführt, können aber als Zuschlag nach DIN 4226 bzw. nach Abstimmung mit dem Deutschen Institut für Bautechnik als rezyklierter Zuschlag definiert und somit verwertet werden. Es besteht daher die Möglichkeit, sie als Beton nach DIN 1045 zu verarbeiten.

Abbildung 4: Verwertungsmöglichkeiten für Recycling-Baustoff I nach MURL-Erlaß 1991 [6]

Für die möglichen Verwertungswege aus bautechnischer Sicht ergibt sich aus den ermittelten bautechnischen Parametern folgendes:

Betonindustrie

Nach weitergehender Prüfung durch das Deutsche Institut für Bautechnik ist der Sand als Zuschlag für Beton möglich. Die Lieferkörnung des Sandes ist als 0/2 bis 0/4 hierfür anzugeben. Der Sand kann somit z.B. als Austauschstoff für die Lieferkörnung 0/2 eingesetzt werden. Erhärtungsstörende Stoffe konnten bei dem Beton nicht festgestellt werden. Die Wassereindringtiefe lag deutlich unterhalb der in der DIN 1048 [38] geforderten Werte. Bei den Fraktionen 0/2 und 0/4 sind abschlämmbare Anteile < 4 Gew.-% einzuhalten; dies ist in beiden Fällen, wie vorher schon erwähnt, erfüllt.

Baustoffproduktindustrie

Für die Baustoffproduktindustrie kann zusammenfassend festgestellt werden, daß der Einsatz teilweise denkbar ist. Aus bautechnischer Sicht ist der Einsatz als Mauermörtel, Putzmörtel und Mauerstein aus Beton und Leichtbeton denkbar.

Erdarbeiten

Im Bereich des Kanalbaus und Verfüllung von Leitungs- und Kanalgräben ist der Sand aus bautechnischer Sicht einsetzbar. Eine Zuordnung kann als Sand des Nenngrößenbereiches 0/4 erfolgen. Der Sand (SE) ist der Bodenklasse G 1 zuzuordnen und daher durchaus für die Leitungszone laut ATV Arbeitsblatt A 127 [27] verwendbar. Als Untergrund und Unterbau von Straßen und Wegen ist der Sand ebenfalls einsetzbar. Des weiteren ist der vorliegende gewaschene Kläranlagen- und Kanalsand im Hinterfüll- oder Überschüttbereich verwendbar. Als Baustoff für Lärmschutzwälle ist der Sand ebenfalls zu verwenden.

Straßenbau

Der Anteil an Eigenfüllern des Sandes beträgt jeweils < 5,0 Gew.-%. Im Straßenbau ist der Sand einer Klasse 0/2 mit Überkorn von maximal 25% bis 8 mm zuzuordnen. Für die Reinheit des Sandes ist der abschlämmbare Anteil maßgeblich. Dieser darf z.B. für Lieferkörnung 2/0 und 2/5 bei maximal 3,0 Gew.-%, bei den Lieferkörnungen 2/8 bis 5/8 maximal 2,0 Gew.-% liegen. Der hier vorliegende Sand erhält geringe Anteile abschlämmbaren Materials und erfüllt somit auch diese Kriterien. Der Sand ist im Straßenbau als Frostschuttschicht einsetzbar, da es sich um frostsicheren Boden der Frostschutzklasse F 1 handelt. Zur Verfestigung ist der Sand ebenfalls geeignet. Dadurch würde er dauerhaft tragfähig und frostbeständig. Für hydraulisch gebundene Tragschichten aus sandreichen Mineralstoffgemischen kann der Sand ebenfalls verwendet werden.

Deponiebau

Zur Verwendung im Deponiebau kann der Sand prinzipiell verwendet werden, allerdings ist für die einzelnen Schichten die Durchlässigkeit meist entweder zu gering bei einer Schicht mit geforderter hoher Durchlässigkeit oder zu hoch bei einer Schicht für geforderte niedrige Durchlässigkeit.

Bergbau

Prinzipiell ist der Sand auch für die Verfüllung im Bergbau geeignet.

