

LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

**Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-2
„Wasserhaushaltsschichten in
Deponieoberflächenabdichtungssystemen“**

vom 02.12.2020

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	3
2	Anforderungen an die Komponente	5
2.1	Dicke.....	5
2.2	Pflanzenverfügbares Wasserspeichervermögen	5
2.3	Durchsickerung	5
2.4	Luftkapazität	6
2.5	Schadstoffgehalte und Anteil wasserlöslicher Bestandteile	6
2.6	Nährstoffe	6
2.7	Standsicherheit und Erosionsschutz	7
3	Hinweise zur Auswahl geeigneten Bodenmaterials.....	7
4	Dimensionierung zur Erfüllung der Anforderungen an die Durchsickerung	10
4.1	Wasserhaushaltsmodelle	10
4.1.1	Anforderungen an Wasserhaushaltsmodelle	10
4.1.2	Anwendung der Wasserhaushaltsmodelle.....	11
4.1.3	Prüfung der Ergebnisse der Modellierung	12
4.2	Anforderungen an Felduntersuchungen	12
5	Weitere Hinweise zu Entwurf und Bemessung.....	14
5.1	Aufbau	14
5.2	Dicke zur Erfüllung sonstiger Schutzfunktionen	14
5.2.1	Art der Abdichtungskomponenten	14
5.2.2	Art der Entwässerungsschicht.....	15
5.2.3	Wasserspeichervermögen.....	15
5.2.4	Pflanzenwurzeln.....	15
5.3	Begrünungs- und Nutzungsziel	16
5.4	Witterungsbedingungen am Standort	16
5.5	Standsicherheit	17
6	Empfehlung zur Gewinnung, Herstellung und Lagerung des Bodenmaterials	18
7	Empfehlung zum Einbau des Bodenmaterials.....	19
8	Empfehlungen zum Schutz der Wasserhaushaltsschicht	20
9	Qualitätsmanagement.....	20
9.1	Allgemeines	20
9.2	Eignungsprüfung des Bodenmaterials.....	21
9.3	Eignungsprüfung im Großmaßstab/Probefeld	22
9.4	Qualitätsmanagement während des Einbaus	22
10	Freigabe / Abnahme	22
11	Technische Bezugsdokumente.....	23

Anhang 1: Anforderungen und Prüfungen für die Wasserhaushaltsschicht

1 Allgemeines

Nach Anhang 1, Nr. 2.1 der Deponieverordnung (DepV) dürfen für das Abdichtungssystem Materialien, Komponenten oder Systeme nur eingesetzt werden, wenn sie dem Stand der Technik nach Anhang 1 Nummer 2.1.1 DepV entsprechen und wenn dies der zuständigen Behörde nachgewiesen worden ist.

Für andere Materialien, Komponenten oder Systeme als für Geokunststoffe, Polymere und Dichtungskontrollsysteme kann der Nachweis dadurch erbracht werden, dass eine bundeseinheitliche Eignungsbeurteilung der Länder vorgelegt wird. Nach Anhang 1 Nr. 2.1.2 DepV definieren die Länder Prüfkriterien für diese bundeseinheitlichen Eignungsbeurteilungen sowie für den Einsatz von natürlichem, ggf. vergütetem Boden- und Gesteinsmaterial aus der Umgebung sowie von Abfällen und legen Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie an das Qualitätsmanagement in bundeseinheitlichen Qualitätsstandards fest.

Der vorliegende Bundeseinheitliche Qualitätsstandard ist die fachliche Grundlage, auf der die Eignung von Wasserhaushaltsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen von der zuständigen Behörde zu beurteilen ist. Die Nummern 2, 4, 9 und 10 dieses BQS beinhalten konkrete, einzuhaltende Anforderungen, während die Nummern 3 und 5 bis 8 dem Anwender Hinweise und Empfehlungen im Zusammenhang mit der Herstellung von Wasserhaushaltsschichten geben.

Die Wasserhaushaltsschicht ist eine besondere Form der Rekultivierungsschicht. Sie soll aufgrund des Zusammenwirkens des Wasserspeichervermögens des Bodens und der Verdunstungsleistung des Bewuchses die Durchsickerung in hohem Maße mindern.

Die Deponieverordnung enthält Anforderungen an Wasserhaushaltsschichten für folgende Fälle:

- a) als Ersatz der Abdichtungskomponente und der Entwässerungsschicht in Oberflächenabdichtungssystemen der Deponieklasse I und
- b) als Ersatz einer von zwei Abdichtungskomponenten in Oberflächenabdichtungssystemen der Deponieklasse II.

Darüber hinaus können Wasserhaushaltsschichten

- c) die Wirksamkeit anderer Abdichtungskomponenten unterstützen, z. B. beim Einsatz von Kapillarsperren bzw. bezüglich der Reduzierung der Austrocknungs- und Durchwurzelungsgefährdung mineralischer Dichtungskomponenten.

Eine Wasserhaushaltsschicht ist immer im Zusammenwirken mit dem Bewuchs zu sehen. Durch Auswahl eines geeigneten Bewuchses soll die Oberfläche frühzeitig vor Erosion geschützt und langfristig eine hohe Evapotranspiration erreicht werden. Der Bewuchs ist standortspezifisch festzulegen. Dieser BQS beinhaltet keine speziellen Regelungen zum Bewuchs.

Die GDA-Empfehlung E 2-32 enthält Hinweise zum Bewuchs, zu Bewuchstypen, zur Bepflanzung sowie zu Pflegemaßnahmen.

Sofern die Wasserhaushaltsschicht auch spezielle Aufgaben als Methanoxidationsschicht erfüllen soll, wird zusätzlich auf die diesbezüglichen Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards 7-3 „Methanoxidationsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ verwiesen.

Unterhaltungswege auf der Deponieoberfläche sind auf das für die Unterhaltung erforderliche Maß zu begrenzen. Die Anforderungen des vorliegenden BQS sind nicht auf diese Flächen anzuwenden.

Voraussetzung für die Funktion der Wasserhaushaltsschicht ist ihre Stabilität (z. B. Standsicherheit, Erosionsstabilität).

Die Wasserhaushaltsschicht als Rekultivierungsschicht ist die oberste Komponente des Oberflächenabdichtungssystems von Deponien. Sie dient insbesondere der Verminderung der Durchsickerung auf das gemäß DepV vorgegebene Maß (s. Nr. 2.3).

