

E 3-12 Eignungsprüfung mineralischer Entwässerungsschichten

Juni 2024

Inhalt

1	Allgemeines	1
2	Probennahme und Probenaufbereitung	2
3	Durchzuführende Versuche	3
3.1	Petrographische Beschreibung und stoffliche Kennzeichnung	3
3.2	Korngrößenverteilung und Anteil abschlämmbarer Bestandteile	3
3.3	Rohdichte	5
3.4	Kornform	5
3.5	Organische Bestandteile	6
3.6	Gesamtcarbonatgehalt	6
3.6.1	Allgemeines	6
3.6.2	Probenvorbereitung	6
3.6.3	Gesamtcarbonatgehalt	7
3.7	Sonstige Nachweise der chemischen Beständigkeit	7
3.8	Wasserdurchlässigkeit	8
3.9	Kornfestigkeit unter dynamischen Einwirkungen	9
3.9.1	Kornzertrümmerungsversuch	9
3.9.2	Kornzertrümmerungsgrad	9
3.9.3	Geräte	9
3.9.4	Versuchsdurchführung	9
3.9.5	Auswertung	10
3.10	Nachweis der Kornfestigkeit im Probefeld	11
3.11	Kornzertrümmerung unter hoher statischer Last	11
3.12	Scherfestigkeit	12
3.13	Frost-Tauwechsel	13
3.14	Prüfung der Umweltverträglichkeit	13
	Literatur	13
	Regelwerke	14

1 Allgemeines

Die Entwässerungssysteme in Deponien sind Bestandteile der Abdichtungssysteme. Die vorliegende Empfehlung gilt sowohl für Basis- als auch für Oberflächenentwässerungssysteme aus mineralischen Baustoffen (siehe E 2-14 bzw. E 2-20).

Die Ableitung des Wassers in der Ebene der Entwässerungsschichten wird als Dränung bezeichnet.

Zur Verhinderung von Erosions- und Kolmationserscheinungen werden, soweit erforderlich, kornabgestufte mineralische oder geotextile Filter angeordnet.

Die für Entwässerungsschichten verwendeten mineralischen Baustoffe können natürlichen Vorkommen entstammen (Kies, Splitt, gebrochenes Festgestein), sie können in industriellen Prozessen (z.B. Schlacken) entstanden sein oder als Recyclingmaterial durch Aufbereitung von zuvor als Baustoff eingesetzten anorganischen Materialien gewonnen werden.

Ihre Eignung für den Einsatz in Entwässerungssystemen ist in jedem Anwendungsfall nachzuweisen. Die Ergebnisse der Eignungsprüfung sind als Richtwerte für die Prüfungen im Zuge des Qualitätsmanagements nach E 5-6 zu verwenden, sie können auch zur Optimierung der Anforderungen an Lieferung, Einbau und Beanspruchung im Einbauzustand verwendet werden.

Bei der Auswahl der Normen für Untersuchung der mineralischen Baustoffe hinsichtlich ihrer bautechnischen Eigenschaften wird unter Berücksichtigung der aktuellen Normentwicklung auf die Normengruppen der Technischen Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TP GESTEIN STB, 2008/2022) und der Geotechnik abgestellt.

Bei der Prüfung der Umweltverträglichkeit der mineralischen Baustoffe sind die Vorgaben der Anlage 4 der DEPONIEVERORDNUNG (DEPV) anzuwenden.

2 Probennahme und Probenaufbereitung

Da die für Entwässerungsschichten als Drän- und Filtermaterial verwendeten mineralischen Baustoffe zum Entmischen neigen, ist der Probenahme besondere Beachtung zu schenken. Die Probenahme ist im Herstellerwerk nach DIN EN 932-1 unter Berücksichtigung von Abschnitt 2.2 der TP GESTEIN-STB durchzuführen.

Die erforderliche Mindestmenge der zu entnehmenden Probe sollte das 4-fache der zu untersuchenden Probe (Laborprobe) betragen. Die Laborprobe wird aus der entnommenen Probemenge durch Probenteilung nach DIN EN 932-1 hergestellt. Die erforderliche Menge für die Laborprobe ist vom Größtkorn und von den durchzuführenden Versuchen abhängig. Erfahrungsgemäß sind bei Kies und gebrochenem Felsgestein für die Lieferkörnung 16/32 mm ca. 60 kg ausreichend, wobei darin bereits eine Reserve für Wiederholungsprüfungen enthalten ist. Für die Lieferkörnung 8/16 mm wird eine Probemenge von ca. 50 kg benötigt. Für die Untersuchung feinerer Körnung genügen i. allg. 20 kg.

Die Behältnisse sind nach DIN EN 932-1 eindeutig und dauerhaft zu kennzeichnen.

Die Kennzeichnung soll umfassen:

- Bezeichnung der Proben
- Ort der Probenahme
- Datum der Probenahme
- Art der entnommenen Probe

Über die Probenahme ist eine Niederschrift gemäß DIN EN 932-1 anzufertigen.

Wenn eine Prüfung der Umweltverträglichkeit der mineralischen Baustoffe erforderlich wird (bei Ersatzbaustoffen immer, bei gebrochenem Festgestein im Einzelfall), erfolgt die Probennahme und Probenaufbereitung nach Anhang 4 der DEP.V.

Bei der Probenaufbereitung sind die Regelungen der DIN EN 932-2 zu beachten.