Verwertungsbereiche gemäß hygienischer Parameter

Aus hygienischer Sicht muß für den Arbeiter und die Bevölkerung sichergestellt werden, daß kein unbewußter/bewußter Kontakt mit dem Material möglich ist. Hierzu muß das Material entweder direkt verarbeitet werden oder bei einer Lagerung des Materials (z.B. am Straßenrand) eine ausreichende Sicherung gegen unbeabsichtigten Kontakt (z.B. Umzäunung) vorgesehen werden. Der Arbeiter muß geeignete Schutzbekleidung (Handschuhe, etc.) und bei einer möglichen Aerosolbildung zusätzlich eine Schutzmaske tragen. Besteht Gefahr, daß der nachträgliche Kontakt mit den gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsanden möglich ist, dann muß das Material entseucht werden. Dies dürfte allerdings wegen zu hoher Kosten für eine Verwertung nicht in Betracht kommen.

Die Verwertungswege gemäß Abbildung 5 sind grundsätzlich möglich. Beispielhaft sind sie in der Verwertungslineie der Betonindustrie in Kapitel 10.2 aufgezeigt. Die jeweilige Verwertung bedarf der seuchenhygienischen Überprüfung im Einzelfall.

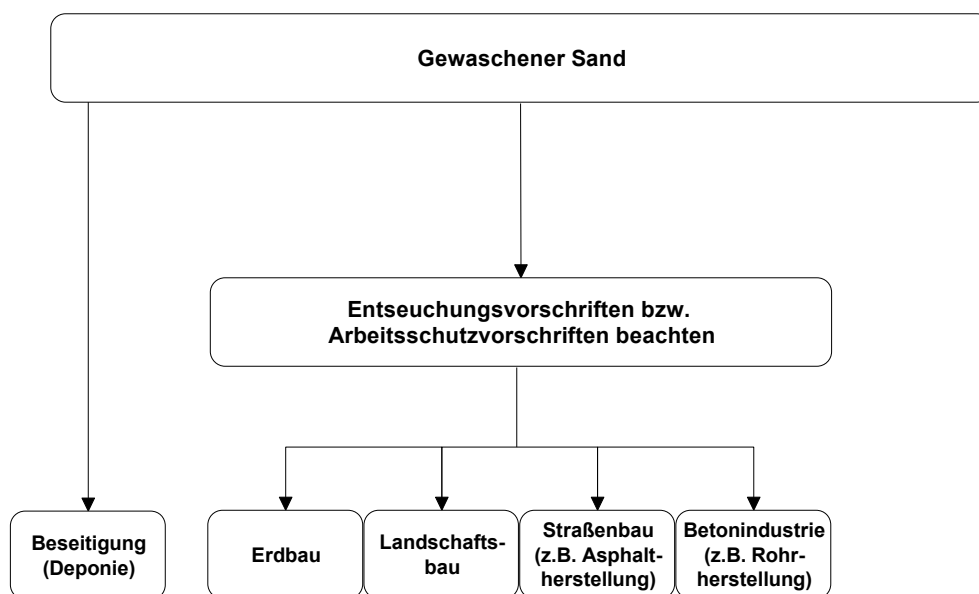


Abbildung 5: Mögliche Verwertungswege

Bedenken gegen den Einsatz in der Bauindustrie wurden vom Hygieneinstitut des Ruhrgebietes nicht geäußert. Als wichtigste Verordnungen aus hygienischer Sicht sind hierzu die Biostoffverordnung [39], das Arbeitsschutzgesetz [40] sowie die jeweils geltenden Gemeindeunfallverordnungen zu nennen.

9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Neben den Verwertbarkeitskriterien aus wasser-/ abfallwirtschaftlicher, hygienischer und bautechnischer Sicht wurde zusätzlich eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (Kostenvergleichsrechnung) anhand der gewonnenen Analysedaten und vorgegebenen Kostenstrukturen durchgeführt. Diese Wirtschaftlichkeitsuntersuchung enthält rein monetäre Bewertungsfaktoren. Sie kann nicht die positiven Effekte einer Verwertung des Materials mit berücksichtigen. Es wurden drei Varianten untersucht.

