

Waschschlamm als Deponiebaustoff – Ein intelligenter Beitrag zur Rohstoffeffizienz und Ressourcenschonung



Einbau von 170.000 t Dichtungsmaterial auf der Deponie Terpe/Deutschland

Dr. Lutz Krakow, Göttingen, Deutschland

Einleitung

Wichtigste Aufgabe des geotechnischen Umweltschutzes ist es, Grundwasser und Erdreich vor dem Eintrag von industriellen

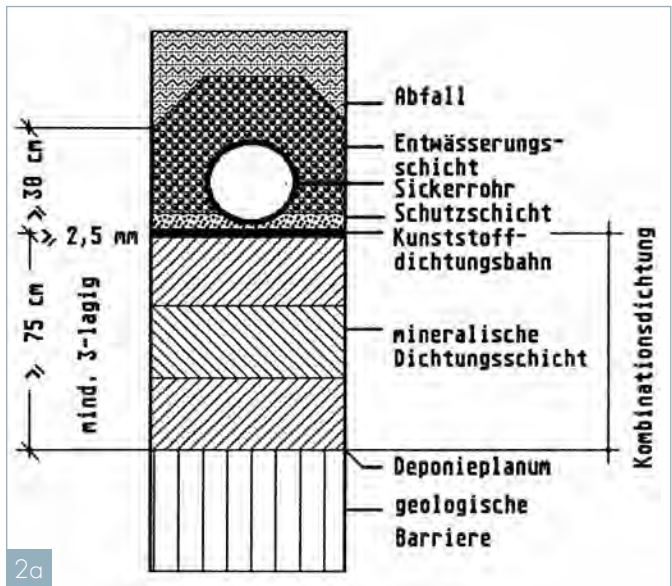
Schadstoffen zu schützen und in bereits verschmutzten Gebieten die Schadstoffausbreitung zu verhindern. Die Aufgaben konzentrieren sich zum einen auf den Neubau von sicheren Abfalldeponien und zum anderen auf die nachträgliche Abdichtung von stillgelegten oder

derzeit noch betriebenen Deponien sowie insbesondere auch auf die Sanierung von ehemaligen Industriestandorten. Während Deponiebau und Altlastensanierung in Westeuropa stark rückläufig sind, ist in Ost- und Südosteuropa von einem hohen Nachholbedarf und einem entsprechend hohen Bedarf an qualifiziertem Dichtungsmaterial auszugehen.

Bei der Herstellung von Basis- und Oberflächenabdichtungen hat sich der Einsatz von tonhaltigen Dichtungsmaterialien als

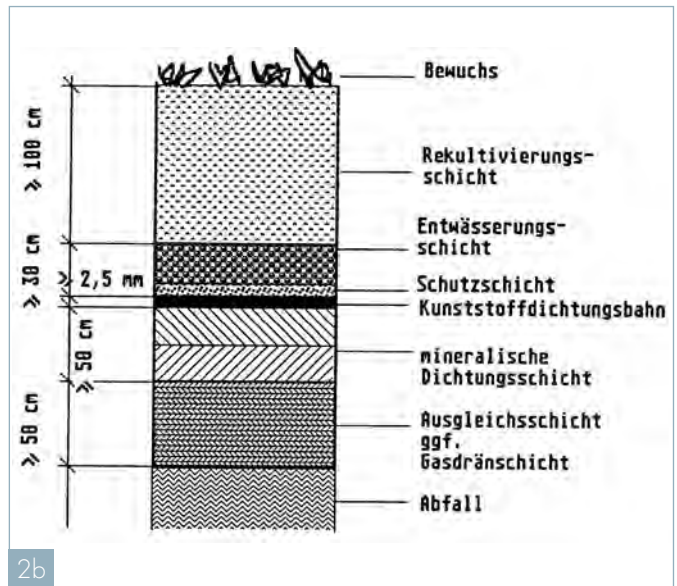


Dr. Lutz Krakow hat an der Georg-August-Universität Göttingen Geologie und Paläontologie studiert. Seit 1992 ist er Geschäftsführer des geotechnischen Tonminerallabors Dr. Krakow RC, das auf die hochqualifizierte Untersuchung und Vermittlung von tonigen Rohstoffen spezialisiert ist. Das international tätige Labor verfügt über erstklassige Referenzen und beste Kontakte. Im Jahr 2002 wurde Dr. Krakow in die Akademie der Geowissenschaften zu Hannover berufen. Aktuell liegt der Schwerpunkt auf dem Vertrieb von Tonen und abgepressten Waschschlämmen für Ziegelindustrie und Deponiebau. Weitere Informationen unter: www.dr-krakow-labor.de



2a

Aufbau von Basisabdichtungssystemen (aus: [3])



2b

Aufbau von Oberflächenabdichtungssystemen (aus: [3])



Visualisierung des weltweiten Tonverbrauchs in 18 Monaten

Tongesteine sowie gemischtkörnige Rohstoffe mit Tonmehl- oder Bentonitvergütung eingesetzt.

Im Zusammenhang mit dem weltweit rasanten Anstieg des Verbrauchs von Energie und Rohstoffen ist Ressourcenschonung zum Megathema unserer Zeit geworden [4]. Die Forderung nach der Schonung natürlicher Ressourcen beschränkt sich dabei nicht nur auf den Verbrauch von Energierohstoffen wie Erdöl und Kohle, sondern umfasst auch den großen Bereich der mineralischen Rohstoffe. Da Tone zur Gruppe der fossilen und nichterneuerbaren Rohstoffe gehören, stellt sich prinzipiell die Frage, inwieweit natürliche Tonressourcen durch Einsatz geeigneter Anfall- oder Sekundärrohstoffe substituiert werden können. Zur Veranschaulichung der Situation: Weltweit werden in nur 18 Monaten rund 630 Mio. t Ton verbraucht [5]. Das entspricht der Länge einer LKW-Kolonne von der Erde bis zum Mond (Bild 3).