3 Durchzuführende Versuche

3.1 Petrografische Beschreibung und stoffliche Kennzeichnung

Natürliche mineralische Drän- und Filtermaterialien sind gesteinskundlich nach DIN EN 932-3 zu beschreiben. Es genügt in der Regel die Grobansprache der Gesteinsart und die Beschreibung von Farbe und Beschaffenheit der Oberfläche. Untersuchungen an Dünnschliffen, röntgenographische Untersuchungen und sonstige weitergehende mineralogische Analysen sind in begründeten Fällen gesondert festzulegen. Dabei kann nach DIN 52100-2 verfahren werden.

Die stoffliche Kennzeichnung industriell hergestellter Gesteinskörnungen erfolgt in Anlehnung an Abschnitt 3.1.4 und von Recyclingbaustoffen nach Abschnitt 3.1.5 der TP GESTEIN-STB.

3.2 Korngrößenverteilung und Anteil abschlämmbarer Bestandteile

Die Korngrößenverteilung und der Anteil an abschlämmbaren Bestandteilen sind nach DIN EN 933-1 unter Berücksichtigung des Abschnitts 4.1.2 der TP GESTEIN-STB zu bestimmen.

Für Basisentwässerungssysteme der Deponieklassen I, II und III ist nach DIN 19667 und E 2-14 die Korngruppe $d/D = 16/32$ mm nach DIN EN 12620 für die unteren 30 cm als Regelausführung vorgeschrieben. In Bild 3-12.1 ist angegeben, in welcher Bandbreite die Kornverteilungskurven des Dränmaterials bei der Eignungsprüfung liegen sollen, Bild 3-12.2 gibt die Bandbreite nach dem Einbau wieder (nach THIENEL, 2023). Die Sieblinien (einschließlich der Prüffehler) sollen innerhalb der orangefarbenen Bereiche verlaufen.

Zur Begrenzung der biogenen Verkrustungstendenz oder der Auswirkungen von Auskristallisationen ist der Unterkornanteil gering zu halten.

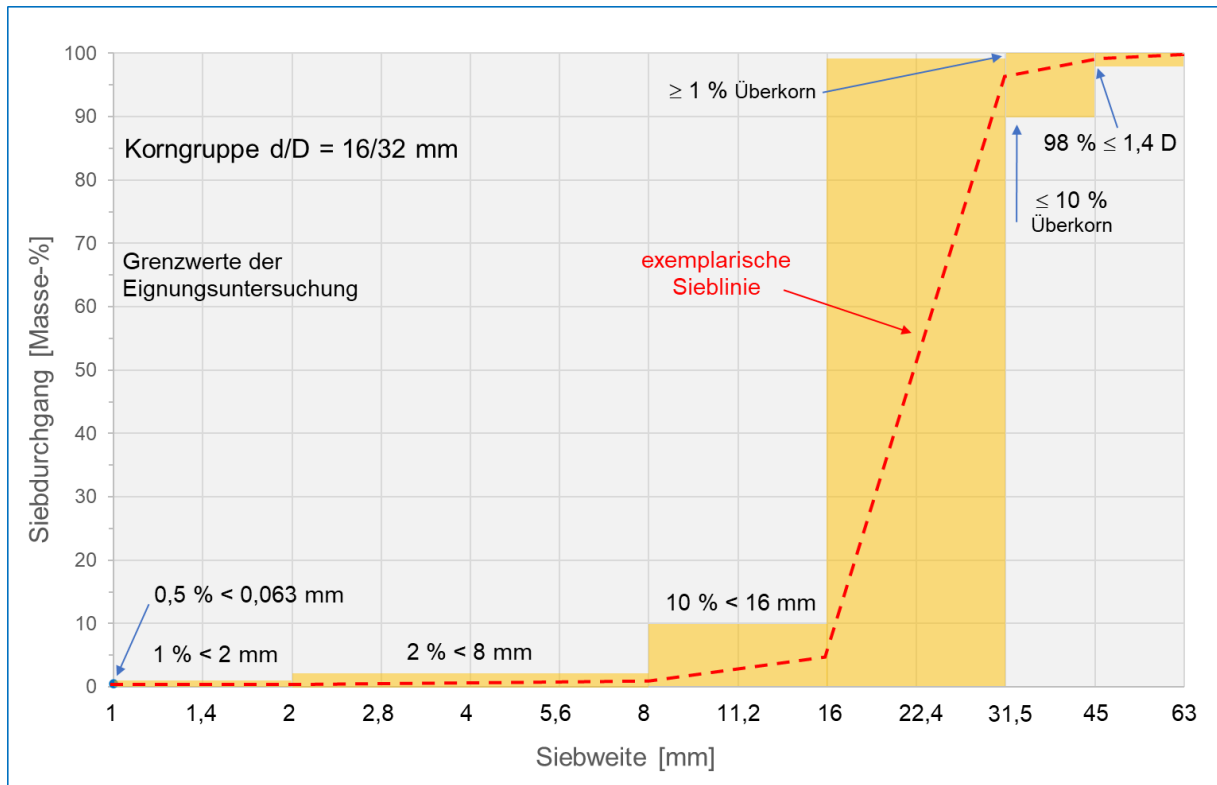


Bild 3-12.1: Zulässige Kornzusammensetzung der Korngruppe 16/32 mm für Basis-Entwässerungsschichten bei der Eignungsuntersuchung