- Variante 1 (V 1): Kosten ohne Sandaufbereitung (nur Entsorgungskosten)
- Variante 2 (V 2): Kosten mit Sandaufbereitung unter Nutzung von Sandfangwasser
- Variante 3 (V 3): Kosten mit Sandaufbereitung unter reiner Brunnenwassernutzung.

Die Variante 1 ist nach Kostenvergleichsrechnung die teuerste Variante. Die Jahreskosten belaufen sich hier bei 826.500,00 DM pro Jahr. Die nächstteure Variante ist die Variante 3 (nur Brunnenwassernutzung). Mit 651.726,59 DM pro Jahr liegt diese allerdings schon wesentlich unterhalb der Jahreskosten bei reiner Entsorgung der Reststoffe. Die günstigste Variante ist Variante 2, deren Kosten mit Sandaufbereitung unter Abwassernutzung sich auf 629.525,59 DM pro Jahr belaufen. In Tabelle 11 ist der Berechnungsgang abgebildet.

Der reine Jahreskostenvergleich zeigt somit, daß sowohl die Variante mit reiner Brunnenwassernutzung als auch die Variante mit Rezirkulation der Entsorgungsvariante der Reststoffe vorzuziehen ist.

Um rechnerisch den Zeitpunkt zu bestimmen, ab dem die Investitionskosten der Sandwaschanlage im Vergleich zu Variante 1 amortisiert sind, ist der Schnittpunkt der Varianten 2 und 3 mit Variante 1 in Abbildung 6 in einem zeitlichen Rahmen dargestellt.