unverzichtbar erwiesen [1,2]. Dabei wird der Ton in der Regel in zwei oder drei Lagen mit einer Stärke von jeweils 0,25 m eingebaut (Bild 2a,b). Andere Dichtungsarten wie Kapillarsperren oder polymere Kunststoffdichtungsbahnen können zusätzliche Dichtungselemente darstellen, kommen aber immer nur in Kombination mit der tonmineralischen Dichtung zum Einsatz [3]. Der Grund hierfür liegt im geochemischen Schadstoffrückhaltevermögen, das die Tonminerale neben der ausgesprochen geringen Durchlässigkeit für flüssige Medien auszeichnet. Dieses resultiert vor allem

aus der Fähigkeit zur Kationen-Adsorption und aus dem Fällungsvermögen von Schadstoffen, wie zum Beispiel Schwermetallen. Zu den entscheidenden Alleinstellungsmerkmalen tonmineralischer Dichtungen zählt ferner der so genannte Selbstheilungseffekt, der auf die plastische Verformbarkeit und das Quellvermögen der Tonminerale zurückzuführen ist. Bei der Herstellung von tonmineralischen Abdichtungen kommen in der Regel natürliche Tone mit mittlerer bis ausgeprägter Plastizität zum Einsatz. Untergeordnet werden nach entsprechender Aufbereitung auch diagenetisch verfestigte

Auf der Suche nach potenziell geeigneten Tonersatzstoffen gelangt man nach kurzer Recherche schnell bei Schlämmen aus der Mineralwäsche, die vor allem bei der Aufbereitung von Kies und Sanden, aber auch bei der Wäsche von Festgesteinen in sehr großer Menge anfallen (Bild 4). Petrographisch handelt es sich um eine Ton-Schluff-Matrix, die den größeren Kornfraktionen des Wertgesteins kohäsiiv anhaftet. Verfahrenstechnisch werden auch die Begriffe „abschlammbare Bestandteile“ oder „Feinstbestandteile“ verwandt. Nach [6] wird allein in Mitteleuropa mit einem Anfall von Schlamm aus der Mineralwäsche in einer Größenordnung von 50 Mio. t Trockensubstanz pro Jahr gerechnet. Zusätzlich werden noch rund 150 Mio. m³ Frischwasser gebunden. Die chemisch völlig unbelasteten Mineralschlämme werden derzeit überwiegend noch in unproduktiven Schlammteichen deponiert. Auf Basis dieser Ausgangssituation werden nachfolgend typische Waschschlämme im Hinblick auf ihre stoffliche Zusammensetzung und ihre maßgebenden bodenphysikalischen Eigenschaften charakterisiert. Die grundsätzliche Eigenschaftsbewertung als Dichtungsmaterial erfolgt auf Grundlage der Anforderungen der TA Siedlungsabfall und des Anhangs E der TA Abfall mit Rückgriff auf



Typischer Schlammteich mit rund 1 Mio. t feinsten Minerale

TYP Fraktionen	FEINKAOLIN		FEINTON		FEINMERGEL	
	NO. 4003	NO. 4057	NO. 4049	NO. 4050	NO. 4059	NO. 6150
< 2 μm	35	38	46	35	21	25
2 - 6 μm	12	15	14	20	19	20
6 - 20 μm	15	16	19	27	28	29
20 - 63 μm	17	20	15	15	23	20
63 - 200 μm	16	10	6	2	8	5
200 - 600 μm	5	1	0	1	1	1
600 - 2.000 μm	0	0	0	0	0	0
> 2.000 μm	0	0	0	0	0	0
Summe	100	100	100	100	100	100
< 2 μm	35	38	46	35	21	25
2 - 20 μm	27	31	33	47	47	49
> 20 μm	38	31	21	18	32	26
Summe	100	100	100	100	100	100
Siebrückstand	21	12	6	3	10	6
Medianwert	7 μm	5 μm	3 μm	5 μm	10 μm	7 μm
Größtkorn	0,4 mm	0,2 mm	0,2 mm	0,3 mm	0,3 mm	0,2 mm

Tabelle 1:
Exemplarische
Kornverteilung von
Waschschlamm
(Gew.-%)

TYP Mineralphasen	FEINKAOLIN		FEINTON		FEINMERGEL	
	NO. 4003	NO. 4057	NO. 4049	NO. 4050	NO. 4059	NO. 6150
Tonminerale:	50	50	54	61	11	21
Kaolinit (n)	n.n.	42	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Fireclay (n)	32	n.n.	12	21	n.n.	3
Illit / Glimmer (n)	15	8	25	33	6	11
Illit-Smektit (q)	3	n.n.	5	7	n.n.	2
Smektit (q)	n.n.	n.n.	12	n.n.	3	2
Chlorit (n)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	3
Vermikulit (n)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Tektosilikate:	47	49	42	34	12	8
Quarz	45	49	33	29	10	6
Albit	1	n.n.	4	n.n.	2	1
Kalifeldspat	1	n.n.	5	5	n.n.	1
Karbonate:	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	77	70
Calcit	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	40	70
Dolomit	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	37	n.n.
Siderit	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Oxide:	1	1	1	n.n.	n.n.	n.n.
Hämatit	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Anatas	1	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.
Rutil	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Hydroxide:	2	n.n.	3	4	n.n.	1
Goethit	2	n.n.	3	4	n.n.	1
Limonit	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Lepidokrokit	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Sulfide/Sulfate:	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
Pyrit / Markasit	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Gips	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Jarosit	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.

Tabelle 2:
Exemplarischer
Mineralbestand von
Waschschlamm
(Gew.-%)

q: innerkristallin quellfähig · n: innerkristallin nicht quellfähig · n. n.: nicht nachgewiesen

die in Deutschland üblichen Regelwerke und Normen.

