

140 Geotechnische Laboruntersuchungen

Im Labor zu untersuchende Bodenproben müssen die jeweils zu bestimmenden geotechnischen Eigenschaften generell möglichst unverfälscht aufweisen. Die Erfüllung dieser Forderung ist nicht nur eine Frage der Bohr- und Entnahmetechnik, des Transportes, der Verpackung und Lagerung sowie der Bearbeitung im Labor, sondern ist auch von der Bodenart abhängig. Bestehen Zweifel, ob die interessierenden Eigenschaften an Bodenproben bestimmbar sein werden, so sind zusätzlich Feldversuche auszuführen. Durch die Laborversuche werden physikalische Größen oder allgemein vereinbarte Kenngrößen bestimmt. In Abhängigkeit der festgelegten Güteklasse werden z. B. folgende Kennwerte ermittelt: Korngrößenverteilung, mineralischer Aufbau, Korndichte, Wassergehalt, Fließ- und Ausrollgrenze, Dichte und Glühverlust (DIN 18121 bis DIN18137).

Der Leistungsbereich berücksichtigt im Wesentlichen die Eignungsprüfung gemäß den GDA-Empfehlungen (E3 – Empfehlungen zur geotechnischen Eignungsprüfung¹).

140.1 Leistungsbeschreibung (rechtliche / technische Grundlagen)

Für alle Baustoffe, die planmäßig bei Bau- und Sanierungsmaßnahmen an Deponien und Altlasten zum Einsatz kommen, ist die Eignung nachzuweisen. Die Eignung mineralischer Abdichtungen für Sanierungsmaßnahmen ist in der Regel in jedem Einzelfall gesondert zu ermitteln. Laborversuche sind in ausreichendem Umfang an allen maßgebenden Baustoffen und Bodenschichten durchzuführen, um eine Schwankungsbreite der Bodeneigenschaften zu erfassen. Der Umfang der Untersuchungen wird vom qualifizierten geotechnischen Fachmann festgelegt.

Die Versuchsdurchführung ist zur Sicherung der Bestandsaufnahme und Nachvollziehbarkeit zu dokumentieren. Zu bestimmen sind in der Regel die Art und Zusammensetzung von Abdichtungsmaterialien, die Ermittlung der Einbaukriterien, sowie die Eigenschaften der Baustoffe im Gebrauchsfall.

Der Leistungsbereich beschreibt geotechnische Laborversuche zur Bestimmung der bodenphysikalischen, sedimentologischen und mineralischen Kenngrößen von Lockergesteinen wie bodenklassifizierende Parameter, (Lagerungs-) dichte und Durchlässigkeit, Spannungs- / Verformungsverhalten sowie Festigkeit.

Normen und Empfehlungen

- DIN 18121-1, Baugrund , Untersuchung von Bodenproben – Wassergehalt – Bestimmung durch Ofentrocknung.
- DIN 18121-2, Baugrund - Untersuchungen von Bodenproben; Wassergehalt - Teil 2: Bestimmung durch Schnellverfahren
- DIN 18122-1, Baugrund , Untersuchung von Bodenproben – Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) – Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze.
- DIN 18122-2, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) - Teil 2: Bestimmung der Schrumpfgrenze
- DIN 18123, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korngrößenverteilung

¹ gem. Dt. Ges. für Erd- und Grundbau e.V. (1997):
Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“

- DIN 18124, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korndichte - Kapillarpyknometer, Weithalspyknometer
- DIN 18125-1, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens - Teil 1: Laborversuche
- DIN 18125-2, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Dichte des Bodens - Teil 2: Feldversuche
- DIN 18126, Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte – Bestimmung der Dichte nichtbindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung.
- DIN 18127, Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte – Proctorversuch.
- DIN 18128, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Glühverlustes.
- DIN 18129, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung
- DIN 18130, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts.
- DIN 18132, Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens.
- DIN 18136, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Einaxialer Druckversuch
- DIN 18196:1988-10, Erd- und Grundbau – Bodenklassifikationen für bautechnische Zwecke.
- Grundbau Taschenbuch Kapitel 1.5 „Eigenschaften von Boden und Fels; Ermittlung im Labor“.