Tabelle 11: Ausgangswerte, Entsorgungskosten, Investitionskosten

I. Ausgangswerte (Ist-Werte)						
1. Sandfanggut						
Anfallmenge Sandfanggut (nicht entwässert):	8500	[t/a]	(Abfuhrmenge pro Jahr: 5.000 t)			
Trockenrückstand des Sandfanggutes vorher (vgl. Anhang 5-31):	34,69	[%]				
Trockenrückstand des gewaschenen Sandfanggutes (vgl. Anhang 5-83):	79,59	[%]				
Glühverlust des Sandfanggutes vorher (vgl. Anhang 5-28):	42,51	[%]				
Wertstoffmenge bezogen auf die Anfallmenge (ca. 90 % Mineralik < 10 mm):	22,55	[%]	1917	[t/a]		
Reststoffmenge bezogen auf die Anfallmenge (ca. 10 % Mineralik > 10 mm):	21,25	[%]	1806	[t/a]		
2. Kanalsand						
Anfallmenge Kanalsand:	2500	[t/a]				
Trockenrückstand des Kanalsandes vorher (vgl. Anhang 5-31):	77,75	[%]				
Trockenrückstand des gewaschenen Sandes (vgl. Anhang 5-83):	79,21	[%]				
Glühverlust des Kanalsandes vorher (vgl. Anhang 5-28):	4,16	[%]				
Wertstoffmenge bezogen auf die Anfallmenge (ca. 76 % Mineralik > 10 mm):	71,50	[%]	1787	[t/a]		
Reststoffmenge pro gewaschener Anfallmenge (ca. 24 % Mineralik < 10 mm):	25,49	[%]	637	[t/a]		
II. Entsorgungskosten (Ist-Werte)						
1. Entsorgungskosten Sandfanggut (5000 t - Deponierung auf Hausmülldeponie)	110,20	[DM/t]				
2. Entsorgungskosten Kanalsand (Deponierung auf Hausmülldeponie)	110,20	[DM/t]				
3. Entsorgungskosten gesamt:	826.500	[DM/a]				
III. Kosten für die Investition						
Bautechnik (Kanalbau, Tiefbau, Hochbau)	342.854	[DM]				
Maschinentechnik (Sandwaschanlage)	745.008	[DM]				
Durchsatzleistung Sandfanggut	5,00	[t/h]				
Laufzeit Sandfanggut	1700	[h]	8500	[t/a]		
Durchsatzleistung Kanalsand	7,50	[t/h]				
Laufzeit Kanalsand	333,33	[h]	2500	[t/a]		
Anschlußleistung (Rezirkulation mit Abwasser)	29,22	[kW]	Preis pro kWh:	0,20 DM	11.882,80	[DM/a]
Anschlußleistung (Brunnenwasserbetrieb)	18,82	[kW]	Preis pro kWh:	0,20 DM	7.653,47	[DM/a]
Wasserverbrauch (Rezirkulation mit Abwasser)	5,00	[m³/h]	Preis pro m³:	1,00 DM	10.166,67	[DM/a]
Wasserverbrauch (Brunnenwasserbetrieb)	18,00	[m³/h]	Preis pro m³:	1,00 DM	36.600,00	[DM/a]
Personalkosten (je 20 min pro Betriebsstunde der Sandwaschanlage)	0,33	[h]	Preis pro h:	75,00 DM	50.325,00	[DM/a]
Wartung / Verschleißteile bezogen auf die Investsumme	3	[%]				
IV. Verwertungskosten (Soll-Werte)						
Kosten für die Verwertung des gewaschenen Sandes						
Kosten zur Verwertung als Betonzuschlagstoff (Abgabe- u. Transportkosten)	25,00	[DM/t]	92.607 [DM]			
Entsorgung der anfallenden Reststoffe (Rechengut, Verbrennung)	133,40	[DM/t]	325.996 [DM]			
V. Zinssatz, Abschreibungsdauer, Investkosten, Laufende Kosten						
Zinssatz	3	[%]				
Abschreibungszeitraum Bautechnik	33,3	[a]				
Abschreibungszeitraum Elektrotechnik	15	[a]				
Abschreibungszeitraum Maschinentechnik	10	[a]				
Investitionskosten Bautechnik IK (incl. 10% Ingenieurleistung)	377.139	[DM]	377.139 [DM]			
Investitionskosten Elektrotechnik IK (incl. 10% Ingenieurleistung)	245.853	[DM]	245.853 [DM]			
Investitionskosten Maschinentechnik IK (incl. 10% Ing.-Leistung)	573.656	[DM]	573.656 [DM]			
Laufende Kosten (Rezirkulation)	105.010	[DM]				
Laufende Kosten (Brunnenwasserbetr.)	131.444	[DM]				
VI. Jahreskosten/Kapitalgewinnungsfaktor (KFAKR)						
Jahreskosten aus Investition Bautechnik	0,04790	[KFAKR]	18.065 [DM/a]			
Jahreskosten aus Investition Elektrotechnik	0,08377	[KFAKR]	20.594 [DM/a]			
Jahreskosten aus Investition Maschinentechnik	0,11723	[KFAKR]	67.250 [DM/a]			
Jahreskosten aus laufenden Kosten bei Rezirkulation			523.616 [DM/a]			
Jahreskosten aus laufenden Kosten bei Brunnenwasserbetr.			545.817 [DM/a]			
Jahreskosten gesamt für Rezirkulation:				629.526	[DM/a]	
Jahreskosten gesamt für Brunnenwasserbetr.:				651.727	[DM/a]	
VII. Bilanz						
V1 Kosten ohne Sandaufbereitung						
Entsorgungskosten (II./Pkt. 3)	826.500	[DM/a]				
V2 Kosten mit Sandaufbereitung unter Abwassernutzung						
Jahreskosten (Rezirkulation)	629.526	[DM/a]	Pos. Bilanz nach :	3,95	Jahren	
V3 Kosten mit Sandaufbereitung unter Brunnenwasserbetr.						
Jahreskosten (Brunnenwasserbetrieb)	651.727	[DM/a]	Pos. Bilanz nach :	4,26	Jahren	