Mineralogische Klassifizierung typischer Waschschlämme

Die stofflich-mineralogische Zusammensetzung der Feinstbestandteile wird grundlegend von den regionalgeologischen Verhältnissen des im Abbau stehenden Hauptminerals bestimmt. Danach können die Feinstbestandteile schematisch in drei große Gruppen, speziell in

Feinkaoline, Feintone und Feinmergel klassifiziert werden. Daneben wird die stoffliche Zusammensetzung aber auch vom Aufbereitungsprozess und insbesondere vom Siebschnitt beeinflusst. Hinsichtlich des Kornaufbaus sind Waschschlämme vor allem durch das Fehlen von Kornanteilen > 0,4 mm charakterisiert. **Tabelle 1** zeigt, dass die Siebrückstände der hier betrachteten Waschschlämme eher gering sind und in Grenzen von 3 bis 21 Gew.-% variieren. Die mittleren Korndurchmesser weisen Schwankungsbreiten im Bereich von 3 bis 10 μm

auf. Der Kornanteil < 2 μm ist in der Regel auf Werte unter 50 Gew.-% begrenzt.

Die Bandbreiten der mineralogischen Zusammensetzung sind in **Tabelle 2** dargestellt. Die Feinkaoline sind durch deutliche Dominanz von innerkristallin nicht-quellfähigen Zweischichtsilikaten der Kaolin-Gruppe sowie von feinkristallinem Quarz gekennzeichnet. Daher lassen sie sich vergleichsweise gut bis auf geringe Restfeuchten entwässern. Untergeordnet treten illitische Glimmer und Goethit sowie Hämatit auf. Feinkaoline sind meistens frei von Karbonaten und Schwefelmineralen. Demgegenüber werden die eigenschaftsprägenden Merkmale der Feintone von illitischen Glimmern verursacht, die in Paragenese mit Fireclay und mit innerkristallin quellfähigen Dreischichtsilikaten der Smektit-Gruppe auftreten. Insbesondere bei Suspensionen mit hohen Smektitanteilen ist die Entwässerung sehr zeitaufwendig und im Ergebnis unbefriedigend. Die erzielbaren Restwassergehalte liegen im Bereich der oberen Akzeptanzgrenze hinsichtlich des Handlings beim Transport und bei der Verarbeitung. Als Nebengemengteile treten vor allem Feldspäte und Goethit auf. Wie **Tabelle 2** weiter zeigt, können Feinstbestandteile aus der Wäsche von Karbonatgesteinen mineralogisch unterschiedlich zusammengesetzt sein. Grundsätzlich ist zwischen calcitischen und calcitisch-dolomitischen Feinmergeln zu differenzieren. Als Nebengemengteile treten Quarz und verschiedene Arten von plastischen Tonmineralen auf, wobei illitische Glimmer dominieren. Mergelschlämme lassen sich vergleichsweise gut bis auf geringe Restfeuchten entwässern.

Grundsätzliche Anforderungen an Dichtungsmaterialien

Mineralische Dichtungsmaterialien müssen eine Reihe von technischen Anforderungen erfüllen, um eine einwandfreie Funktion der Dichtung auf Dauer zu gewährleisten. Nach den Vorgaben der TA Siedlungsabfall und der TA Abfall zählen dazu insbesondere folgende Kriterien (vgl. **Tabelle 3**):

Korngrößenverteilung (DIN 18 123): Die abdichtende Wirkung von mineralischen Dichtungsbaustoffen ist vor allem auf den Gehalt an plättchenförmigen Tonminera-

Tabelle 3: Anforderungen an mineralische Dichtungsmaterialien

Parameter	Labormethode	Anforderung
TA Siedlungsabfall		
Geologische Klassifikation	DIN 4022/18 195	nicht quantifiziert
Feinstkornanteil		
Körnungslinie	DIN 18 123	$d < 2 \mu\text{m} > 20 \text{ Gew.-%}$
Maximale Korngröße		
Aggregatkorngröße	DIN 18 123	$d < 32 \text{ mm}$
Tonmineralanteil		
Mineralogisch	RDA/FTIR	$\Sigma \text{ TM} > 10 \text{ Gew.-%}$
Plastische		
Verformbarkeit */**	visuell	nicht quantifiziert
Optional: *		
Fließgrenze	DIN 18 122	$w_L = 0,35 - 0,50$
Optional: **		
Konsistenzzahl	DIN 18 122	$IC = 0,75 - 1,00$
Glühverlust		
Organische Substanz	DIN 18 128	$V_{gl} < 5 \text{ Gew.-%}$
Alternativ:		
Organische Substanz	DIN ISO 10 694	$TOC < 5 \text{ Gew.-%}$
Scheibler-Wert		
Karbonatanteil	DIN 18 129	$VCa < 15 \text{ Gew.-%}$
Verdichtung		
Eingebauter Zustand	DIN 18 127	$D_{pr} > 95 \%$
Wassergehalt		
Eingebauter Zustand	DIN 18 121	$w_{Pr} < w < w (0,95)$
Natürlicher		
Wassergehalt	DIN 18 121	nicht quantifiziert
Durchlässigkeit		
Oberflächendichtung	DIN 18 130 L08	$k < 5,0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$
Durchlässigkeit		
Basisdichtung	DIN 18 130 L08	$k < 5,0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$
Durchlässigkeit		
Sonderabfalldeponien	DIN 18 130 L08	$k < 1,0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$
Standssicherheit		
Scherfestigkeit	DIN 18 137	baustellenspezifisch

len zurückzuführen. Es handelt sich dabei um wasserhaltige Aluminium-Schichtsilikate mit einer Korngröße $d < 2 \mu\text{m}$ und hoher spezifischer Oberfläche. Zur Erzielung der erforderlichen hydraulischen Dichtwirkung sollte der Feinstkornanteil des Dichtungsmaterials mindestens $d < 2 \mu\text{m} = 20 \text{ Gew.-%}$ betragen. Der maximal zulässige Korndurchmesser ist auf $d = 32 \text{ mm}$ beschränkt. Materialien mit Grobkies und Steinen, Holz, Wurzeln und anderen Fremdstoffen dürfen nicht verwendet werden. Die Kornabstufung des Dichtungsmaterials ist so zu wählen, dass die mechanische Stabilität der Dichtung sicher gewährleistet ist. Dies betrifft vor allem die Erosions- und Suffosionsbeständigkeit.