Die Wasserhaushaltsschicht muss darüber hinaus, ebenso wie eine Rekultivierungsschicht, so gestaltet sein, dass sie die ggf. darunterliegende Entwässerungs- und/oder Abdichtungskomponente schützt und in ihrer Funktion unterstützt. Daher muss sie so beschaffen sein, dass

- schrumpfungsempfindliche Abdichtungskomponenten vor Wasserverlust aufgrund der Bildung schädlicher Wasserspannungen geschützt werden,
- Lösung und Ausfällung (z. B. Verockerung) vermieden werden,
- das Einwachsen von Pflanzenwurzeln in die Entwässerungs- und Abdichtungsschicht weitestgehend vermieden wird
- mechanische Einwirkungen wie z. B. Erosion verhindert bzw. minimiert werden
- Frost in der Entwässerungsschicht ausgeschlossen wird
- sie zum Erreichen einer hohen Evapotranspiration durch die Pflanzen Wasser im Wurzelraum pflanzenverfügbar speichert.

Die Wasserhaushaltsschicht dient als Pflanzenstandort für die Begrünung zur Gewährleistung der Einbindung des Deponiekörpers in die umgebende Landschaft. Sie muss den Pflanzen mechanischen Halt bieten und sie ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgen.

Ferner können sich spezielle Anforderungen an Wasserhaushaltsschichten beim Einsatz bestimmter Abdichtungskomponenten bzw. Deponiebaustoffe ergeben. Diese sind in den jeweiligen Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards und Eignungsbeurteilungen enthalten.

2 Anforderungen an die Komponente

Wasserhaushaltsschichten haben folgende generelle Anforderungen zu erfüllen:

2.1 Dicke

Die Dicke der Wasserhaushaltsschicht ist unter Beachtung von Nr. 4 so zu bemessen, dass die Anforderungen an die Durchsickerung nach Nr. 2.3 eingehalten werden. Wasserhaushaltsschichten dürfen eine Mindestdicke von 1,5 m nicht unterschreiten (DepV Anhang 1 Nr. 2.3.1.1, Satz 1, Ziffer 1). Verschiedene Bundeseinheitliche Qualitätsstandards und Eignungsbeurteilungen mineralischer Abdichtungskomponenten beinhalten weitere Anforderungen an die Dicke der Rekultivierungsschicht, die auch bei der Errichtung von Wasserhaushaltsschichten zu beachten sind (s. auch Nr. 5.2.1).

2.2 Pflanzenverfügbares Wasserspeichervermögen

Die Wasserhaushaltsschicht soll eine nutzbare Feldkapazität (nFK) von wenigstens 220 mm über die Gesamtdicke (DepV Anhang 1 Nr. 2.3.1.1, Satz 1, Ziffer 2) aufweisen. Bei niederschlagsarmen Standorten (weniger als 600 mm pro Jahr) kann die zuständige Behörde auf Antrag des Deponiebetreibers Abweichungen von der nutzbaren Feldkapazität zulassen, wenn nachgewiesen wird, dass eine gleichwertige Dicht- und Schutzwirkung erreicht wird (DepV Anhang 1 Nr. 2.3.1.1 Satz 2).

Weitere Hinweise zur nutzbaren Feldkapazität sind Nr. 5.2.3 zu entnehmen.

2.3 Durchsickerung

Nach Anhang 1 Nr. 2.3.1.1, Satz 1, Ziffer 3 DepV darf die Durchsickerung einer Wasserhaushaltsschicht im fünfjährigen Mittel¹ höchstens 10 Prozent vom langjährigen Mittel des Niederschlags (in der Regel 30 Jahre), höchstens 60 mm pro Jahr, spätestens 5 Jahre nach Herstellung betragen.

¹ Der Nachweis, dass der geforderte höchstens zulässige Durchfluss im fünfjährigen Mittel nicht überschritten wird, gilt dann als erfüllt, wenn sich das fünfjährige Mittel auf die ungünstigsten 5 aufeinander folgenden Jahre der betrachteten Zeitreihe bezieht. Durchflüsse in Jahren mit extremen Jahresniederschlägen, deren Wiederkehrwahrscheinlichkeit über 100 Jahren liegen, müssen nicht berücksichtigt werden.

In diesem Fall kann sie in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien der Klasse II an Stelle der zweiten Abdichtungskomponente und der Rekultivierungsschicht eingebaut werden (DepV Anhang 1 Nr. 2.3 Tabelle 2 Fußnote 6).

Soll die Wasserhaushaltsschicht in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien der Klasse I an Stelle der Abdichtungskomponente, der Entwässerungsschicht und der Rekultivierungsschicht eingebaut werden, darf der Durchfluss durch die Wasserhaushaltsschicht im fünfjährigen Mittel nicht mehr als 20 mm/Jahr betragen (DepV Anhang 1 Nr. 2.3 Tabelle 2 Fußnote 5).

2.4 Luftkapazität

Die Wasserhaushaltsschicht muss so eingebaut werden, dass es zu keiner Bodenschadverdichtung kommt, eine gleichmäßige Durchwurzelung gefördert sowie der Bildung von Stauwasser und der Mobilisierung insbesondere von Eisen- und Mangan vorgebeugt wird. Die Luftkapazität ist unter Berücksichtigung der Empfehlungen zum Einbau des Bodenmaterials in Nr. 7 festzulegen.

2.5 Schadstoffgehalte und Anteil wasserlöslicher Bestandteile

Das eingesetzte Bodenmaterial muss die Anforderungen nach Anhang 3 DepV einhalten.

Werden Deponieersatzbaustoffe eingesetzt, müssen die Anforderungen des Teils 3 der DepV eingehalten werden.

Es ist sicherzustellen, dass nur solches Bodenmaterial eingesetzt wird, welches ermöglicht, dass das in einer unter der Wasserhaushaltsschicht angeordneten Entwässerungsschicht gefasste Wasser nach den wasserrechtlichen Vorschriften ohne weitere Behandlung eingeleitet werden kann.

Die Wasserhaushaltsschicht soll ein nur geringes Lösungs- und Austragspotenzial von Stoffen besitzen, um die Kontinuität des Porenraums in der Rekultivierungsschicht und die Durchlässigkeit der Entwässerungsschicht oder ggf. einer Kapillarsperre zu erhalten. Dies betrifft insbesondere die Ausfällung von Kalk, Eisen und Mangan.