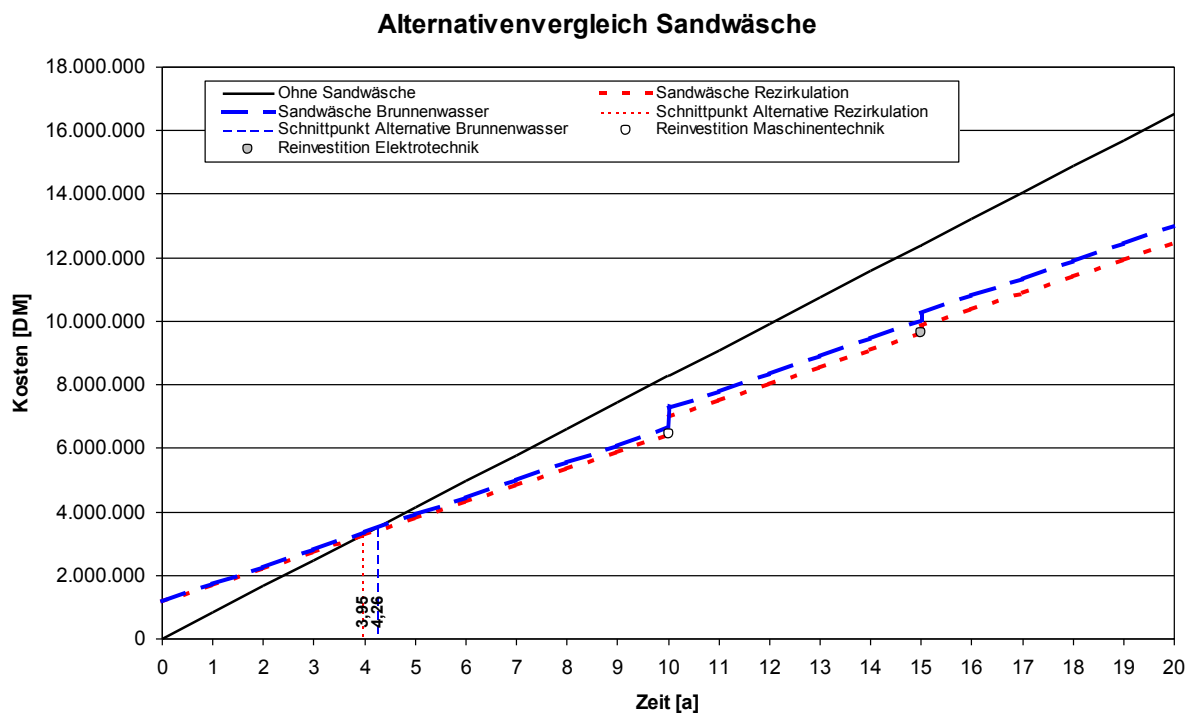


Abbildung 6: Alternativenvergleich Sandwäsche

Es ist deutlich erkennbar, daß sich beide Varianten ca. bei 4 Jahren rechnen. Als Punkte bei 10 und 15 Jahren sind die notwendigen Reinvestitionen von Maschinen- und E-Technik eingezeichnet. Da hier schon eine deutliche Spreizung im oberen Bereich erkennbar ist, wurde die Jahresschiene nicht auf 33,3 Jahre (Reinvestition Bautechnik) ausgedehnt. Nach 20 Jahren ist die Differenz im Minimalfall schon > 3.000.000,00 DM.

Zusätzlich zur Kostenvergleichsrechnung wurde eine Empfindlichkeitsprüfung bei Variation der Entsorgungs- und Verwertungskosten durchgeführt. Es ist deutlich erkennbar, daß sich bei Variation der Entsorgungskosten für die Reststoffe die Verwertung der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande ab einem Entsorgungspreis von 49,77 DM/t bei V 2 (45,38 DM/t bei V 3) rechnet. Bei Variation der Verwertungskosten wird deutlich, daß die Verwertung des Materials sich bis zu einem Verwertungspreis von 72,18 DM/t bei V 3 (78,18 DM/t bei V 2) rechnet.