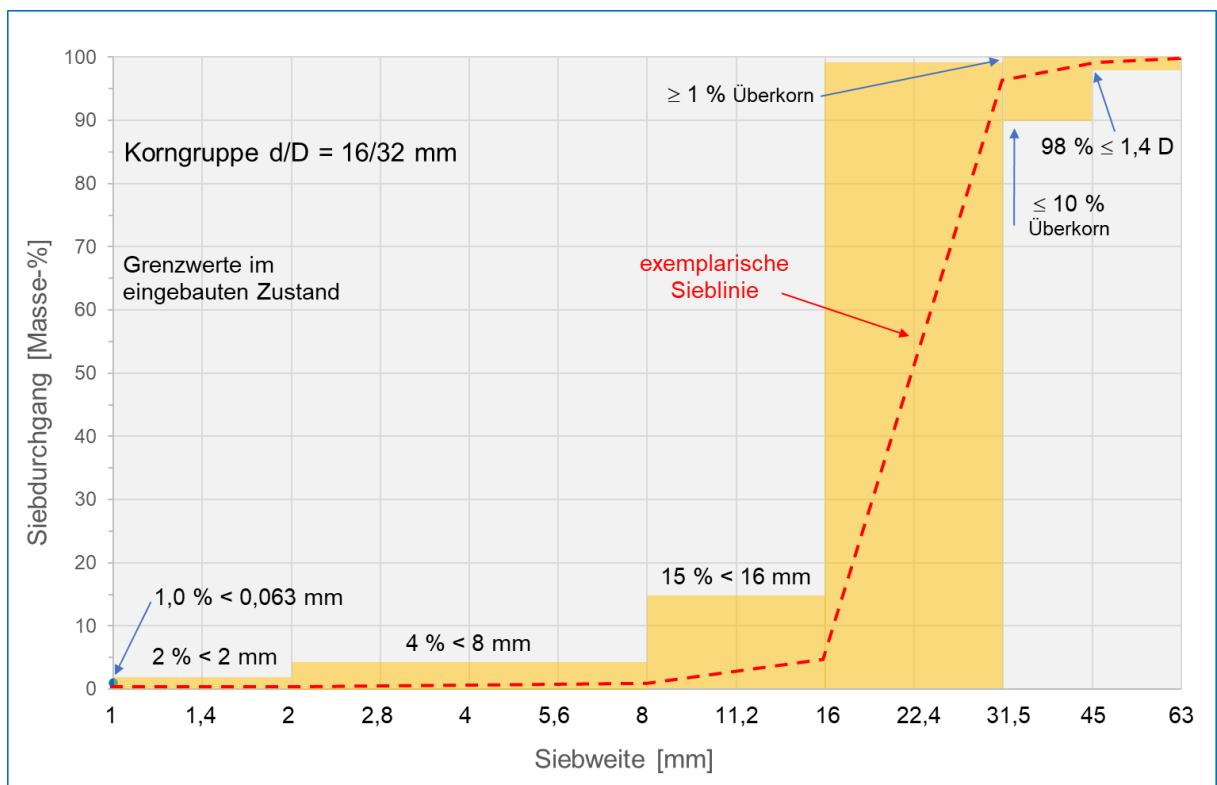


Bild 3-12.2: Zulässige Kornzusammensetzung der Korngruppe 16/32 mm für Basis-Entwässerungsschichten im eingebauten Zustand

Neben den Anforderungen der Tabelle 2 der DIN EN 12620 – Allgemeine Anforderungen an die Kornzusammensetzung – gelten für Korngruppe d/D = 16/32 mm die folgenden spezifischen Grenzwerte bei der Verwendung in Entwässerungsschichten:

- Grenzwerte im Rahmen der Eignungsprüfung:
10 % < 16 mm, 2 % < 8 mm, 1 % < 2 mm, 0,5 % < 0,063 mm
- Grenzwerte im eingebauten Zustand
(für Prüfungen in der Qualitätssicherung):
15 % < 16 mm, 4 % < 8 mm, 2 % < 2 mm, 1 % < 0,063 mm
- Der Überkornanteil > 32 mm darf maximal 10 % betragen
- Der weitere Überkornanteil > 45 mm liegt nach DIN EN 12620 < 2 %
- Korngrößen > 2 D = 64 mm sind nicht zulässig

Bei anderen Korngruppen ist der Unterkornanteil ebenfalls auf 10 % bei der Eignungsprüfung bzw. auf 15 % im eingebauten Zustand zu begrenzen. Die Grenzwerte im Unterkornbereich (< d) nach den Bildern 3-12.1 und 3-12.2 gelten sinngemäß auch für andere Korngruppen, die Anforderungen an den zulässigen Siebdurchgang von Körnern > d ergeben sich aus Tabelle 2 der DIN EN 12620.

Der Gesamtgehalt der Feinanteile < 0,063 mm ist nach DIN EN 933-1 durch Waschen (Abschnitt 7.1) und nachfolgende Trockensiebung (Abschnitt 7.2) zu ermitteln. Die Untersuchungsergebnisse sind als Gehalt an „abschlämbbaren Bestandteilen“ bzw. „Gesamtgehalt der Feinanteile“ anzugeben.

Der Hinweis im Entwurf der DIN EN 933-1 von 07/2021, dass bei einer übermäßigen Trockensiebung einige brüchige Gesteinskörnungen zersetzt werden und das Testergebnis dadurch beeinträchtigt wird, ist bei der Versuchsdurchführung und der Ergebnisbewertung zu beachten.