Geotechnische Laborversuche an Bodenproben (nach DIN 4020, Ausgabe 1990, Tabelle 8)

Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Versuch	Mindest Güteklasse nach DIN 4021	Bodenart	Versuchsnorm	Kenngößen	Anwendung
1	Korngrößenverteilung	4	alle	DIN 18123	Körnungslinie Ungleichförmigkeitszahl	Benennung, Klassifikation, Korrelationsgrundlage
2	Plastizitätsgrenzen	4	feinkörnige Böden; bei gemischtkörnigen Böden am Anteil <0,4 mm	DIN 18122	Fließgrenze w_L Ausrollgrenze w_p Plastizitätszahl I_p Schrumpfgrenze w_s	Benennung, Klassifikation, Bezugsgröße für 5 Korrelationsgrundlage
3	organische Anteile	4	organische und organisch verunreinigte Böden	DIN 18128	Gehalt an organischen Anteilen	Benennung, Klassifikation
4	Kalkgehalt	4	Alle	DIN 18129	Gehalt an CaO	Klassifikation, Korrelationsgrundlage
5	Wassergehalt	3	alle, insbesondere fein- und gemischtkörnige Böden	DIN 18121	Wassergehalt w , Konsistenzzahl I_c in Verbindung mit w_L und w_p Sättigungszahl S_r in Verbindung mit Dichte und Korndichte	Zustandsbeschreibung Korrelationsgrundlage für Belastbarkeit des Baugrundes
6	Korndichte im Pyknometer	4	alle Bodenarten	DIN 18124	Korndichte ρ_s	Hilfsgröße, Hinweis auf Mineralgehalt
7	Dichte	2	alle, insbesondere fein- und gemischtkörnige Böden	DIN 18125	Dichte des Bodens ρ , Trockendichte ρ_d Lagerungsdichte D bzw. I_D in Verbindung mit Grenzen der Lagerungsdichte, Porenanteil n und Porenzahl e in Verbindung mit ρ_d	Zustandsbeschreibung, erdstatische Kenngröße, Korrelationsgrundlage für Belastbarkeit des Baugrundes
8	Grenzen der Lagerungsdichte	4	Grobkörnige Böden	DIN 18126	max ρ_d bzw min n oder min e bei dichtester Lagerung, min ρ_d bzw	Bezugsgröße für 7

Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Versuch	Mindest Güteklasse nach DIN 4021	Bodenart	Versuchsnorm	Kenngößen	Anwendung
					max n oder max e bei lockerster Lagerung	
9	Proctorversuch	4	alle Bodenarten	DIN 18127	Wassergehalt Dichtezusammenhang für gegebene Verdichtungsarbeit, Proctordichte ρ_{pr} , optimaler Wassergehalt w_{pr}	Verdichtungsverhalten von Böden, Bezugsgröße für 7, Klassifikationsgrundlage
10	Einaxialer Druckversuch	1	feinkörnige, gemischtkörnige Böden	DIN 18136	Einaxiale Druckfestigkeit q_u , Bruchstauchung ϵ_r , E-Modul	Festigkeitsmaß, Korrelationsgröße für Belastbarkeit des Baugrunds
11	Dreiaxialer Druckversuch	1	alle Bodenarten	DIN 18137 Teil 2	Scherparameter ϕ', c' , c_u , Porenwasserdruck als $f(\sigma_1 - \sigma_3)$ Stauchung als $f(\sigma_1)$, E-Modul, Kompressionsmodul	Erdstatische Berechnungen, Setzungsrechnung
12	Rahmenscherversuch	1 (4)	alle Bodenarten $d < 2\text{mm}$	DIN 18137 Teil 3	Scherparameter ϕ', c' , Dilationswinkel	Erdstatische Berechnung
13	Kreisringscherversuch	1 (4)	alle Bodenarten $d < 2\text{mm}$	-	Restscherfestigkeit	Erdstatische Berechnung
14	Kompressionsversuch	1	feinkörnige und gemischtkörnige Böden	DIN 18135	Steifemodul E_s Konsolidierungsbeiwert c_v	Setzungsrechnung, Sackung
15	Schwellhebungsversuch	1	feinkörnige Bodenarten	-	Schwellmaß	Schwellverhalten von Böden
16	Schwelldruckversuch	1	feinkörnige Bodenarten	-	Schwelldruck	Schwellverhalten von Böden
17	Frosthebungsversuch	1 (4)	feinkörnige und gemischtkörnige Böden	-	Frosthebung, Frosthebungsgeschwindigkeit, Frosthebungsdruck	Frostempfindlichkeit im Verkehrswegebau, bei Gefrierverfahren
18	Durchlässigkeitsversuch	1 (4)	alle Bodenarten	DIN 18130 Teil 1	Durchlässigkeitsbeiwert	Strömungsprobleme, Wasserbewegung im Baugrund
19	Erosionsversuch	1 (4)	feinkörnige Böden	-	Erosionsempfindlichkeit	Wasserbau Dränagen
20	Dispensionsversuch	1 (4)	feinkörnige Böden	-	Erosionsempfindlichkeit	Wasserbau Erddammbau
21	kapillare Steighöhe	1 (4)	grobkörnige, gemischtkörnige Böden	-	Aktive und passive kapillare Steighöhe	Wasserbewegung
22	Zyklischer Dreiaxialversuch	1	alle Böden	-	Verformungsverhalten und Festigkeit bei Schwelllast	Wiederholt und wechselbelastete Böden
23	Resonanzsäulenversuch	1 (4)	alle Böden	-	Dynamischer Schubmodul, Dämpfung	Schwingungsfortpflanzung
24	Mineralogisch-petrographische Untersuchung	4	Grobkörnige Böden	-	Mineralische Zusammensetzung, geologische Herkunft	geologische Zuordnung
25	Röntgenanalyse oder Differential-Thermoanalyse	4	feinkörnige Böden	-	Mineralogische Zusammensetzung, quellfähige Anteile	Bezug zu Zeilen 13, 15 und 16