2.6 Nährstoffe

Die Zufuhr von Nährstoffen durch das Auf- und Einbringen von Materialien in und auf die Wasserhaushaltsschicht ist standortspezifisch nach Menge und Verfügbarkeit dem Pflanzenbedarf und den besonderen deponietechnischen Zielsetzungen (z.B. Begrenzung der Nähr- und

Schadstofffracht im Entwässerungsschichtabfluss, Vermeidung der Verockerung der Entwässerungsschicht und Vermeidung der Beeinträchtigung des Quellverhaltens tonhaltiger Abdichtungskomponenten) anzupassen.

Die Anforderungen der DIN 18918 und DIN 18919 an die Nährstoffversorgung, der DIN 18915 an Düngemittel und Bodenhilfsstoffe sowie des Anhangs 1 an den Humusgehalt sind zu beachten.

2.7 Standsicherheit und Erosionsschutz

Die Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems ist nachzuweisen. Insbesondere muss die Wasserhaushaltsschicht ausreichend standsicher gegen Abgleiten auf vorgegebener Gleitfläche sein.

Die Beständigkeit gegen Wind- und Wassererosion (innere, äußere und Kontakterosion) Suffosion (innere, äußere und Kontaktsuffosion) und Kolmation ist im Zusammenwirken mit dem Bewuchs sicher zu stellen.

Hinweise zu Standsicherheit und Erosionsschutz enthält Nr. 5.5.

3 Hinweise zur Auswahl geeigneten Bodenmaterials

In der Regel wird Bodenmaterial aus Gruben oder Bodenaushub, der im Rahmen von Baumaßnahmen angefallen ist, eingesetzt. Besteht das Ziel, eine der Umgebung entsprechende Vegetation zu entwickeln, empfiehlt es sich, Böden der Umgebung einzusetzen, sofern sie die Anforderungen dieses BQS erfüllen.

Die Wasserhaushaltsschicht soll vorrangig aus natürlichem Bodenmaterial aufgebaut werden. Steht geeignetes natürliches Bodenmaterial nicht ausreichend zur Verfügung, können auch andere geeignete Rekultivierungssubstrate eingesetzt werden, wenn die eingesetzten Materialien langzeitbeständig sind. Die Anforderungen in Nr. 2 sind zu beachten.

Zur besseren Orientierung bei der Auswahl geeigneter Böden bietet sich das Diagramm der Feinbodenarten mit Isolinien für die nutzbare Feldkapazität (nFK) und Luftkapazität (LK) bei einer Trockendichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ an (Abbildung 1). Das Diagramm basiert auf Bodenuntersuchungen der geologischen Landesdienste der Bundesrepublik Deutschland (vgl. Dehner et al. 2015). Eine nutzbare Feldkapazität über die Gesamtdicke der Wasserhaushaltsschicht von 1,50 m gemäß DepV von 220 mm entspricht in etwa eine nutzbare Feldkapazität von 140 mm/m bzw. 14 Vol.-% (s. auch Nr. 5.2.3). Die Isolinien für 14 Vol.-% nFK bei einer Trockenrohddichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ und für jeweils 8 Vol.-% LK bei einer Trockenrohddichte von $1,3 \text{ g/cm}^3$ bzw. $1,5 \text{ g/cm}^3$ sind besonders hervorgehoben. Die Grobbodenanteile ($> 2 \text{ mm}$) werden bei

der Berechnung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) nicht berücksichtigt und müssen demzufolge anteilig herausgerechnet werden.