3.3 Rohdichte

Die Rohdichte ist nach DIN EN 1097-6 unter Berücksichtigung des Abschnitts 3.2.2 der TP GESTEIN-STB zu bestimmen.

3.4 Kornform

Die Kornform ist nach DIN EN 933-4 zu bestimmen.

3.5 Organische Bestandteile

Der Gehalt organischer Bestandteile ist als Glühverlust nach DIN EN 17685-1 zu bestimmen. Bei grober Körnung, die offensichtlich keine organischen Bestandteile enthält, erübrigt sich der Versuch.

Die Beurteilung des Glühverlustes von Deponieersatzbaustoffen erfolgt gemäß den Zulässigkeitskriterien und Zuordnungswerten der Tabellen 1 und 2 des Anhangs 3 der DEPv nach Bestimmung gemäß DIN EN 15935.

3.6 Gesamtcarbonatgehalt

3.6.1 Allgemeines

Carbonate sind je nach Korngröße, Oberflächenrauigkeit, Kationenbestand, dem pH-Wert und Elektrolytgehalt des Sickerwassers sowie der Temperatur und weiteren Milieuparametern leichter oder weniger leicht löslich. Für die Beurteilung der Gefahr einer chemischen Auflösung von mineralischen Baustoffen in Entwässerungsschichten ist der Gesamtcarbonatgehalt entscheidend.

3.6.2 Probenvorbereitung

Die Proben werden im angelieferten Zustand durch Probenteilung nach DIN EN 932-2 von Hand oder mit einem Probenteiler (Riffelteiler) auf eine Prüfgutmenge von zwei Durchschnittsproben von je ca. 5000 g bei Untersuchung der Korngruppe 16/32 mm geteilt (für geringere Korndurchmesser genügen entsprechend geringe Prüfgutmengen). Eine der beiden Durchschnittsproben dient als Rückstellprobe. Die andere wird in einem Behälter 2 Stunden unter Wasser gelagert. Danach wird sie etwa 5 Minuten kräftig durchgerührt. Anschließend wird die Probe einer Nass-Siebung unterzogen. Die Siebrückstände der einzelnen Fraktionen werden solange mit einem Wasserstrahl gewaschen, bis sie frei von abschlämmbaren Bestandteilen sind und das abfließende Wasser klar ist.

Alle Siebrückstände werden nach DIN EN 1097-5 bei 110°C getrocknet. Die getrockneten Fraktionen werden auf ein sauberes Blech geschüttet, gleichmäßig verteilt und nach visueller Beurteilung in petrographisch-mineralogische Einheiten getrennt (z. B. bei Kies: Quarz, Feldspat, Sandstein, Kalkstein usw.). Anschließend werden die Einzelkörner - soweit möglich - anteilmäßig entsprechend den Massen der petrographisch-mineralogischen Einheiten zu einer Einheitsprobe für die weitere Aufbereitung zusammengestellt. Bei gröberen Korngruppen werden 250 bis 300 Körner, bei den feineren etwa 500 g benötigt.

Die Einheitsprobe wird entweder von Hand in einem großen Eisenmörser mit Pistill oder mit einem Labor-Backenbrecher auf max. 2 mm Korngröße zerkleinert. Bei der Verwendung eines Backenbrechers wird empfohlen, die Brechbacken auf die Endfeinheit $\leq 1\text{ mm}$ Korngröße einzustellen.

Die gesamte zerkleinerte Masse wird durch Probenteilung von Hand oder mit einem Probenteiler (Riffelteiler) bzw. mit einem automatischen Probenteiler mit Zuteilrinne auf die Probemenge von 20 - 30 g geteilt.

Die geteilte Probe wird einer weiteren Feinstmahlung in einem Porzellanmörser mit Pistill oder in einer Fliehkraftkugelmühle auf die Korngröße $< 0,063$ mm unterzogen. Der Rest ist als Rückstellprobe aufzubewahren.

Die so vorbereitete Probe wird im Trockenschrank 2 Stunden bei $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ getrocknet und anschließend bis zur Kalkgehaltsbestimmung im Exsikkator auf Raumtemperatur abgekühlt und aufbewahrt.

3.6.3 Gesamtcarbonatgehalt

Die Bestimmung des Carbonatgehalts erfolgt nach DIN 18129 durch eine gasvolumetrische Gesamtcarbonatgehaltsbestimmung durch CO_2 -Verdrängung mit dem Gasometer. Hierbei wird das beim Kontakt der Carbonatminerale mit verdünnter Salzsäure freiwerdende Kohlenstoffdioxid-Volumen bestimmt. Die Kalibrierung des Gasometers erfolgt mit reinem CaCO_3 . Der Unterschied zu den molaren Massen der übrigen Carbonatminerale ist gering und wird vernachlässigt. Die Angabe des Ergebnisses erfolgt als Calciumcarbonat-Gehalt (CaCO_3 -Gehalt) der Trockenmasse der Probe.