140.1.1 Untersuchungen zur Eignungsprüfung mineralischer Oberflächen- und Basisabdichtungen (E 3-1)

Untersuchungen zur bodenphysikalischen Klassifizierung

Die für den Einbau als mineralische Abdichtung vorgesehenen Baustoffe sind nach DIN 18 196 zu klassifizieren. Dies gilt auch für anstehende Böden, deren abdichtende Wirkung planmäßig genutzt werden soll (vgl. LB 700-000-000 und LB 710-100-000). Für die Beschreibung mineralischer Dichtungsmaterialien sind anhand einer ausreichenden Anzahl repräsentativer Proben die folgenden bodenphysikalischen Kennwerte in Laborversuchen zu bestimmen:

Kennwerte	DIN
Dichte	DIN 18 125
Gehalt an organischen Bestandteilen (Glühverlust oder Nassoxidation)	DIN 18 128
Kalkgehalt	DIN 18 129
Korndichte	DIN 18 124
Korngrößenverteilung	DIN 18 123
Wasseraufnahme	DIN 18 132
Wassergehalt	DIN 18 121
Zustandsgrenze (Fließgrenze, Ausrollgrenze, Schrumpfgrenze, Plastizitätszahl, Konsistenzzahl)	DIN 18 122

Bestimmung von Einbaukriterien

Wichtige Einbaukriterien für mineralische Abdichtungen sind die Dichte und der Wassergehalt. Die erreichbare Dichte wird bestimmt nach DIN 18 127 (Proctorversuch). Der für den Einbau erforderliche Verdichtungsgrad und der Einbauwassergehalt ermitteln sich in Verbindung mit Durchlässigkeitsversuchen.

An mineralischen Dichtungsmaterialien sind zur Standsicherheitsberechnung, zur Beurteilung des Verformungsverhaltens und der Quelleigenschaften die Zusammendrückbarkeit, das Quellverhalten und die Scherfestigkeit zu bestimmen:

Kennwerte	DIN
Dichte (Proctorversuch)	DIN 18 127
Einbauwassergehalt, Einbau-Verdichtungsgrad	DIN 18 130
Zusammendrückbarkeit (Kompressionsversuch)	DIN 18 135
Quellverhalten	-
Empfehlungen Nr. 11 DGEG AK 19 Quellhebungsversuch nach Huder / Amberg Quellvermögen unter Normalspannung / ebenem Spannungszustand	
Scherfestigkeit	DIN 18 136 / 18 137

Prüfung der Durchlässigkeit

Das Durchlässigkeitsverhalten mineralischer Materialien ist im Labor nach DIN 18 130 Teil 1 zu prüfen. Dabei kann das Durchlässigkeitsverhalten eines Bodens und die dazugehörigen Durchlässigkeitsbeiwerte k und k_0 in [m/s] unter Ansatz eines konstanten oder veränderlichen hydraulischen Gefälles ermittelt werden. Abmessungen und Körnigkeit des Probekörper regelt DIN 18 127.