Anteil und Art der Tonminerale (RDA/FTIR): Um eine ausreichend hohe Dichtwirkung zu erzielen muss der Anteil der Tonminerale lediglich $\sum \text{TM} = 10 \text{ Gew.-%}$ betragen. Das setzt natürlich voraus, dass die Tonminerale homogen im Dichtungsmaterial verteilt sind und eine effiziente Ausfüllung feinsten Poren mit Tonmineralen gewährleistet ist. Hinsichtlich der Art der Tonminerale gibt es dagegen keine pauschalen Vorgaben. Vielmehr sollte das Dichtungsmaterial individuell nach der primären Funktion der Dichtungsschicht ausgewählt werden. Sofern eine Abdichtungsfunktion mit hoher Langzeitstabilität gefordert ist, sind bevorzugt kaolinitisch-illitische Abdichtungsmaterialien ohne innerkristallin quellfähige Tonminerale zu verwenden. Soll dagegen die hydraulische Abdichtungsfunktion mit einem hohen Schadstoffrückhaltevermögen kombiniert werden, sind bevorzugt smektitische Materialien mit einem möglichst hohen Anteil an innerkristallin quellfähigen Tonmineralen einzusetzen.

Plastizität und Konsistenz (DIN 18 122): Um etwaige Setzungen im Untergrund oder im Falle von Oberflächenabdichtungen des Deponiekörpers auszugleichen, muss das Dichtungsmaterial plastisch verformbar sein. Optional wird baustellenspezifisch eine mittlere Plastizität (Fließgrenze $w_L = 35 - 50 \text{ Gew.-%}$ nach DIN 18 122) und steife Konsistenz (Konsistenzzahl $IC = 0,75 - 1,00$ nach DIN 18 122) gefordert.

Organische Bestandteile (DIN 18 128): Zur Gewährleistung der erforderlichen Standsicherheit darf der Glühverlust maximal $V_{gl} = 5,0 \text{ Gew.-%}$ betragen. In



Filterkuchen mit idealer Konsistenz im Kieswerk Untschen/Deutschland

Dichtungsmaterialien mit hohem Kristallwasseranteil ist alternativ eine adäquate Methode zur Bestimmung des Anteils an organisch gebundenem Kohlenstoff zu wählen (TOC-Wert).

Karbonatanteil (DIN 18 129): Im Interesse einer möglichst hohen chemischen Stabilität und zum Schutz vor Auslaugungsvorgängen durch saure Wässer sollen Abdichtungsmaterialien nur einen begrenzten Karbonatanteil von maximal $VCa = 15,0 \text{ Gew.-%}$ aufweisen.

Proctordichte und Einbaukriterien (DIN 18 127): Die wichtigsten Einbaukriterien für alle Dichtungsmaterialien sind die Dichte und der Wassergehalt. Die erzielbare Dichte ist für jedes Dichtungsmaterial unterschiedlich und wird als Funktion des Wassergehaltes im Proctorversuch nach DIN 18 127 bestimmt. In Verbindung mit Durchlässigkeitsversuchen werden der für den Einbau erforderliche Verdichtungsgrad und der Einbauwassergehalt ermittelt. Als Mindestwert wird jedoch ein Verdichtungsgrad von $w_{PR} > 95 \text{ %}$ zugrunde gelegt. Der Einbau hat in der Regel auf dem „nassen Ast“ der Proctorkurve zu erfolgen.

Natürlicher Wassergehalt (DIN 18 121): Der natürliche Wassergehalt unterliegt als variable Zustandsgröße witterungs-

bedingten und jahreszeitlichen Schwankungen. Der Wassergehalt sollte sich möglichst im Bereich des festgelegten Einbauwassergehaltes der Proctorkurve bewegen, um eine ordnungsgemäße Verdichtungsfähigkeit sicher zu gewährleisten. Technische Einstellungen des Wassergehaltes (Abtrocknung oder Befeuchtung) sind in der Regel sehr zeit- und kostenintensiv und schränken die Verwendungsfähigkeit eines Dichtungsmaterials erheblich ein.

Durchlässigkeitsbeiwert (DIN 18 130): Im Standardversuch ist die Wasserdurchlässigkeit des Dichtungsmaterials gemäß den Vorgaben der DIN 18 130 in der triaxialen Durchlässigkeitsanlage zu ermitteln. Bei konstantem hydraulischen Gefälle von $i = 30$ ist dabei für mineralische Oberflächenabdichtungen ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k < 1,0 \times 10^9 \text{ m/s}$ und für Basisabdichtungen ein Wert von $k < 5,0 \times 10^{10} \text{ m/s}$ zu erreichen. Bei Sonderabfällen darf ein Wert von $k < 1,0 \times 10^{10} \text{ m/s}$ nicht überschritten werden. Die Prüfkörper müssen im proctorverdichteten Zustand, d. h. mit den jeweils geforderten Verdichtungsgraden und Einbauwassergehalten getestet werden.

Scherfestigkeit (DIN 18 137): Zur Beurteilung des Verformungsverhaltens bei Auflast und an Böschungen ist die Scher-

festigkeit des Dichtungsmaterials zu ermitteln. Die Prüfung erfolgt ebenfalls im proctorverdichteten Zustand. Die Untersuchungsergebnisse werden im Rahmen eines gesonderten, baustellenspezifischen Standsicherheitsnachweises von einem externen Prüfstatiker individuell beurteilt. Daher existieren für die Scherparameter Reibungswinkel und Kohäsion keine pauschalen Richtwerte. Das gleiche gilt auch für das Quellverhalten und das Spannungs-Verformungs-Verhalten im Kompressionsversuch.