Der Gesamtcarbonatgehalt gibt i. w. die Gehalte an Calcit (CaCO_3) und Dolomit ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$) wieder. Aufgrund der unterschiedlichen chemischen Stabilität von Calcit und Dolomit kann bei der Gesamtcarbonatgehaltsbestimmung halbquantitativ zwischen beiden unterschieden werden. Durch die wesentlich langsamere Zersetzung von Dolomit kann bei der ersten Ablesung nach $t = 30$ s davon ausgegangen werden, dass sich fast nur Calcit zersetzt hat. Die Ablesung des stabilen Endwertes (max. 30 min) entspricht dann dem Gesamtcarbonatgehalt. Der Dolomitgehalt berechnet sich aus der Differenz der Endablesung und der 30 s-Ablesung.

Zur Bestimmung der Calcit- und Dolomitgehalte können die Carbonate in einer salzsäuren Aufschluszlösung zersetzt und die Calcit- und Dolomitgehalte über eine Bestimmung von Ca und Mg mit der Atomabsorptions-Spektrometrie (AAS) ermittelt werden.

3.7 Sonstige Nachweise der chemischen Beständigkeit

Wenn im Einzelfall die Beständigkeit gegen bestimmte Chemikalien und Inhaltsstoffe, die im Deponiegut und im Sickerwasser vorhanden sein können, nachzuweisen ist, müssen projektspezifische Vereinbarungen über weitergehende mineralogische und chemische Analysen getroffen werden. Dabei ist einerseits die dauerhafte Funktionsfähigkeit der Entwässerungsschicht, andererseits die Unbedenklichkeit des Eluats im Hinblick auf mögliche Wassergefährdung zu bewerten. Die Probenvorbereitung hat für derartige Analysen nach Abschnitt 3.6.2 zu erfolgen.

Industriell hergestellte Gesteinskörnungen und Recyclingbaustoffe (Deponieersatzbaustoffe) sind auf wasserlösliche Anteile (siehe Abschn. 3.12) und auf ihre Wasserempfindlichkeit (Zerfall, Quellen, Hydratation) entsprechend den Vorgaben zur Untersuchung der Raumbeständigkeit nach Abschnitt 6.7 der TP GESTEIN-STB zu untersuchen.

Bei Deponieersatzbaustoffen, deren Festigkeit durch Sickerwasserinhaltsstoffe beeinträchtigt werden kann, sind die Kornfestigkeit unter dynamischen Wirkungen (Abschnitt 3.9) und die Kornzertrümmerung unter hoher statischer Last (Abschnitt 3.11) nach einmonatiger Lagerung der Materialien in einem dem Einsatzzweck entsprechenden Sickerwasser zu untersuchen.

Nach der einmonatigen Lagerung in einem dem Einsatzzweck entsprechenden Sickerwasser dürfen keine wesentlichen Veränderungen der Kornzusammensetzung und der Festigkeit auftreten, d. h. die Kriterien der Kornzusammensetzung für das Dränmaterial müssen eingehalten werden und die Festigkeitseigenschaften dürfen sich nicht verschlechtert haben.

3.8 Wasserdurchlässigkeit

Für das Dränmaterial der Lieferkörnung 16/32 mm, das die Anforderungen hinsichtlich der Kornverteilung erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass der nach DIN 19667 im Einbauzustand für Basisentwässerungssysteme geforderte Durchlässigkeitsbeiwert $k \geq 1 \cdot 10^{-2}$ m/s eingehalten wird.

Es wird empfohlen, bei Bedarf für grobe Dränmaterialien mit $d > 8$ mm den Durchlässigkeitsbeiwert aus der Kornverteilung nach WITTMANN, 1981 oder einem anderen bewährten empirischen Verfahren abzuschätzen.

Alternativ können für grobe Dränmaterialien auch Säulenversuche zur Ermittlung des gesättigten Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes durchgeführt werden. Der Säulendurchmesser sollte mindestens $d > 5 \cdot d_{\max}$ ($d_{\max}$: Größtkorn) betragen, die Mächtigkeit der durchströmten Materialschicht mindestens 1 m. Die hydraulischen Potentiale sind in zwei Lagen an jeweils mindestens 3 über dem Umfang verteilten Punkten zu messen. Die Filtergeschwindigkeit ist durch die Veränderung des Durchflusses zu variieren. Die Auswertung der Säulenversuche erfolgt nach dem Ansatz von FORCHHEIMER (siehe WITTMANN 1981) für mindestens 5 stationäre Wertepaare der Filtergeschwindigkeit und des hydraulischen Gradienten.

Für andere Lieferkörnungen ist der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert nach DIN EN ISO 17892-11 nachzuweisen.

3.9 Kornfestigkeit unter dynamischen Einwirkungen

3.9.1 Kornzertrümmerungsversuch

Die Kornfestigkeit unter dynamischen Einwirkungen wird nach einem Versuch beurteilt, bei dem die mineralischen Baustoffe (sowohl natürliche Kies- bzw. gebrochene Gesteinskörnungen als auch Körnungen aus Ersatzbaustoffen) in einem Stahlzylinder mit festgelegten Abmessungen durch ein Fallgewicht mit einer bestimmten mechanischen Beanspruchung (Verdichtungsarbeit) und einem festgelegten Arbeitsverfahren verdichtet werden.

Es sind bis zu sechs Einzelversuche mit unterschiedlichen Schlagzahlen durchzuführen. Als Ergebnis erhält man einen Zusammenhang zwischen der Schlagzahl und der Kornverfeinerung sowie der Trockendichte ρ_d [Mg/m³]. Die Kornverfeinerung wird durch den Kornzertrümmerungsgrad quantifiziert.