Insgesamt wird deutlich, daß sich bei beiden Varianten eine Verwertung aus rein monetärer Betrachtungsweise in jedem Fall lohnt. Dies bestätigt zusätzlich die aus nicht monetärer Sichtweise sinnvolle Verwertung der Materialien.

10 Handlungsalternativen und Handlungsvorschlag

10.1 Handlungsalternativen

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Verwertbarkeit (wasser- und abfallwirtschaftliche, bautechnische und hygienische Parameter) der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande können einige Verwertungslinien ausgeschlossen werden. Zu nennen ist hier die asphaltherstellende Industrie. Grund hierfür ist nach Befragung mehrerer Asphaltwerke die sehr schwankende Sieblinie, möglicherweise auch die fehlende Akzeptanz für das Material. Auf Nachfrage bei dem Deutschen Verband der Ziegelindustrie, Bonn, sowie der Steinzeug herstellenden Industrie kann das Material ebenfalls aufgrund der Sieblinie ausgeschlossen werden. Es werden dort Feinsande eingesetzt (Quarzsand).

Andere Verwertungslinien erscheinen unter Beachtung der Hygieneanforderungen möglich. Theoretisch ist dies die Verwendung der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande als Verfüllmaterial im Kanalbau sowie im Erd- und Straßenbau. Auf eine Anfrage bei der Bauindustrie wurde verzichtet, da zum Zeitpunkt des Versuchsablaufs noch keine Bescheide des Hygieneinstituts, nur unzureichende Versuchsergebnisse bezüglich der wasserwirtschaftlichen Parameter und keine ausreichend fundierten Siebanalysen vorlagen. Die Vorabversuche erschienen somit als zu risikoreich.

Für die Verwertungslinie in der Betonindustrie wurde exemplarisch ein Hersteller von Leitungsrohren und Schachtbauteilen in die Versuche einbezogen. Dieser Verwertungsweg wird im folgenden weiter beschrieben.

Einer Beseitigung der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande steht aufgrund des eingehaltenen Glühverlustes < 3% nichts im Wege. Eine dahingehende Versuchsdurchführung ist nicht erforderlich.

10.2 Darstellung des Verwertungsversuches in der Betonindustrie

In einem Verwertungsversuch in Zusammenarbeit mit einem ansässigen Betonwerk wurde die großtechnische Verwertung des Materials erprobt. Es wurden hierzu ca. 10 t gewaschener Sand in einem Container von der Kläranlage am Betonwerk angeliefert und auf einer Lagerfläche zwischengelagert. Der Sand wurde mittels eines Radladers dem Silo, welches das Mischwerk mit der Fraktion 0/2 beschickt, aufgegeben. Aus der Betonmischung wurde ein Schachtbauteil hergestellt.

Weder bei der Beschickung des Mischers, noch bei der Herstellung des Schachtbauteils kamen Arbeiter des Betonwerks in direkten Kontakt mit dem gewaschenen Sand. Um eine hygienische Beurteilung des fertigen Betonteils zu erhalten, wurde eine Probe des hergestellten Schachtbauteils an der Oberfläche abgebrochen und zur seuchenhygienischen Untersuchung dem Hygieneinstitut zur Verfügung gestellt. Die Untersuchungen ergaben, daß bei der Untersuchung der ca. 100 cm² großen Fläche des Schachtbauteils keine Enterobacteriaceae nachgewiesen werden konnten. Ein Befall des Betons mit Bakterien ist laut Hygieneinstitut auszuschließen.

Die anfallende Menge an gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsanden deckt genau den Bedarf des Betonwerkes an Sand dieser Fraktion für die Schachtfertigung.

10.3 Handlungsempfehlung

Zusammenfassend kann für die Verwertung der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande der Stadt Köln unter Berücksichtigung der gewonnenen Daten hinsichtlich wasser-/ abfallwirtschaftlicher, hygienischer, verfahrenstechnischer und bautechnischer Gesichtspunkte festgestellt werden, daß eine Verwertung im Bereich des Betonbaus der Verwertung im Erdbau vorzuziehen ist. Dieser Verwertungsweg trägt insbesondere dem hygienisch bedenklichen Charakter der gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande Rechnung. Bei der Verwendung des Materials im Betonbau kann allein aus der Verfahrenstechnik heraus der Kontakt des gewaschenen Sandes mit Arbeitern weitestgehend vermieden werden und der Sand wird nach Mischung mit Wasser, Zement und Zuschlag entseucht.