Geotechnische Nachweise

Eignungsvorprüfung: Um erste Hinweise auf die grundsätzliche Eignung des Dichtungsmaterials zu erhalten, wird an einer begrenzten Anzahl von Proben eine Vorprüfung durchgeführt. Dabei werden im Labor die maßgebenden bodenphysikalischen und mineralogischen Kennziffern ermittelt. Als Grundlage für die technische Anwendung werden auch die Einbaukriterien geprüft. Die Ergebnisse der Prüfungen werden in einem Gutachten dokumentiert. Das Gutachten stellt im Vorfeld von Ausschreibungen und Bauvorhaben den ersten Schritt zur Vermarktung des Dichtungsmaterials dar. Die Kosten für die Eignungsvorprüfung werden üblicherweise vom Rohstofflieferanten übernommen.

Eignungsprüfung mit Lagerstättennachweis: Im Rahmen der eigentlichen Eignungsprüfung muss das vorgesehene Dichtungsmaterial repräsentativ beprobt werden. Dazu sind an einer ausreichenden Zahl von Aufschlüssen, wie z. B. Bohrungen oder Baggerschürftgruben Schlitzproben der Güteklassen 1–3 nach DIN 4021 zu entnehmen und im Labor auf die maßgebenden Parameter zu untersuchen. Die Untersuchungen müssen eine einwandfreie Bewertung des Rohstoffs gewährleisten, sowie Aussagen zur Bandbreite der Materialzusammensetzung und der zu erwartenden Einbaukriterien gestatten. Die Eignungsprüfung muss im Sinne eines Mengen- und Lagerstättennachweises ausgelegt sein und konkrete technische Empfehlungen zur Materialgewinnung und zur nachfolgenden Herstellung des Versuchsfeldbaus beinhalten. Im Rahmen konkreter Bauvorhaben hat das Gutachten den Stellenwert eines verbindlichen Vertragsbestandteils. Die Kosten für die Eignungsprüfung mit Lagerstättennachweis sind in der Regel von der bauausführenden Firma oder vom Bauherrn zu tragen.

Versuchsfeld: Nach offizieller Anerkennung der Eignungsprüfung durch die beteiligten Fachprüfer und Fachbehörden muss die Herstellbarkeit der mineralischen Abdichtung unter konkreten baustellenspezifischen Bedingungen nachgewiesen werden. Dazu ist auf der Baustelle ein Versuchsfeld nach Vorgaben der TA Siedlungsabfall herzustellen und zu beproben. Im Ergebnis resultieren konkrete Einbauanweisungen vor allem hinsichtlich der Art der Vorbehandlung des Dichtungsmaterials, der Verdichtungsmethode, der Verdichtungsgeräte und der Anzahl der Verdichtungsübergänge. Die Ergebnisse des Versuchsfeldbaus sind in einem Gutachten zu dokumentieren, welches im Rahmen des Qualitätssicherungsplans ebenfalls zum verbindlichen Vertragsbestandteil wird. Erst nach offizieller Abnahme des Versuchsfeldes durch die zuständige Fachbehörde kann mit dem eigentlichen Dichtungsbau begonnen werden. Die Kosten für die Überwachung des Versuchsfeldbaus sind von der bauausführenden Firma (Eigenkontrolle) und vom Bauherrn (Fremdprüfung) zu tragen.

Eignung von Waschschlämmen als Dichtungsmaterial

KO-Kriterien: In exemplarischen Vorversuchen sind unterschiedliche Typen von Waschschlämmen im Hinblick auf ihre grundsätzliche Verwendungsfähigkeit als mineralisches Dichtungsmaterial für die Abdichtung von Deponien untersucht worden. Dabei haben sich erwartungsgemäß der Wassergehalt und die davon unmittelbar abhängige Konsistenz des Materials als KO-Kriterien herausgestellt. Um eine fachgerechte Verdichtung und Standfestigkeit des Dichtungsmaterials zu gewährleisten, muss sich der Wassergehalt des Waschschlammes im Bereich des optimalen Wassergehaltes der Proctorkurve befinden. Im Interesse eines reibungslosen und zügigen Bauablaufs können auf der Baustelle allenfalls noch begrenzte Nachjustierungen des Wassergehaltes im Bereich von maximal ungefähr 5 Gew.-% erfolgen. Wesentlich ist ferner, dass die Wassermoleküle mehr oder weniger gleichmäßig im Gefüge verteilt sind und dass das Material einen möglichst homogenen Wassergehalt sowie eine gleichmäßige Konsistenz zeigt. Die Konsistenz sollte im steifen Konsistenzbereich nach DIN 18 122 liegen. Hieraus folgt, dass die Waschschlämme im Vorfeld etwaiger Bauvorhaben ausreichend und homogen entwässert sein müssen. Eine Möglichkeit stellt dabei die Entwässerung über Kammerfilterpressen (Bild 5) und die Herstellung von Filterkuchen dar [7]. Ferner kann eine Konditionierung mit stabilisierenden Zusätzen wie zum Beispiel Tonmehl, Aschen oder