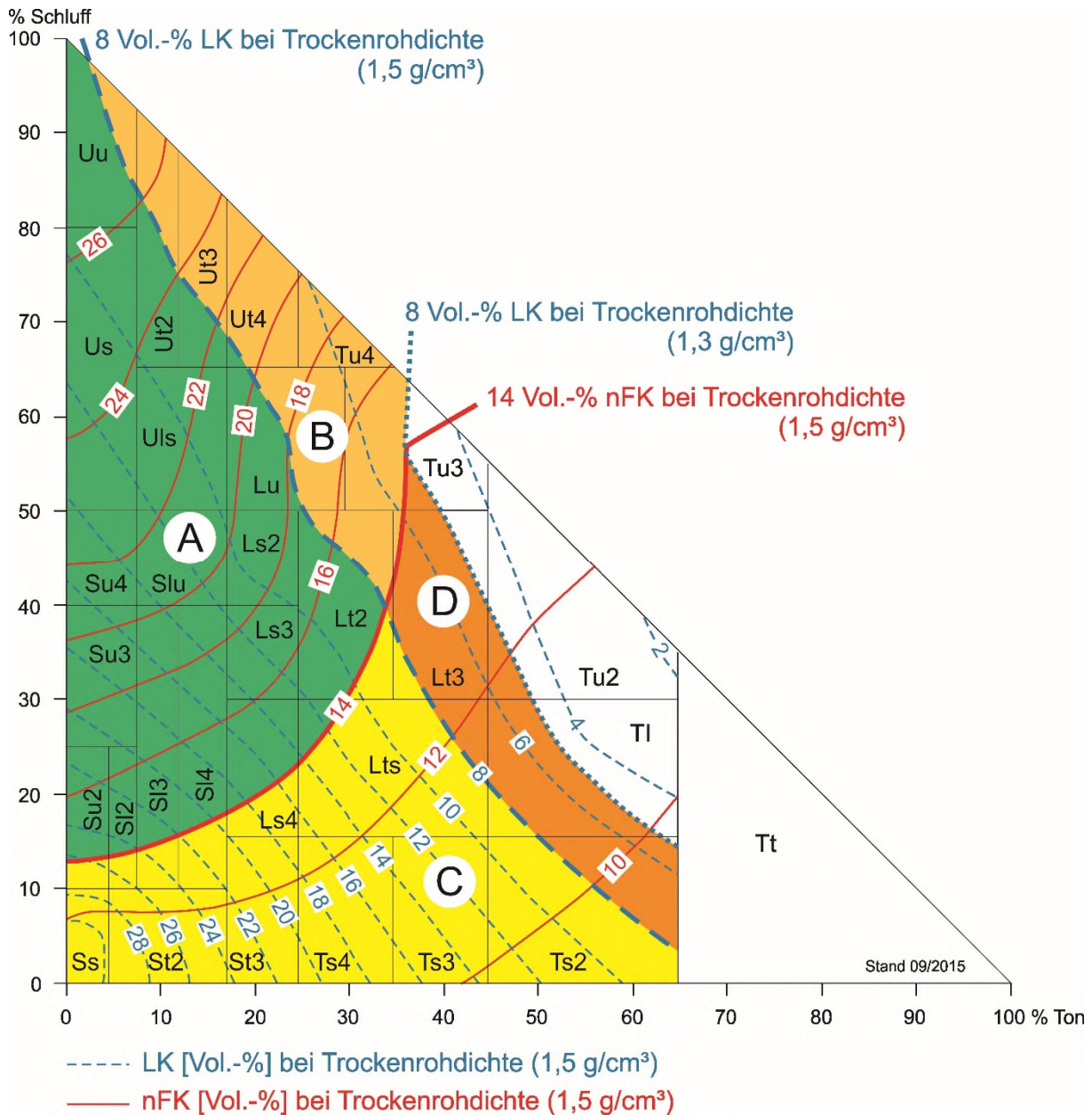


Abbildung 1: Orientierung für die Auswahl von Böden als Rekultivierungsmaterial auf der Basis bundesweiter Werte für die nutzbare Feldkapazität und die Luftkapazität (Dehner, U. & Maier-Harth, U. 2016)

Bei den dargestellten Bodenarten „A“ ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sie sich im Ergebnis der Eignungsprüfung als geeignet erweisen. Bereits bei einer Mindestdicke der Wasserhaushaltsschicht von 1,50 m, „mittlerer“ Lagerungsdichte (1,5 g/cm³) und Beachtung der Nr. 6 (Empfehlung zur Gewinnung, Herstellung und Lagerung des Bodenmaterials) und 7 (Empfehlung

lung zum Einbau des Bodenmaterials) kann bei Verwendung dieser Korngemische (sog. Bodenarten nach AG Boden, 2005 und DIN 19682-2) eine nutzbare Feldkapazität von 220 mm und eine Luftkapazität von 8 Vol.-% erreicht werden.

Um eine ausreichende Luftkapazität zu erreichen, müssen Böden der Bodenkategorie „B“ locker eingebaut werden. Sie kommen häufig in Lösslandschaften vor und müssen auch dort in der Landwirtschaft bodenschonend bearbeitet werden. Durch Verdichtung vorgeschädigte Böden können mit geeigneten Verfahren bei passender Konsistenz und Witterung aufbereitet werden, um den Anforderungen vor allem hinsichtlich der LK zu entsprechen.

Die Böden der Kategorie „C“ haben bei mittlerer Lagerungsdichte im allgemeinen gute LK-Werte, aber selbst bei optimalem Einbau reicht 1,50 m Einbaudicke nicht aus, um den erforderlichen nFK-Wert von 220 mm zu erreichen. Die Mächtigkeit muss folglich entsprechend erhöht werden. Ein begrenzender Faktor für die Erhöhung der Mächtigkeit ist die Tiefe des effektiven Wurzelraumes des Bewuchses zuzüglich der kapillaren Steighöhe, da das dort gespeicherte Bodenwasser von den Pflanzen wiederaufgenommen und verdunstet werden soll. Die Bodenarten St3, Ts4, Ts3 und Ts2 kommen in der Natur selten vor, werden jedoch mitunter als künstlich hergestellte Substrate angeboten.

Die Bodenarten im Bereich „D“ zwischen den Kategorien „B/C“ und der Isolinie „8 Vol.-% LK bei Trockenrohdichte 1,3 g/cm³“ erfordern sowohl eine Mächtigkeit > 1,50 m, als auch einen lockeren Einbau, um die Anforderungen an LK und nFK zu erfüllen. Je nach Konsistenz des Bodens ist dieses Ziel oftmals nur schwer zu erreichen.

Auf die Einhaltung der Anforderungen in Nr. 6 und 7 muss bei Verwendung der Bodenarten aus den Kategorien „B“, „C“ und „D“ in besonderem Maße geachtet werden.

Bei der Auswahl der Böden sind außer der Luft- und nutzbaren Feldkapazität weitere Bodeneigenschaften zu berücksichtigen. Böden mit problematischen Eigenschaften sind:

- erosionsanfällige Böden: Uu, Ut2, Ut3, Ut4, Us, Uls
- schrumpfrissanfällige Böden (Quell- und Schrumpfvorgänge im Boden können Pflanzenwurzeln empfindlich schädigen): Tonreiche Böden (Tongehalt \geq 45 Gew.-%) wie z. B.: Tt, Tl, Tu2, Ts2
- verschlammungs-/verkrustungsanfällige Böden: Uu, Ut2, Ut3, Ut4, Us, Uls
- besonders verdichtungsanfällige Böden: Uu, Ut2, Ut3, Ut4, Us, Uls, TU4, Lu
- tonreiche Böden mit Bildung verhärteter Aggregate: z.B.: Tt, Tl, Tu2
- Böden mit wenig pflanzenverfügbarem Wasser: Tt, Ss
- Böden, die schwer zu bearbeiten sind (insbesondere für Mischsubstrate): Tt

Die Wichtung der problematischen Bodeneigenschaften ist von den örtlichen Standortgegebenheiten (z.B. Böschungsneigung, Niederschlagsverhältnisse, Bepflanzung) abhängig. Mit technischen Maßnahmen und vorausschauender Planung (Bauzeitraum, Baustraßen, bodenschonender Einbau, Anspritzbegrünung mit Erosionsschutz usw.) kann deren Relevanz reduziert werden.

Durch Mischen und gegebenenfalls Aufbereiten können aus zunächst ungeeignetem Bodenmaterial geeignete Substrate der Kategorien „A“, „B“, „C“ oder „D“ hergestellt werden. Reine Sande (Ss), die in der Regel für Wasserhaushaltsschichten nicht geeignet sind, können beispielsweise zum Mischen mit schluffreichen Böden verwendet werden. Die Bodenarten Tu2, TI, Ts2 und Lt3 erreichen in der Regel die hier genannten Werte für nFK und LK kaum oder nicht und sind somit für Wasserhaushaltsschichten wenig bzw. nicht geeignet. Für Mischsubstrate können sie jedoch z.T. Verwendung finden. Ob sich im konkreten Anwendungsfall die vorgesehenen Böden für das Mischen eignen können, sollte von einem in der Bodenkunde Fachkundigen beurteilt werden. Reine Tone (Tt) sind wegen ihrer schwierigen Aufbereitung für den Einsatz in Rekultivierungsschichten generell nicht geeignet.