3.9.2 Kornzertrümmerungsgrad

Als Kornzertrümmerungsgrad wird der im Kornzertrümmerungsversuch ermittelte Unterkornanteil in Massen-% bezogen auf die Masse der Probe der untersuchten Korngruppe bezeichnet.

3.9.3 Geräte

Es werden die Geräte für den Proctorversuch nach DIN 18127 verwendet. Es gelten auch die dort angegebenen Versuchsbedingungen und die Angaben für Probemengen und zulässiges Größtkorn.

3.9.4 Versuchsdurchführung

Das zu untersuchende Material wird an der Luft bzw. unter Zuhilfenahme eines Heizventilators oder einer Trocknungsanlage bis zur Massenkonstanz getrocknet. Anschließend wird es gewaschen, und die Unterkornanteile (einschließlich Feinanteil < 0,063 mm) sowie die Überkornanteile werden ausgesondert. Das verbleibende Material wird nochmals getrocknet. Von dem getrockneten Material werden für die sechs Einzelversuche die Probemengen entsprechend dem zulässigen Größtkorn für die Versuchszylinder vorbereitet und gleiche Massenanteile abgewogen.

Der Versuchszylinder wird mit Grundplatte und Aufsatzring auf eine feste Unterlage (Betonkörper) gestellt. Das zu prüfende Material wird mit einer Handschaufel gleichmäßig in einer Schicht, deren Dicke mindestens dem 4-fachen Durchmesser des zulässigen Größtkorns entspricht, eingefüllt. Die Oberfläche wird mit dem Holz- bzw. Kunststoffstempel leicht angedrückt. Anschließend wird auf die Oberfläche eine Stahlplatte aufgelegt. Die Schichtdicke (Einfüllhöhe) wird mit dem Tiefenmaß an vier Stellen gemessen und daraus die Probenhöhe und das Probenvolumen ermittelt.

Anschließend wird der Versuchszylinder mit dem Inhalt gewogen. Mit der ermittelten Probenhöhe und dem Probengewicht wird die Schutt- bzw. Einfüllsdichte nach Gleichung (1) berechnet:

$$\rho_d = \frac{m}{V} \quad (1)$$

mit ρ_d = Trockendichte [kg/dm³]
 m = Probenmasse [kg]
 V = Probenvolumen [dm³]

Entsprechend dem Versuchszylinder wird die Lieferkörnung mit dem vorgeschriebenen Fallgewicht mit 6, 12, 24, 48, 96 und 192 Schlägen verdichtet. Die Schläge sind gleichmäßig über die Fläche der Stahlplatte zu verteilen.

Nach der jeweiligen Verdichtung ist die Probenhöhe mit dem Tiefenmaß zu ermitteln. Die zur Verdichtung der eingefüllten Schicht benötigten Schläge sind ohne Unterbrechung aufzubringen. Sie haben einander im gleichen Zeitabstand – wie in Tabelle 3-12.1 aufgeführt – zu folgen.

Tabelle 3-12.1: Schlagfolge in Abhängigkeit von der Fallhöhe

Fallhöhe (cm)	Zeitfolge (sec)
30	1,5 - 2,0
45	1,5 - 2,0
60	2,0 - 2,5

Bei der Verwendung eines von Hand zu bedienenden Verdichtungsgerätes ist darauf zu achten, dass die Führungsstange lotrecht gehalten und das Fallgewicht jedes Mal genau bis an den Anschlag hochgehoben und frei fallengelassen wird.

Bei jedem Einzelversuch wird nach der Verdichtung die Probenhöhe bzw. das Volumen der Probe durch Messen der Tiefenlage der Stahlplatte im Aufsatzring ermittelt. Anschließend wird der Versuchszylinder gewogen.

3.9.5 Auswertung

Für jeden Einzelversuch wird aus der Masse und dem durch Ausmessen genau bestimmten Volumen V des Versuchszylinders bzw. der Materialprobe die Trockendichte berechnet. Weiterhin wird für jeden Einzelversuch der Kornzertrümmerungsgrad über den Unterkornanteil, der durch Trockensiebung gemäß DIN EN 933-1 ermittelt wird, bestimmt. Die Werte für den Kornzertrümmerungsgrad werden in Abhängigkeit der Schlagzahl, wie in Bild 3-12.2 gezeigt, dargestellt.

Aus den ermittelten Kurven werden Folgerungen für die Bewertung der Eignung des untersuchten Materials oder für die Anforderungen an die Einbautechnik gezogen.

Die Beurteilung erfolgt nach den Festlegungen in Abschnitt 3.2.