Eignung von Waschschlämmen als Dichtungsmaterial

6

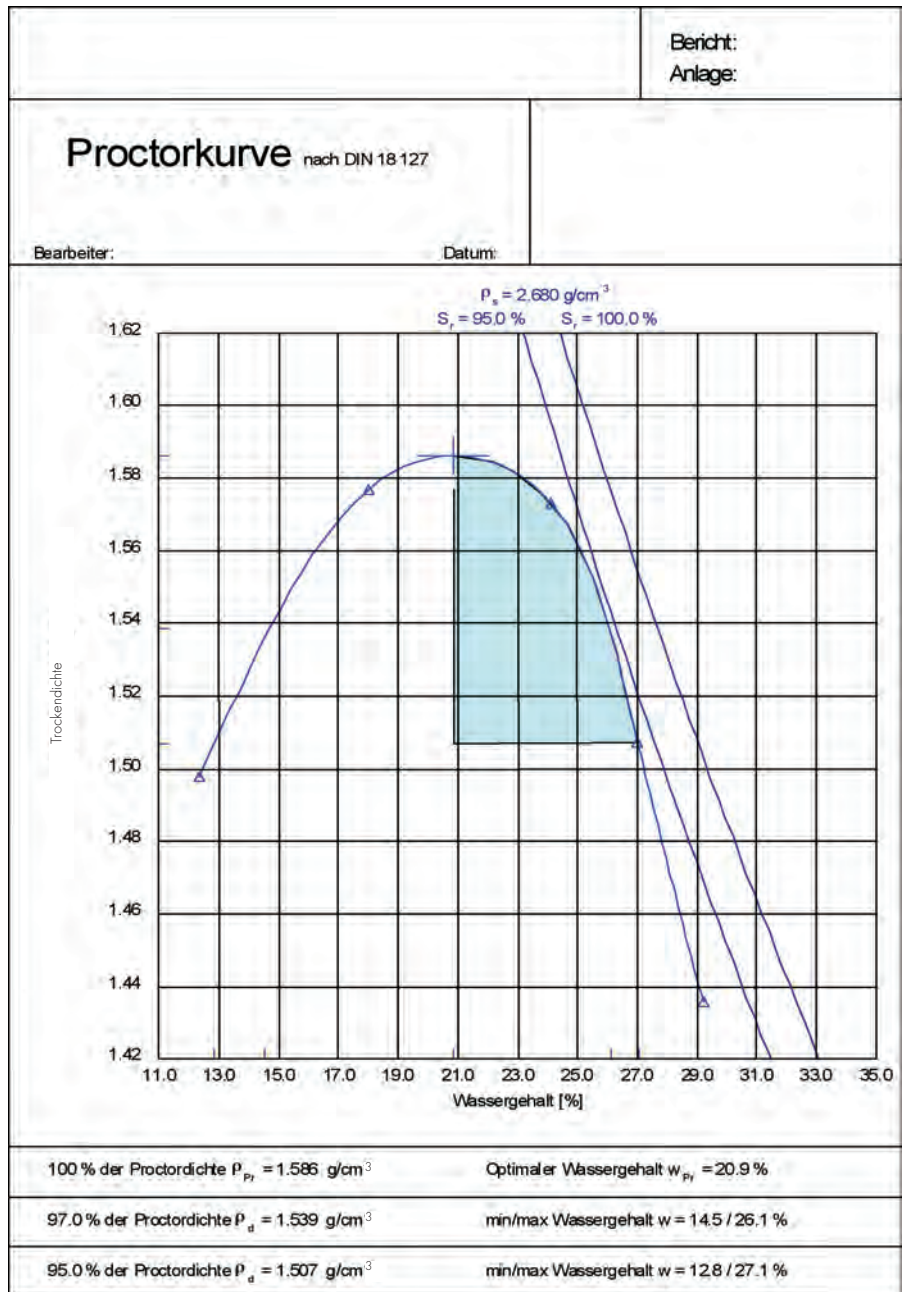


Bilderbuch-Trockenrisse auf einem abgetrockneten Schlammteich

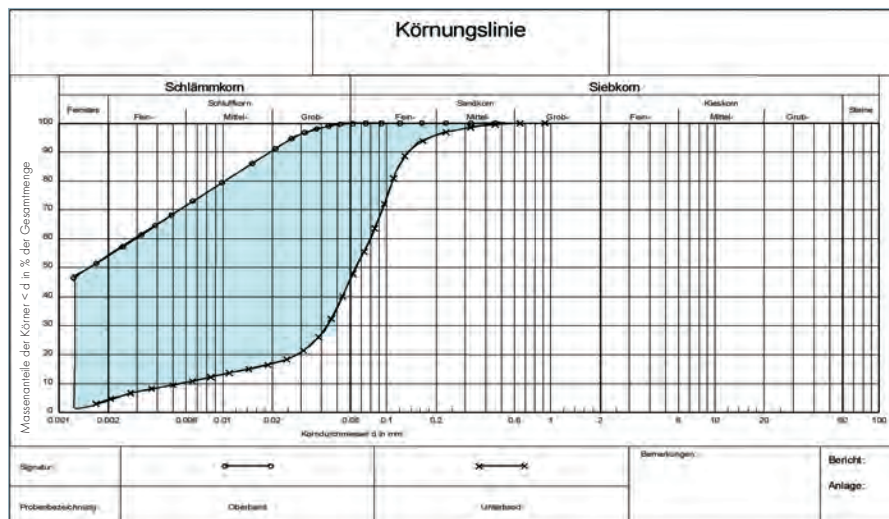
anderen Additiven in Betracht gezogen werden. Aber auch eine rein gravitative Entwässerung kann ausreichend sein (Bild 6). Erst wenn abzusehen ist, dass diese Voraussetzungen erfüllt sind oder mit vertretbarem Aufwand erfüllt werden können, gewinnen die übrigen Eignungskriterien an Praxisrelevanz. Das sind vor allem:

Korngrößenverteilung: Exemplarische Untersuchungen an unterschiedlichsten Waschschlammungen zeigen, dass der Feinstkornanteil in weiten Grenzen von $d < 2 \mu\text{m} = 4 - 54 \text{ Gew.}\%$ variiert und die gestellten Anforderungen damit nur von einem Teil der Proben erreicht werden. Hinsichtlich der maximal zulässigen Korngröße von $d < 32 \text{ mm}$ ergeben sich bei den hier geprüften Proben dagegen keine Einschränkungen. Das Größtkorn liegt deutlich unterhalb des maximal zulässigen Richtwertes (Bild 7).