Ausführliche Hinweise zu den bodenhydrologischen Parametern nFK und LK sind in den grundsätzlichen Aussagen der GDA-Empfehlung 2-31 zu finden. Auch das Arbeitsblatt 13 des LANUV beinhaltet Hinweise zur Auswahl geeigneter Böden für Rekultivierungsschichten.

Von der Einhaltung der Anforderungen des Teils 3 der DepV kann in der Regel ausgegangen werden, wenn dieses Material aus Flächen stammt, bei denen keine schädlichen Bodenveränderungen vorliegen.

4 Dimensionierung zur Erfüllung der Anforderungen an die Durchsickerung

Wasserhaushaltsschichten sind hinsichtlich Dicke, Festlegung der bodenkundlichen Parameter und Auswahl des Bewuchses so zu dimensionieren, dass die Anforderungen an die jährliche Durchsickerung gemäß Nr. 2.3 eingehalten werden. Hierzu können Ergebnisse langjähriger Felduntersuchungen, ggf. ergänzt um Simulationen mit Wasserhaushaltsmodellen, herangezogen werden. Unabhängig vom Ergebnis der Dimensionierung darf die Mindestdicke einer Wasserhaushaltsschicht von 1,50 m nicht unterschritten werden (DepV Anhang 1 Nr. 2.3.1.1 Satz 1 Ziffer 1).

4.1 Hinweise zu Wasserhaushaltsmodellen

4.1.1 Anforderungen an Wasserhaushaltsmodelle

Wasserhaushaltsmodelle sollten folgende Anforderungen erfüllen:

- Dokumentation der fachwissenschaftlichen Grundlagen der Wasserhaushaltsmodellierung,
- hinreichende Validierung für den Anwendungsfall „Rekultivierungs- / Wasserhaushaltsschichten von Deponien“,
- Verfügbarkeit der Eingabedaten,
- Handhabbarkeit sowie geeignete Benutzerunterstützung und
- Verfügbarkeit des Modells für Prüfungen der Nachweisführung.

4.1.2 Anwendung der Wasserhaushaltsmodelle

Simulationsläufe müssen in solch ausreichender Zahl durchgeführt werden, dass die Eingangsparameter innerhalb ihrer zu erwartenden Schwankungsbreiten berücksichtigt werden.

Die Unsicherheiten der Simulationsergebnisse infolge der modellhaften Abbildung der Prozesse müssen dargestellt und fachlich bewertet werden.

Bei der Festlegung der Eingangsparameter ist Folgendes zu beachten:

a) Meteorologische Daten

Zur Modellierung sind für den Standort repräsentative meteorologische Daten zu verwenden. Vorzugsweise sind die für das Wasser- und Energiedargebot relevanten Daten der auf der Deponie installierten meteorologischen Messstation zu verwenden. Sofern auf der Deponie keine meteorologische Messstation vorhanden ist, die Qualität oder Quantität der erfassten Daten nicht ausreichend sind, oder die Messreihe weniger Jahre als das nachfolgend genannte Minimum umfasst, ist auf die Werte einer meteorologischen Messstation an einem vergleichbaren Standort in der Umgebung zurückzugreifen. Die Repräsentativität der Messreihen ist unter Beachtung der mikroklimatischen Verhältnisse für den Standort nachzuweisen.

Für die Wasserhaushaltssimulation sind Niederschlagsreihen zu verwenden, die in der Regel 30, mindestens aber 20 Jahre umfassen. Die Zeitdiskretisierung ist modellabhängig festzulegen. In der Regel sind Niederschläge als Tagessummenwerte anzusetzen.

Die Niederschlagswerte sollen so aktuell wie möglich sein und die standortspezifische Bandbreite der Jahressummen möglichst vollständig abdecken, also auch feuchte und trockene Jahre beinhalten. Zur Beurteilung der Trockenheit eines Jahres wird empfohlen, zusätzlich die klimatische Wasserbilanz (Niederschlag abzüglich potenzieller Evapotranspiration) heranzuziehen.

b) Parameter zur Beschreibung der Vegetation

Wasserhaushaltsmodelle verwenden unterschiedliche Parameter, um die Vegetation zu beschreiben (z. B. maximaler Blattflächenindex und die Tiefe der Verdunstungszone, die von der Durchwurzelung und von den Bodeneigenschaften abhängt). Die Werte müssen dem geplanten Bewuchs entsprechen.

Bei der Modellierung von Wasserhaushaltsschichten mit höherem Bewuchs ist zu beachten, dass die überwiegend angewandten Wasserhaushaltsmodelle für höheren Bewuchs nicht ausreichend validiert sind. Die Verdunstungsleistung des höheren Bewuchses wird derzeit bei diesen Wasserhaushaltsmodellen tendenziell unterschätzt, insbesondere die von dichten Gehölzbeständen und von Nadelgehölzen. Die Verdunstung durch höheren Bewuchs kann durch

Anwendung von monatsvariablen Bestandsfaktoren KC berücksichtigt werden. Da bisher noch keine belastbaren KC-Faktoren für höheren Bewuchs vorliegen, wird deren Anwendung nur empfohlen, wenn der KC-Faktor am Prüf-/Einsatzstandort in einem Feldversuch ermittelt worden ist.

Bei der Durchwurzelung ist die flächenhaft wirksame Durchwurzelungstiefe anzusetzen, nicht jedoch die maximale Durchwurzelungstiefe, die nur punktuell durch einzelne tief reichende Wurzeln oder vereinzelt Tiefwurzler erreicht wird. In die Festlegung der Tiefe der Verdunstungszone ist zusätzlich der darunterliegende Bodenbereich einzubeziehen, aus dem Wasser in nennenswerter Menge kapillar zu den Wurzeln aufsteigen kann. Sie darf die tiefste Lage der horizontalen Wasserscheide im Boden in einem Trockenjahr nicht unterschreiten (siehe Konzept des effektiven Wurzelraumes nach Scheffer, F.; Schachtschabel, P. et al. (2009)). Die Tiefe der Verdunstungszone hängt von der Vegetation und den Bodeneigenschaften ab (v. a. von Bodenart, Verdichtung und Humusgehalt).