Untersuchungen zur Veränderung der chemischen Langzeitbeständigkeit

Beschrieben werden Untersuchungen zur Abschätzung der Auswirkungen von Sickerwässern auf das Langzeitverhalten mineralischer Dichtungsmaterialien. Dazu wird anstelle von Leitungswasser im Wasseraufnahmeversuch (DIN 18 132) eine andersartige Prüfflüssigkeit wie z.B. destilliertes Wasser, Oxalsäure (pH >1), Salzsäure und Wasserstoffperoxid (pH <0) oder Natronlauge (pH >14) verwendet.

Damit wird das Verhalten von Tonen / tonigen Bestandteilen bzw. die chemische und strukturelle Stabilität von mineralischen Dichtungselementen des Bodens bei Kontakt mit reinen bzw. hochkonzentrierten Flüssigkeiten oder Lösungen, die als „Grenzstoffe“ in Deponiesickerwässern vorkommen können, untersucht.

Darüber hinaus sind im Einzelfall folgende Prüfungen und Nachweise durchzuführen:

- Überprüfung der Gefügeveränderung
- Rissbildung an der Oberfläche des Abdichtmaterials und die daraus veränderliche resultierende Saugspannung in Abhängigkeit der vorhandenen „Grenzstoffe“
- Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung des Abdichtungsmaterials im Hinblick auf die wechselseitigen Auswirkungen mit den spezifischen Randbedingungen.

140.1.2 Untersuchungen zur Eignungsprüfung mineralischer Dichtwandmassen (E3-2)

Beschrieben werden Prüfverfahren an mineralischen Dichtwandmassen und Kunststoffdichtungsbahnen. Die Eignung mineralischer Dichtwandmassen ist in jedem Einzelfall durch Eignungsprüfung nachzuweisen. In der Regel sind folgende Parameter zu bestimmen:

Prüfparameter für mineralische Dichtwandmassen

Zusammensetzung und Eigenschaften der Ausgangsstoffe

Eigenschaften der frischen Dichtwandmasse

Verarbeitbarkeit und Erstarrungsverhalten der Dichtwandmasse

Festigkeit und Erstarrungs- / Verformungsverhalten der erhärteten Dichtwandmasse

Durchlässigkeit der erhärteten Dichtwandmasse

Dichte und Wassergehalt

Für industriell gefertigte Dichtwand-Fertigmischungen (Trockenmischungen) genügt oft eine einmalige, baustellenunabhängige allgemeine Eignungsprüfung.

140.1.3 Bestimmung des Scherverhaltens von kombinierten Abdichtungssystemen (E3-8)

Zur Beschreibung des Scherverhaltens zwischen mineralischen Schichten und Kunststoffdichtungsbahnen oder Geotextilien sind Scherversuche mit erzwungener Scherfuge erforderlich. Hierzu kommen direkte (Rahmen-) Scherversuche in Anlehnung an die Bestimmung der DIN 18 137 / 2 zum Einsatz.

Darüber hinaus ist der Reibungswinkel und die Kohäsion zu bestimmen, um eine Aussage für die Verbundeigenschaften der Baustoffe / Ausgangsstoffe machen zu können.