Anteil und Art der Tonminerale: Der geforderte Tonmineralanteil wird von allen Proben erreicht. Besonders große Sicherheitsreserven werden bei den Feinkaoilinen und Feintonen mit Werten von $\Sigma \text{ TM} = 50 - 61 \text{ Gew.}\%$ analysiert. Bei den Feinmergeln ist der Tonmineralanteil zu Gunsten entsprechender Karbonatminerale deutlich geringer, bis hinab in den Bereich des geforderten Richtwertes von $\Sigma \text{ TM} = 10 \text{ Gew.}\%$. Bei den Feinkaoilinen und Feintonen dominieren kaolinisch-illitische Phasen; bei den Feinmergeln treten vor allem illitische Glimmer auf. **Plastizität und Konsistenz:** Die Plastizität der untersuchten Waschschlämme unter-

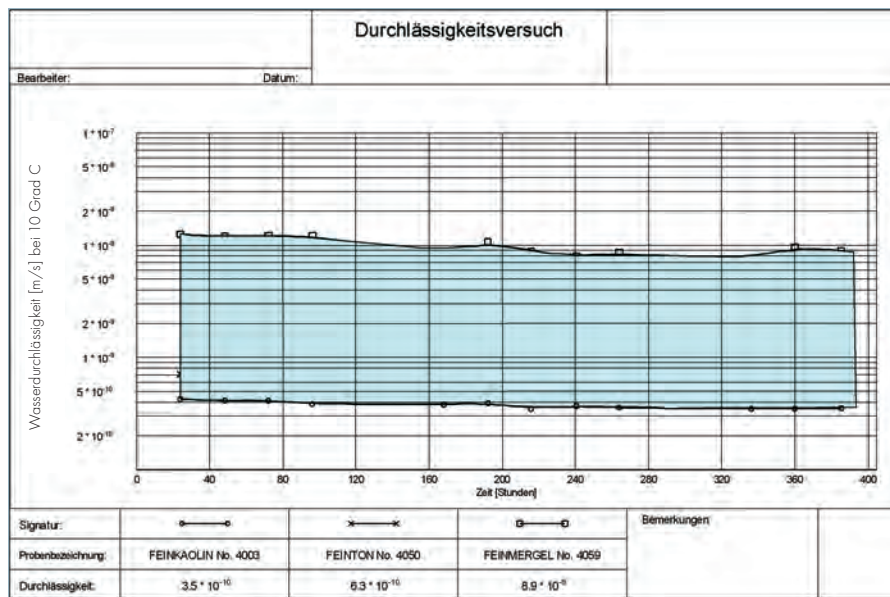


8 Proctorkurve und Einbaubereich des Feinkaoilins 4003 nach DIN 18 127



7 Körnungsbandbreite typischer Waschschlämme nach DIN 18 123

liegt erwartungsgemäß großen Schwankungen. So variiert der Wassergehalt der Fließgrenze im Bereich von $w_L = 29,0 - 66,9 \text{ Gew.}\%$. Die Plastizitätszahlen schwanken von $IP = 6,8 - 34,1 \text{ Gew.}\%$, wobei die Plastizität in der Reihe von Feinmergel (UL) über Feinkaoilin (TM) bis zu Feinton (UA) deutlich zunimmt. Entsprechend wird eine Bandbreite von leichter über mittlerer bis ausgeprägter Plastizität abgedeckt. Die von Plastizitätszahl und Wassergehalt bestimmten Konsistenzzahlen schwanken im Bereich von $IC = 0,41 - 1,02$. Während Feinkaoilin und Feinton günstige Konsistenz im steifen bis halbfesten Be-



reich aufweisen, liegen Feinmergel häufig im weichen bis breiigen Konsistenzbereich, womit eine fachgerechte Verdichtung ohne vorausgehende Abtrocknung oder Verfestigung unmöglich ist.

Organische Bestandteile und Karbonatgehalt: Die organischen Bestandteile der untersuchten Waschschlämme liegen mit Werten von TOC = 0,12 - 0,87 deutlich unterhalb des zulässigen Richtwertes, sodass sich diesbezüglich keine Einschränkungen ergeben. Hinsichtlich des Karbonatgehaltes ergeben sich Variationen von 0,0 - 73,4 Gew.-%. Nach den hier zugrunde gelegten Vorgaben der TA Siedlungsabfall sind Feinmergel mit Karbonatgehalten > 15 Gew.-% auszuschließen.

Proctordichte und Einbauwassergehalt: Wie Bild 8 exemplarisch zeigt, sind ins-

♀ Durchlässigkeitsrange typischer Waschschlämme nach DIN 18 130 L08

Tabelle 4: Exemplarische Eignungsbewertung von Waschschlämmen

Parameter	Richtwert	FEINKAOLIN NO. 4003	FEINTON NO. 4050	FEINMERGEL NO. 4059
Geologische Klassifikation	nicht quantifiziert	TM / U, t, s	UA / U, t, s'	ST / U, t, s'
Feinstkornanteil				
Körnungslinie	$< 2 \mu\text{m} \geq 20 \text{ Gew.-%}$	33 Gew.-%	28 Gew.-%	21 Gew.-%
Maximale Korngröße				
Aggregatkorngröße	D < 32 mm	0,4 mm	0,3 mm	0,3 mm
Tonmineralanteil				
Mineralogisch	$\sum \text{TM} \geq 10 \text{ Gew.-%}$	50 Gew.-%	61 Gew.-%	21 Gew.-%
Optional: *				
Fließgrenze	wL = 0,35 - 0,50	40,4 Gew.-%	66,9 Gew.-%	29,0 Gew.-%
Optional: **				
Konsistenzzahl	IC = 0,75 - 1,00	0,93	1,39	0,41
Glühverlust				
Organische Substanz	Vgl $\leq 5,0 \text{ Gew.-%}$	6,1 Gew.-%	5,0 Gew.-%	4,5 Gew.-%
Alternativ:				
Organische Substanz	TOC $\leq 5,0 \text{ Gew.-%}$	0,12 Gew.-%	0,38 Gew.-%	0,87 Gew.-%
Scheibler-Wert				
Karbonatanteil	VCa $\geq 15 \text{ Gew.-%}$	0,3 Gew.-%	0,0 Gew.-%	73,4 Gew.-%
Verdichtung				
Eingebauter Zustand	Dpr > 95 %	Dpr = 1,586 g/cm ³	Dpr = 1,504 g/cm ³	Dpr = 1,641 g/cm ³
Wassergehalt				
Eingebauter Zustand	wPr < w < w (0,95)	20,9 - 27,1 Gew.-%	20,5 - 30,6 Gew.-%	18,2 - 22,3 Gew.-%
Natürlicher Wassergehalt	nicht quantifiziert	25,3 Gew.-%	19,5 Gew.-%	26,2 Gew.-%
Durchlässigkeit				
Oberflächendichtung	$k < 5,0 \times 10^{-9} \text{ m/s}$			
Durchlässigkeit				
Basisdichtung	$k < 5,0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	$3,5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	$2,3 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	$8,9 \times 10^{-9} \text{ m/s}$
Durchlässigkeit				
Sonderabfalldeponien	$k < 1,0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$			