Die flächenhaft wirksame Durchwurzelungstiefe ist abhängig vom Bewuchs und von der Verdichtung des Bodens, dem Humusgehalt und der Bodenart. Ein gelockerter Boden weist z.B. eine höhere flächenhaft wirksame Durchwurzelungstiefe auf als ein verdichtet eingebauter Boden, da dessen pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat infolge von Sauerstoffmangel durch Stauwasser meist weniger gut ausgeschöpft werden kann. Die kapillare Steighöhe ist abhängig von der Bodenart.

c) nutzbare Feldkapazität

Werden für die Modellierung die Werte der Bodenkundlichen Kartieranleitung herangezogen, sind sie aufgrund der durch den Einbau des Bodenmaterials eintretenden Störung im Bereich von 1 Vol.-% bei Sand bis 4 Vol.-% bei Schluff abzumindern.

4.1.3 Prüfung der Ergebnisse der Modellierung

Es wird empfohlen, die Eingangsparameter und die Simulationsergebnisse ggf. unter Hinzuziehung von Sachverständigen auf Plausibilität zu prüfen.

4.2 Anforderungen an Felduntersuchungen

Die Dimensionierung von Wasserhaushaltsschichten muss Gegenstand des Antrags zur Stilllegung der Deponie sein. Um Ergebnisse aus Felduntersuchungen für die Dimensionierung nutzen zu können, bedürfen sie daher eines ausreichenden zeitlichen Vorlaufs.

Folgende Anforderungen an Felduntersuchungen sind einzuhalten:

- Großlysimeter mit einem zentralen Messbereich von mindestens 300 m²,
- mit dem geplanten großtechnischen Einsatz vergleichbare Verfahren für den Einbau der Wasserhaushaltsschicht
- repräsentative Lage,
- repräsentativer Bewuchs,
- umlaufender Randsaum mit gleichem Aufbau von Boden und Bewuchs um den zentralen Messbereich (Vermeidung einer Verfälschung der Ergebnisse durch Randeffekte),
- direkte Messung des Niederschlags und der Durchsickerung der Wasserhaushaltsschicht mindestens als Tageswert,
- Messzeitraum mindestens 5 Jahre und Berücksichtigung eines nassen Jahres (Die ersten 5 Jahre nach Herstellung des Großlysimeters sollten unberücksichtigt bleiben, da die Messergebnisse durch Aufsättigung, Vegetations- und Bodenentwicklung zunächst nicht repräsentativ sind.),
- Fachgutachterliche Begleitung des Baus des Großlysimeters und der Messungen sowie Bewertung der Messergebnisse durch einen erfahrenen Sachverständigen

Auf die GDA-Empfehlung E 5-7 „Lysimeter-Meßeinrichtungen für mineralische Oberflächenabdichtungen“ wird verwiesen.

Wenn die klimatischen Standortbedingungen nachweislich repräsentativ und übertragbar sind, können Ergebnisse von Feldversuchen auch für die Bemessung von Wasserhaushaltsschichten anderer Deponiestandorte verwendet werden.

Zur Extrapolation der Messergebnisse auf den Mindestzeitraum bzw. zur Übertragung der Messergebnisse auf andere Standortbedingungen sollen Wasserhaushaltsmodelle eingesetzt werden, wenn

- der Messzeitraum mit repräsentativem Bewuchs kürzer als 20 bis 30 Jahren ist oder
- die klimatischen Bedingungen, die Vegetationsverhältnisse oder die Eigenschaften der Böden oder des Aufbaus der Felduntersuchung nicht repräsentativ für den Planungsstandort sind.

Sofern am Standort ein Oberflächenabdichtungssystem ohne Konvektionssperre geplant ist, kann das Versuchsfeld zur Bemessung der Wasserhaushaltsschicht bereits so angelegt werden, dass es als Kontrollfeld gemäß Anhang 1 Nr. 2.3 Satz 4 DepV nutzbar ist.

5 Weitere Hinweise zu Entwurf und Bemessung

5.1 Aufbau

Die Wasserhaushaltsschicht soll aus zwei Lagen bestehen, dem humushaltigen Oberboden mit einer Schichtdicke bis 30 cm und dem Unterboden mit einem geringen Anteil an organischer Substanz (s. Anhang 1).

5.2 Dicke zur Erfüllung sonstiger Schutzfunktionen

Über die Dimensionierung von Wasserhaushaltsschichten gemäß Nr. 4 nach ihrer Durchsickerung hinaus sind bei der Festlegung ihrer Dicke folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Witterungsbedingungen am Standort (insbesondere Betrachtung von Durchschnitts- und Extremjahren hinsichtlich Niederschlagshöhe und -verteilung, Starkregenhäufigkeit und -intensität, max. Frosteindringtiefe, Jahresverlauf der potenziellen Verdunstung sowie der klimatischen Wasserbilanz),
- Wasserverbrauch durch die Vegetation; betrachtet über deren Entwicklungsstadien bis hin zum Zielzustand und
- Eigenschaften des verfügbaren Bodenmaterials

Eine Wasserhaushaltsschicht ist eine besondere Form der Rekultivierungsschicht. Sie muss daher auch den Anforderungen an eine Rekultivierungsschicht genügen. Gemäß Anhang 1 Nr. 2.3.1 Satz 1 Nr. 1 DepV ist die Rekultivierungsschicht nach den Schutzerfordernissen der ggf. darunterliegenden Systemkomponenten zu bemessen. Hierbei sind folgende Kriterien maßgebend:

- die Empfindlichkeit der Abdichtungskomponente gegenüber Wassergehaltsänderungen,
- die Empfindlichkeit der Entwässerungsschicht gegen Ausfällung und Pflanzenwurzeln,
- das Wasserspeichervermögen der Rekultivierungsschicht,
- die Wurzeltiefe der vorgesehenen und langfristig sich entwickelnden Vegetation,
- die geplante Nutzung und
- die Witterungsbedingungen am Standort.

Die in der DepV vorgegebene Mindestdicke von 1,50 m wird nicht in jedem Fall ausreichen, um die Entwässerungsschicht oder eine mineralische Abdichtungskomponente ohne eine aufliegende Konvektionssperre zu schützen und eine nachhaltige Rekultivierung zu gewährleisten.

5.2.1 Art der Abdichtungskomponenten

Kunststoffdichtungsbahnen als obere Abdichtungskomponente sind unempfindlich gegenüber Wassergehaltsänderungen, so dass die Wasserhaushaltsschicht keine diesbezügliche Schutzfunktion übernehmen muss.