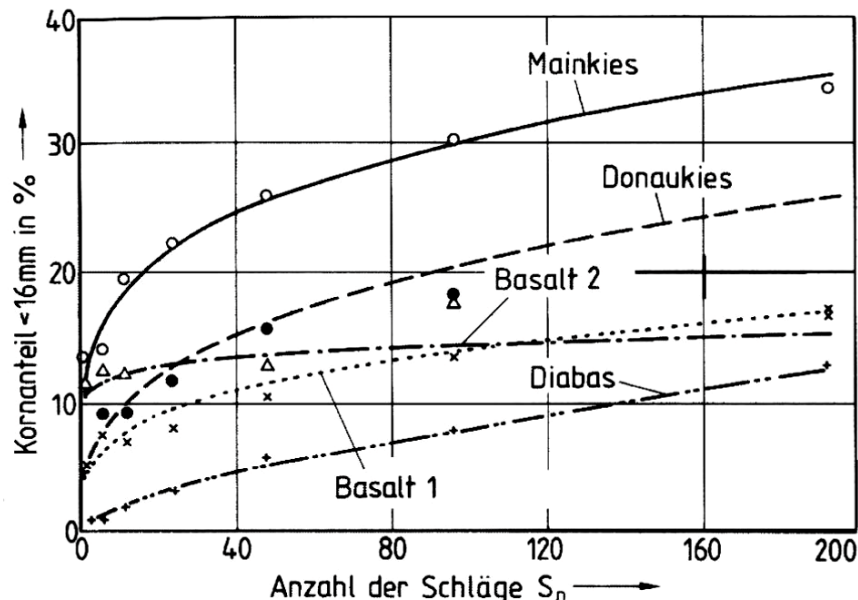


Bild 3-12.3: Zertrümmerungsversuch, Beispiel (QUENZLER ET AL. 1997)

3.10 Nachweis der Kornfestigkeit im Probefeld

Alternativ zur Bestimmung der Kornfestigkeit unter dynamischen Einwirkungen nach Abschnitt 3.9 kann die Kornfestigkeit im Feldversuch in einem Probefeld ermittelt werden. Das Probefeld ist in analog den Vorgaben der E 3-5 anzulegen.

Die Probennahme erfolgt unter den Fahrspuren der Einbaugeräte. Die oberen 10 cm der Entwässerungsschicht bzw. der jeweiligen Einzelschicht sind zu beproben. Pro Einbauvariante sind mindestens 3 Proben zu nehmen.

Die Beurteilung erfolgt nach den Festlegungen in Abschnitt 3.2.

3.11 Kornzertrümmerung unter hoher statischer Last

Die Untersuchung der Kornzertrümmerung grober Kieskörner und anderer Grobkörner unter hoher statischer Belastung, wie sie an der Basis hoher Abfallschüttungen auftreten kann, ist für die Bewertung der Gefährdung von Kunststoffdichtungsbahnen und Rohrleitungen durch scharfkantige, neue Bruchflächen von Interesse. Außerdem kann der Kornbruch Auswirkungen auf die hydraulische Leistungsfähigkeit haben und bei entsprechender Vergrößerung der inneren Oberfläche des Entwässerungsmaterials die biogene Verkrustung begünstigen.

Experimentell kann die Kornzertrümmerung unter statischer Last mit der Prüfvorrichtung zur Ermittlung der Schutzwirksamkeit von Geotextilien nach E 3-9, Abschn. 2.2.3, durchgeführt werden. Bewertungsparameter sind dabei unmittelbar der Einfluss der scharfkantigen Fragmente auf die Kunststoffdichtungsbahn bzw. das -rohr und der Anteil an beobachteten Kornbrüchen, bzw. die Bildung von Unterkorn (siehe Abschnitt 3.2 und Bild 3-12.1).

3.12 Scherfestigkeit

Sofern die Scherfestigkeit mineralischer Baustoffe für Entwässerungsschichten nicht hinreichend genau aus Erfahrung oder Tabellen festgelegt werden kann, ist sie experimentell zu bestimmen.

Die Scherfestigkeit von mineralischen Baustoffen, die für den Einbau im Böschungsbereich als Dränmaterial, als Filter- oder als Schutzschicht vorgesehen sind, ist im direkten Scherversuch nach DIN EN ISO 17892-10 oder im Triaxialversuch nach DIN EN ISO 17892-8 zu bestimmen. Für Korngruppen mit einem maximalen Korndurchmesser von 10 mm können die üblichen Rahmenschergeräte oder Triaxialzellen mit 100 mm Innendurchmesser und einer Höhe der Druckzelle von ≥ 200 mm verwendet werden.

Größere Körnungen, insbesondere die Lieferkörnung $d/D = 16/32$ mm, erfordern Großscher- oder Großtriaxialgeräte. Der Prüfkörperdurchmesser soll $\geq 10 D_{\max}$ sein, wobei $D_{\max}$ der größte Korndurchmesser des zu untersuchenden Materials ist.

An Böschungen bei Oberflächenentwässerungssystemen sind in der Regel nur geringe Normalspannungen wirksam. Um für solche Verhältnisse, bei denen in grobkörnigen Böden oft ein größerer Winkel der inneren Reibung aktiviert wird als bei höheren Normalspannungen, die Scherfestigkeit zutreffend zu ermitteln, sind Versuche mit geneigten Ebenen (Kipptischversuche) durchzuführen. Das Material wird dazu in einen zweiteiligen Kasten eingebaut, der auf einer Platte steht. Die Neigung der Platte ist veränderbar. Die Neigung wird so lange erhöht, bis der obere Kastenteil auf dem unteren abzurutschen beginnt. Bei kohäsionslosem Dränmaterial entspricht der Neigungswinkel, bei dem die Rutschbewegung eintritt, dem Winkel der inneren Reibung unter geringer Auflast.

Der Versuch mit der geneigten Ebene kann auch zur Bestimmung des Scherwiderstands in Kontaktflächen zwischen Dränschicht und Kunststoffdichtungsbahn bzw. Geotextil angewendet werden.