besondere kaolinitische Feinstbestandteile aus der Mineralwäsche nach entsprechender Entwässerung gut verdichtungsfähig und über eine ausgesprochen weite Bandbreite mit Wassergehalten von 20,9 – 27,1 Gew.-% einbaufähig. Die zugehörigen Dichten liegen im Bereich von 1,507 – 1,586 g/cm³. Deutlich enger ist der Einbaubereich bei Feinmergeln wie zum Beispiel bei Probe No. 4059 aus **Tabelle 4**. Hier liegt der zulässige Einbauwassergehalt im Bereich von 18,2 – 22,3 Gew.-%. Wie bei allen natürlichen Tonen sind die Proctorgößen und Einbaukennwerte bei jedem Material unterschiedlich und deshalb im Rahmen der Eignungsprüfung und des Versuchsfeldbaus individuell zu ermitteln.

Durchlässigkeitsbeiwert: Die Durchlässigkeitsbeiwerte der hier untersuchten Proben liegen im Bereich von $2,3 \times 10^{-10}$ bis $8,9 \times 10^{-9}$ m/s. Die Durchlässigkeitsbeiwerte der Feinkaoline und Feintonen liegen unterhalb von $5,0 \times 10^{-10}$ m/s sodass nicht nur Oberflächenabdichtungen sondern auch Basisabdichtungen gemäß den Deponieklassen I und II nach TA Siedlungsabfall hergestellt werden können. Feinmergel liegen je nach Karbonatgehalt spürbar höher, wobei zum Teil auch die Anforderungen für die Herstellung von Oberflächenabdichtungen nicht erfüllt werden können. Die

Anforderungen für die Herstellung von Sonderabfalldeponien werden von den hier untersuchten Proben (ohne Tonmehl- oder Bentonitvergütung) nicht erfüllt (**Bild 9**).

Schlussbemerkungen

Fazit und Chancen: Bei richtiger Einstellung von Wassergehalt und Konsistenz können feinteilige Rückstände aus der Mineralwäsche sehr gut zur Herstellung von mineralischen Abdichtungen gemäß der Deponieklassen I und II nach TA Siedlungsabfall geeignet sein. Gegenüber Feinmergeln, die häufig einen zu hohen Karbonatgehalt und Durchlässigkeitsbeiwert besitzen, sind Feinkaoline und Feintone aus der Sand- und Kieswäsche deutlich prädestiniert, zumal die plastischen Eigenschaften besser ausgeprägt sind. Im Ergebnis dieser exemplarischen Versuchsreihen ist damit festzustellen, dass natürliche Abdichtungstone nach entsprechender Eignungsprüfung durch feinteilige Rückstände aus der Mineralwäsche von Steinen und Erden substituiert werden können. Der Einsatz von Feinstbestandteilen der Mineralwäsche minimiert die gesamte Schlammteich- und Flächenproblematik und stellt darüber hinaus einen intelligenten Beitrag zur Erhöhung der Rohstoffeffizienz und Ressourcenschonung dar. Wertvolle

natürliche Tonressourcen können geschont und für höherwertige Anwendungen reserviert werden.

Weitere Informationen:



Dr. Krakow RohstoffConsult
Dr. Lutz Krakow
Labor Göttingen
Hans-Böckler-Straße 2
37079 Göttingen, Deutschland
F +49 551 5 04 55-31
F +49 551 5 04 55-50
krakow@rohstoffconsult.de
www.dr.krakow-labor.de

Literatur:

- [1] Stief, K. (1986):
Das Multibarrierenkonzept als Grundlage von Planung, Bau, Betrieb und Nachsorge von Deponien. – Müll und Abfall, 18, 1, S. 15 – 20
- [2] Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau (1993):
Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“. – Hrsg. Dt. Ges. für Erd- und Grundbau e. V., Verlag Ernst und Sohn, S., Berlin.
- [3] TA Siedlungsabfall (1993):
Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. – Bundesanzeiger Verlagsges. mbH, 117 S., Köln.
- [4] Umweltbundesamt, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Destatis (2007):
Umweltdaten Deutschland – Nachhaltig wirtschaften – Natürliche Ressourcen und Umwelt schonen. – Broschüre Ausgabe 2007 Hrsg.: Umweltbundesamt, 120 S., Dessau.
- [5] Lüttig, G. (2007):
Die (neue) Rohstoffschlange – Instrument für die Verständlichmachung der sozioökonomischen Bedeutung der mineralischen Rohstoffe. – World of Mining – Surface & Underground, S. 50 – 53, H 1 (2007).
- [6] Pflug, R. (2001):
Wohin mit dem Schlamm? Möglichkeiten der wirtschaftlichen Verwertung von Mineralschlämmen. – Steinbruch und Sandgrube 94, 6, S. 6 – 7.
- [7] Krakow, L. (2003):
Herstellung und Einsatz tonmineralischer Filterkuchen in der Ziegelindustrie - Bauverlag, Ziegelindustrie International 07/03, S. 34 – 40.