Mineralische Abdichtungskomponenten als oberste Abdichtungskomponente sind empfindlich gegenüber Wassergehaltsänderungen. Sie sind daher ausreichend zu schützen. Hierzu enthalten die jeweiligen Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards und Eignungsbeurteilungen ergänzende Anforderungen an die Rekultivierungsschicht. Diese gelten auch für Wasserhaushaltsschichten

Weitere Hinweise zur Bemessung von Wasserhaushaltsschichten beinhaltet Nr. 3.1 des LANUV-Arbeitsblatts 13.

5.2.2 Art der Entwässerungsschicht

Mineralische und geotextile Entwässerungsschichten weisen je nach Aufbau und Bemessung unterschiedliche Reserven hinsichtlich einer Gefährdung ihrer Funktionstüchtigkeit durch eindringende Pflanzenwurzeln und Ausfällungen auf.

Die Zulassungsrichtlinie der BAM für geotextile Entwässerungsschichten verweist bezüglich deren hydraulischer Bemessung auf die GDA-Empfehlung E 2-20. Der Einfluss von Pflanzenwurzeln wird dort in Abhängigkeit der Dicke der Rekultivierungsschicht mit unterschiedlichen Abminderungsfaktoren berücksichtigt.

5.2.3 Wasserspeichervermögen

Das Wasserspeichervermögen wird durch die nutzbare Feldkapazität des Bodens bestimmt (s. Nr. 2.2). Die nutzbare Feldkapazität wird in der Bodenkunde in der Dimension Volumenprozent angegeben. Die Zahlenwerte in Vol.-% entsprechen den Zahlenwerten in der Einheit mm/dm und können dann in mm/m oder mm pro Schichtdicke umgerechnet werden. In der DepV und folglich auch hier wird die nutzbare Feldkapazität als Synonym für die Speicherfähigkeit von pflanzenverfügbarem Wasser über die gesamte Dicke der Wasserhaushaltsschicht verwendet. Besitzt ein Boden eine geringere nutzbare Feldkapazität als ca. 140 mm/m, kann die Anforderung der DepV an die nutzbare Feldkapazität von 220 mm durch Erhöhung der Dicke der Wasserhaushaltsschicht erreicht werden. Hierbei sollte berücksichtigt werden, dass das im Boden speicherbare Wasser auch für die Pflanzen verfügbar ist (Wurzeltiefe und kapillare Steighöhe).

5.2.4 Pflanzenwurzeln

Pflanzenwurzeln können die hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht reduzieren und eine nachteilige Wassergehaltsänderung mineralischer Abdichtungskomponenten verursachen. Außerdem muss die Wasserhaushaltsschicht so dick sein, dass den Pflanzen ein ausreichender Wurzelraum zur Verfügung steht.

Die Dicke der Wasserhaushaltsschicht ist auch unter Berücksichtigung der Wurzeltiefe der auf der Deponie zu erwartenden Vegetation zu bemessen. Anhaltswerte für die Spanne üblicher Wurzeltiefen ausgewählter Pflanzenarten der Grünlandvegetation beinhaltet Tabelle 1.

Tabelle 1: Wurzeltiefen ausgewählter Pflanzenarten der Grünlandvegetation in cm

Wiesen-Hornklee	30 – 120
Gemeine Kratzdistel	bis 200
Wiesenrispengras	70 - 200
Glatthafer	100 - 200
Löwenzahn	70 - 240
Ackerkratzdistel	40 – 300
Mehlige Königskerze	bis 320
Krauser Ampfer	70 – 320

Quelle: GDA E 2-31

Ist das Rekultivierungsziel Wald oder sofern ein Baumaufwuchs nicht dauerhaft verhindert werden kann, ist die Windwurfgefahr der in der Umgebung vorherrschenden und auf der Deponie zu erwartenden Waldtypen ein wichtiges Kriterium der Bemessung der Dicke der Wasserhaushaltsschicht.

5.3 Begrünungs- und Nutzungsziel

Einfluss auf den Entwurf einer Wasserhaushaltsschicht haben auch die Anforderungen an die Landschaftsgestaltung. Eine Wasserhaushaltsschicht schränkt die Nutzungsmöglichkeiten der Deponieoberfläche aufgrund der besonderen Anforderungen an die Vegetation in der Regel ein.

Die Normen DIN 18915, DIN 18916 und DIN 18917 regeln praktische Sachverhalte im Zusammenhang mit Boden- und Pflanzenarbeiten, Rasen und Saatarbeiten, ingenieurbioologischen Sicherungsarbeiten und Sicherungen durch Ansaaten sowie die Entwicklungs- und Unterhaltspflege von Grünflächen.

5.4 Witterungsbedingungen am Standort

Auf den Entwurf der Wasserhaushaltsschicht können folgende Parameter einen Einfluss haben:

- Jahresverlauf der potenziellen Verdunstung, der klimatischen Wasserbilanz sowie die Niederschlagshöhe und -verteilung (Betrachtung von Durchschnitts- und Extremjahren) in Bezug auf die ausreichende Versorgung der Pflanzen mit Wasser
- die Starkregenhäufigkeit und -intensität bezüglich der Böschungstabilität und
- die maximale Frosteindringtiefe.

Die Mindestdicke einer Wasserhaushaltsschicht von 1,50 m ist in der Regel ausreichend, um eine ggf. darunter folgende frostempfindliche Abdichtungskomponente vor Frosteinwirkungen zu schützen. Die besondere Exposition von Deponien (Hänge, freie Kuppen) und die damit verbundene mögliche größere Auskühlung sind bei der Festlegung der Mindestdicke zu berücksichtigen.

Im Zusammenhang mit dem Entwurf von Oberflächenabdichtungssystemen wird auch auf die GDA-Empfehlung 2-1 und 2-4 verwiesen.

5.5 Standsicherheit

Die Wasserhaushaltsschicht muss in allen Bauzuständen und im Endzustand mechanisch stabil sein. Hierzu darf ihre Stand- und Gleitsicherheit nicht durch Abgleiten z. B. auf einem Trenn- und Filtervlies zur Entwässerungsschicht gefährdet sein, darf sie nicht so weit aufweichen oder Strömungskräften ausgesetzt sein, dass sie ihre Stabilität verliert (Kriechen, Verflüssigung), muss sie frühzeitig vor Abtrag durch Wind- oder Wassererosion geschützt werden oder gegen diese beständig sein.