Bei höheren Auflasten auf den Kontaktflächen ist der Scherwiderstand in Anlehnung an E 3-8 zu bestimmen. Für grobkörniges Material muss das Schergerät mindestens Kastenabmessungen von 300 mm x 300 mm x 200 mm haben.

3.13 Frost-Tauwechsel

Mineralische Baustoffe für Entwässerungsschichten in Deponien sind nach DIN EN 1367-1 auf Frostempfindlichkeit zu untersuchen. Bei 10 Frost-Tauwechseln bis -17,5 °C im Wasserbad dürfen keine wesentlichen Veränderungen der Kornzusammensetzung und der Festigkeit auftreten, d. h., nach der Frost-Tauwechsel-Behandlung müssen die Kriterien der Kornzusammensetzung für das Dränmaterial nach Abschnitt 3.2 eingehalten werden.

3.14 Prüfung der Umweltverträglichkeit

Die Prüfung der Umweltverträglichkeit umfasst die Einhaltung der Zulässigkeitskriterien und Zuordnungswerte der Tabellen 1 und 2 des Anhangs 3 der DEPV. Im Vordergrund steht dabei die Untersuchung des Auslaugverhaltens (Einhaltung der Eluatkriterien).

Bei natürlichen Gesteinskörnungen (Kies und gebrochenes Festgestein) kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass die Umweltverträglichkeit gegeben ist und das Auslaugverhalten nicht untersucht werden muss. Allerdings wird eine Prüfung erforderlich, wenn Anhaltspunkte vorliegen, dass geogene Schadstoffgehalte nicht ausgeschlossen werden können. Dies kann insbesondere bei gebrochenem Festgestein der Fall sein.

Bei der Verwendung von industriell hergestellten Gesteinskörnungen und Recyclingbaustoffen (Deponieersatzbaustoffe) ist unter Umständen zusätzlich zu der Einhaltung der Eluatkriterien auch die Einhaltung der Feststoffkriterien des Anhangs 3 der DEPV zu prüfen.

Die Bestimmung der Gesamtgehalte im Feststoff erfolgt nach Nummer 3.1 des Anhangs 4 der DEPV, die Herstellung und Analyse der Eluate nach Nummer 3.2.

Literatur

- QUENZLER, H.; PRÜHS, H.; GARTUNG, E., 1997: Kornfestigkeit enggestufter Entwässerungsmaterialien, Geotechnik, Heft 1
- THIENEL, K.-Ch., 2023: Bauchemie und Werkstoffe des Bauwesens – Gesteinskörnung Vorlesungsskript, Institut für Werkstoffe des Bauwesens Universität der Bundeswehr München
- WITTMANN, L., 1981: Die analytische Ermittlung der Durchlässigkeit rolliger Erdstoffe unter besonderer Berücksichtigung des nichtlinearen Widerstandsgesetzes der Porenströmung, Veröffentlichungen des Institutes für Boden- und Felsmechanik, Heft 87, TU Karlsruhe

Regelwerke

DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 27.4.2009, BGBl. I, S. 900, zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 09.07.2021, BGBl. I S. 2598

DIN 18127:2012-09: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Proctorversuch

DIN 18129:2011-07: Baugrund - Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung

DIN 19667:2015-08: Dränung von Deponien – Planung, Bauausführung und Betrieb

DIN 52100-2:2007-06: Naturstein – Gesteinskundliche Untersuchungen – Allgemeines und Übersicht

DIN EN 932-1:1996-11: Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Probenahmeverfahren

DIN EN 932-2:1999-03: Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 2: Verfahren zum Einengen von Laboratoriumsproben

DIN EN 932-3:2022-08: Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 3: Durchführung und Terminologie einer vereinfachten petrographischen Beschreibung

DIN EN 933-1:2012-03: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren

DIN EN-933-1:2021:07: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren, Entwurf

DIN EN 933-4:2015-01: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 4: Bestimmung der Kornform - Kornformkennzahl

DIN EN 1097-5:2008-06: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 5: Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung

DIN EN 1097-6:2022-05: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme

DIN EN 1367-1:2007-06: Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen - Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel

DIN EN 12620:2008-07: Gesteinskörnungen für Beton

DIN EN 15935:2021-10: Boden, Abfall, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung des Glühverlusts

DIN EN 17685-1:2023-04: Erdarbeiten - Chemische Prüfverfahren - Teil 1: Bestimmung des Glühverlusts

DIN EN ISO 17892-8:2018-07: Geotechnische Erkundung und Untersuchung -
Laborversuche an Bodenproben - Teil 8: Unkonsolidierter undrännierter
Triaxialversuch

DIN EN ISO 17892-10:2019-04: Geotechnische Erkundung und Untersuchung -
Laborversuche an Bodenproben - Teil 10: Direkte Scherversuche

DIN EN ISO 17892-11:2021-03: Geotechnische Erkundung und Untersuchung -
Laborversuche an Bodenproben - Teil 11: Bestimmung der
Wasserdurchlässigkeit

TP GESTEIN-STB, 2008/2022: Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im
Straßenbau, Arbeitsgruppe „Gesteinskörnungen, Ungebundene Bauweisen“
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
Ausgabe 2008, Stand 12/2022

Vorgängerversion: April 2011

**Ansprechpartner
und Bearbeiter:** Prof. Dr.-Ing. Hans-Günter Ramke
Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
für Abfallwirtschaft und Deponietechnik
38116 Braunschweig, hg.ramke@gmx.de