Inwieweit, bzw. wann die Entseuchung des gewaschenen Sandes im Verlauf des Hydratisierungsprozesses des Betons einsetzt, sollte noch in Untersuchungen unter Begleitung durch ein Hygieneinstitut belegt werden. Die zu diesem Zweck durchgeführten Untersuchungen, respektive die Untersuchungsergebnisse, sollten hierdurch bestätigt und validiert werden.

Des weiteren ist durch die „Einkapselung“ des Sandkornes durch den Zementleim weitestgehend der Austrag von Schadstoffen (wenn z.B. als Schachtbauteil eingebaut) in das umgebende Erdreich verhindert bzw. ist sogar auszuschließen. Setzt man hier als Vergleich den Erdbau (z.B. als Rohrbettungsmaterial), ist dies leicht nachvollziehbar.

Als weiterer Vorteil ist die geruchsmäßige Einkapselung der gewaschenen Sande in der Zementmatrix als Grund für deren Verwertung im Betonbau anzuführen.

Um eine allgemeine bautechnische Zulassung der Sande als Betonzuschlag nach DIN 4226 [18] zu erlangen und damit die Akzeptanz für das Material für den Abnehmer zu erhöhen, muß im folgenden bei dem Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin, die Zulassung beantragt werden. Dort wird dann nach Sichtung des Berichtes ein Untersuchungsumfang für die gewaschenen Sande festgelegt und über die bautechnische Zulassung entschieden. Die Stadt Köln muß künftig beim laufenden Verwertungsprozeß die Produktqualität überwachen und sicherstellen. Dies gilt insbesondere für die Überwachung der wasser-/ abfallwirtschaftlichen und hygienischen Parameter.

Das IWB kann im Rahmen dieses Forschungsvorhabens lediglich die möglichen Verwertungswege aufzeigen und orientierende Verwertungsversuche durchführen. Das IWB ist jedoch nicht letztlich zuständig bzw. verantwortlich für die fortlaufend zu erbringende Güteüberwachung.

11 Ausblick

Für die Zukunft besteht Untersuchungsbedarf für die gewaschenen Kläranlagen- und Kanalsande bezüglich der Einhaltung der Produktqualität, ggf. auch zur Öffnung weiterer Verwertungswege.

Für die Kläranlage ist denkbar, Fremdsande anzunehmen; hier besteht Untersuchungsbedarf, inwieweit die Sandwaschanlage mit möglicherweise anders zusammengesetzten Sanden zurechtkommt. Des weiteren sollte die Rückführung der Feinorganik in den Kläranlagenkreislauf untersucht werden.

Insgesamt kann resümierend festgestellt werden, daß die Verwertung eines vormals als Abfall zu definierenden Stoffes durch maschinelle Nachbehandlung gelungen ist und somit dem **Gedanken der Verwertung** grundsätzlich Rechnung getragen werden kann.