140.1.4 Eignungsprüfung von Geotextilien (E3-9)

Für Geotextilien, die im Deponiebau und Sanierungsbereich verwendet werden, ist ein funktionsbezogener experimenteller Nachweis zu erbringen. Dabei sind folgende Untersuchungen durchzuführen:

Kennwerte	DIN
Bestimmung der mechanischen Eigenschaften	
Rissverhalten im Einbauszustand / Gebrauchszustand, Zusammendrückbarkeit;	DIN 53 885 (1998-12)
Zeitstandsverhalten Zugkriechen	DIN EN ISO 13431 (1999-11)
Zeitstandsverhalten, Druckkriechen	DIN EN 1897 (2002-02)
Reibungseigenschaften, Schiefe Ebene	E DIN EN ISO 12957-2 (1998-04)
Flächenmasse	DIN EN 965 (1995-05)
Dicke, mehrlagig	DIN EN ISO 9863-2 (1996-10)
Dicke, Einzellagen	DIN EN 964-1 (1995-05)
Bestimmung der mechanischen / hydraulischen Eigenschaften	
Abdichtungs-, Entgasungs- und Draineigenschaften; Wasserdurchlässigkeit kO ohne Auflast	DIN EN ISO 11058 (1999-02)
Wasserdurchlässigkeit kV mit Auflast	E DIN 60500-04 (1997-02)
Wasserdurchlässigkeit kH radial	E DIN 60500-8 (1997-03)
Wasserdurchlässigkeit kH parallel	DIN EN ISO 12956 (1999-06)
im Deponiebau:	
Nachweis der Beständigkeit gegenüber physikalischen, chemischen und biologischen Einflüssen im Deponie- / Ablagerungsmilieu	
Beständigkeit gegen Oxidation	DIN V ENV ISO 13438 (1999-11)
Beständigkeit gegen mikrobiologischen Abbau	DIN EN 12225 (2000-12)
Kegelfallversuch	DIN EN 918 (1996-02)
Verbindungsstellen	E DIN EN ISO 13426-2 (2001-09)
Beständigkeit gegen Flüssigkeiten	DIN EN ISO 14030 (2002-03)
Herausziehversuch	E DIN EN ISO 13738 (2000-02)
Stempeldurchdruckkraft	DIN EN ISO 12236 (1996-04)
Pyramidenfallversuch	DIN V 60500-1 (1999-06)
Beschädigung beim Einbau in körnige Materialien	DIN V ENV ISO 10722-1 (1998-05)
Scheuerbeschädigungen	DIN EN ISO 13427 (1998-10)
Beständigkeit gegen Hydrolyse	DIN EN 12447 (2002-03)
Reibungseigenschaften, Scherkasten	E DIN EN ISO 12957-1 (1998-04)
Wasserdichtheit	DIN EN 13562 (2000-07)
Wirksame Öffnungsweite	DIN EN ISO 12956 (1999-06)
Schutzwirksamkeit am GMB	E DIN EN 13719 (2000-02)
Verbindungsstellen, Geozellen	E DIN EN ISO 13426-1 (1998-12)
Kontrollprüfung von Baustellenproben	DIN EN ISO 13437 (1998-10)
Bewertung nach Beständigkeitsprüfungen	DIN EN 12226 (2000-12)
Witterungsbeständigkeit	DIN EN 12224 (2000-11)
Höchstzugkraft Nähte / Verbindungen, 200 mm	DIN EN ISO 10321 (1996-06)
Textilien – Vliesstoffe Höchstzugkraft 50mm	DIN EN 29073-3 (1992-08)
Höchstzugkraft, Streifen 200 mm	DIN EN ISO 10319 (1996-06)
Höchstzugkraft-Gewebe	DIN EN ISO 13934-1 (1999-04)

140.2 Kostenermittlung

140.2.1 Abrechnungseinheiten, Kostenkalkulation

In der Kostenkalkulation werden die Einheitspreise / Leistungen nach Tonnage, Stück, Fläche, Volumen und Zeiteinheit abgerechnet.

140.2.2 Leistungsregister

weiterführende Leistungen:

LB 110	geotechnische Felduntersuchungen
LB 130	Chemisch-physikalische Analytik
LB 300	Erdarbeiten
LB 310	Wiedereinbau
LB 350	Straßen, Wege, Gleise
LB 700	Oberflächenabdeckung
LB 710	Oberflächenabdichtung
LB 800	Aufbereitung

140.3 Literatur

Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (1997): Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“.

Smoltczyk, U.: Grundbau-Taschenbuch; Teil 1-5.- Ernst, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin

140.4 Information über Leistungsanbieter

Für die geotechnischen Laboruntersuchungen sind vorzugsweise akkreditierte bzw. zertifizierte Fachlaboratorien auszuwählen.