Literaturverzeichnis

- [1] KrW-/AbfG: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen vom 27. September 1994 (BGBl.IS.2705)
- [2] BestüV AbfV: Verordnung zur Bestimmung von überwachungsbedürftigen Abfällen zur Verwertung (Bestimmungsverordnung überwachungsbedürftige Abfälle zur Verwertung) vom 10.9.1996 , BGBl. I S. 1377
- [3] Zuordnung LAGA-Abfallschlüssel zum Europäischen Abfallkatalog, LAGA-Umsteigekatalog, Stand 18.4.1997, herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Anlageband zu Müll-Handbuch, Erich Schmidt Verlag
- [4] TA Siedlungsabfall: Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, vom 14.05.1993
- [5] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln
- [6] Gem. Rd. Erlaß des Ministeriums für Stadtentwicklung und Verkehr und des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW: 1. Anforderungen an die Verwendung von aufbereiteten Altbaustoffen (Recycling-Baustoffen) und industriellen Nebenprodukten im Erd- und Straßenbau aus wasserwirtschaftlicher Sicht; 2. Güteüberwachung von Baustoffen, Juni 1991, MBl.NW 1991, S.906
- [7] TL Min-StB 2000: Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- [8] FGSV-Arbeitspapier Nr. 28/1: "Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen - Teil: Wasserwirtschaftliche Verträglichkeit", Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe "Mineralstoffe im Straßenbau", Arbeitsausschuß "Umweltverträglichkeit von Mineralstoffen", Ausgabe Oktober 1994
- [9] DAfStb-Richtlinie Beton mit rezykliertem Zuschlag, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton im DIN, Ausgabe August 1998
- [10] Richtlinie Recycling-Baustoffe; Eigenschaften, Anforderungen, Prüfungen und Überwachung, Bundesverband der Deutschen Recycling-Baustoff-Industrie e.V. (BRB), Duisburg 1996
- [11] RG Min-StB 93: Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1993
- [12] TP Min-StB 94: Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1994
- [13] TL Min-StB 94: Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1994

- [14] TL RC-ToB 95: Technische Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1995
- [15] AbfKlärV: Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGBl. 1 1992 S. 912; 1997 S. 446)
- [16] Bioabfallverordnung (BioAbfV): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden, Stand 21.09.1998
- [17] DIN 1045: Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung; Ausgabe Juli 1988
- [18] DIN 4226, Teil 1-4: Zuschlag für Beton, Ausgabe April 1983
- [19] DIN 1053, Teil 1: Mauerwerk-Berechnung und Ausführung, November 1996
- [20] DIN 18550, Teil 1: Putz; Begriffe und Anforderungen, Januar 1985, Teil 2: Putz; Putze aus Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Ausführung, Januar 1985
- [21] DIN 18560, Teil 1: Estriche im Bauwesen; Begriffe, Allgemeine Anforderungen, Prüfung, Mai 1992
- [22] DIN 106, Teil 1: Kalksandsteine, Vollsteine, Lochsteine, Blocksteine, Hohlblocksteine, September 1980, Teil 2: Vormauersteine und Verblender, November 1980
- [23] DIN 18151: Hohlblöcke aus Leichtbeton, September 1987
- [24] DIN 18152: Vollsteine und Vollblöcke aus Leichtbeton, April 1987
- [25] DIN 18153: Mauersteine aus Beton (Normalbeton), September 1989
- [26] EN 1610: 1997 D, Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen, Deutsche Fassung, Europäisches Komitee für Normung, September 1997
- [27] Arbeitsblatt ATV-A 127: Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen, Ausgabe Dezember 1988
- [28] ZTV E-StB 94: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1994/Fassung 1997
- [29] ZTV A-StB 97: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1997
- [30] ZTV-AA K: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Abwasseranlagen in Köln, Stadt Köln, Amt für Stadtentwässerung, 1998
- [31] ZTV Asphalt-StB 94: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1994

- [32] ZTV T-StB 95: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1995
- [33] ZTV Beton-StB 95: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1995
- [34] Gütesicherung RAL-RG 501/1: Recycling-Baustoffe für den Straßenbau, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Ausgabe Februar 1985
- [35] Landesamt für Wasser und Abfall NRW: "Mineralische Deponieabdichtungen", Richtlinie Nr. 18 der Reihe Abfallwirtschaft NRW, August 1993
- [36] DIN 18127: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch, Ausgabe 1997
- [37] DIN 18130, Teil 1: Laborversuche; Baugrund – Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts, Ausgabe 1998
- [38] DIN 1048: Prüfverfahren für Beton; Frischbeton, Ausgabe 1991
- [39] BioStoffV: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung), BGBl, 27.01.1999
- [40] Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit; vom 7. August 1996 (BGBl. I 1996 S. 1246, 1479; 1997 S. 594, 2970; 1998 S. 3849)