Die Standsicherheit ist für das gesamte Oberflächenabdichtungssystem nachzuweisen. Damit Strömungsdruck infolge von Stauwasser die Stabilität nicht gefährdet, muss entweder der Nachweis geführt werden, dass das System auch mit einem Aufstau von Wasser bei der gegebenen Böschungsneigung noch standsicher ist oder die Bildung von Stauwasser ist durch eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Wasserhaushalts- und Entwässerungsschicht zu verhindern.

Beim Nachweis der Standsicherheit sind folgende Hinweise zu beachten:

Die Scherparameter werden im Laborversuch aus versuchstechnischen Gründen bei höherer Auflast bestimmt als sie in Wasserhaushaltsschichten mit rund 1,50 m Mächtigkeit gegeben sind und charakterisieren somit nicht unbedingt den Einbauzustand der Wasserhaushaltsschicht. Sofern das Bodenmaterial locker eingebaut wird, wird dieser zunächst sacken und sich die Bodenaggregate (Gefügekörper des stückigen Bodens) oder Einzelkörner (im nicht aggregierten Boden) annähern und miteinander verkeilen, bevor Scherversagen eintreten kann.

Die Verbundscherparameter zu Trenn- und Filtervliesen sind in der Regel niedriger als die innere Scherfestigkeit der Wasserhaushaltsschicht (unabhängig von dessen Einbautechnik). Strömendes Wasser ist die Hauptursache für Kriechbewegungen und Massenversatz in oberflächennahen und oberflächenparallel geschichteten Bodenschichten.

Oberflächenerosion durch fließendes Wasser ist ein weiterer Prozess, der die Böschungstabilität gefährdet. Ungeschützte Wasserhaushaltsschichten sind besonders in der Initialphase des Bewuchses erosionsanfällig. Eine hohe Infiltrationskapazität des Bodens durch kontinuierliche Grobporen sowie eine den Oberflächenabfluss hemmende Oberflächenrauigkeit des Bodens beugt der Erosion vor. Dem frühzeitigen Erosionsschutz durch abschnittsweise Ansaat

und Begrünung kommt dabei eine große Bedeutung zu, denn mit dem schnellen Aufgehen der Saat und einer schnellen intensiven Durchwurzelung können Erosionsschäden vermieden werden. Ein Oberflächenabfluss durch zuströmendes Wasser, z. B. aus einem nicht hinreichend funktionierenden Entwässerungssystem, muss vermieden werden.

Besondere Erosionsschutzmaßnahmen können erforderlich werden (s. Nr. 8). Ob besondere Erosionsschutzmaßnahmen durchgeführt werden, obliegt der Risikobewertung des Deponieinhabers: Der Deponieinhaber als Auftraggeber hat das Risiko des Eintritts von Erosionsschäden bei Verzicht auf Erosionsschutzmaßnahmen gegen das Risiko der Kostensteigerung bei der Durchführung von Erosionsschutzmaßnahmen gegeneinander abzuwägen.

Im Übrigen sind bei dem Nachweis der Stand- und Gleitsicherheit für die Wasserhaushaltsschicht die GDA Empfehlungen E 2-7, E 2-20 und E 2-31 zu berücksichtigen.

6 Empfehlung zur Gewinnung, Herstellung und Lagerung des Bodenmaterials

Bereits die Gewinnung, der Transport und die Lagerung des Bodenmaterials können die Eigenschaften der Wasserhaushaltsschicht maßgeblich beeinflussen.

Ober- und Unterboden sind getrennt abzubauen und zu lagern.

Das Bodenmaterial ist so abzubauen und zwischenzulagern, dass eine Vorverdichtung des Bodenmaterials möglichst vermieden wird.

Die in DIN 18915 und DIN 19731 genannten Anforderungen an die Zwischenlagerung sind zu berücksichtigen, wobei die zulässige Schütthöhe von Bodenmieten materialabhängig festgelegt wird und 4 m für Unterboden und 2 m für Oberboden nicht überschreiten soll. Eine Folienabdeckung der Mieten kann empfehlenswert sein, um im Frühjahr frühzeitig mit den Arbeiten beginnen zu können. Bei langer Lagerungsdauer empfiehlt sich eine Zwischenbegrünung der Mieten.

Die Materialien sollten trocken bis feucht (halbfest bis steif) und keinesfalls sehr feucht bis nass (weich bis breiig) bearbeitet werden. Je höher der Schluffgehalt ist, desto empfindlicher ist in der Regel der Boden. Das Ausbreiten zur Trocknung bzw. die Bearbeitung mit Fräse, Grubber oder Spatenmaschine etc. in möglichst windexponierter Lage kann erfolgreich zur Lockerung eines „winterfeuchten“ Bodens beitragen, aber bei weicher und steifer Konsistenz auch schädlich für die mechanischen Eigenschaften und die Bodenstruktur sein.

7 Empfehlung zum Einbau des Bodenmaterials

Die DIN 18915 und DIN 19731 enthalten Anforderungen an den Einbau von Bodenmaterial in die Wasserhaushaltsschicht.

Die Eignung von Einbaugeräten und Einbautechnologie ist abhängig von den Eigenschaften des einzubauenden Bodenmaterials. Die Einbaugeräte und die Einbautechnologie sind anhand der Ergebnisse des Probefeldes (s. Nr. 9.3) im Einzelfall festzulegen.

Bindige Böden besitzen auf Grund ihrer plastischen Eigenschaften in Abhängigkeit vom Wassergehalt unterschiedliche Konsistenzen (Zustandsformen). Die jeweilige Konsistenz eines Bodens ist entscheidend für seine Bearbeitbarkeit. Werden Böden bei zu hohem Wassergehalt bearbeitet, besteht die Gefahr von schweren, nur langfristig und mit großem Aufwand zu beseitigenden Schädigungen des Bodengefüges. Die Gefügeschädigung, insbesondere die Veränderung der Porenraumgliederung, beeinträchtigt den Wasser- und Lufthaushalt sowie die biologische Aktivität und behindert die Durchwurzelung des Bodens (s. LANUV Arbeitsblatt 13).

Böden sollten mit halbfester Konsistenz ($I_c > 1,0$) eingebaut werden. Dies gilt für vor allem für verdichtungsempfindliches Bodenmaterial (Kap. 3). Insbesondere bei Böden mit steifer Konsistenz ($1,0 > I_c > 0,75$) muss der Geräteeinsatz auf die höhere Verdichtungsempfindlichkeit abgestimmt werden. Böden mit Konsistenzzahlen $< 0,75$ sind für den Einbau ungeeignet und benötigen eine Vortrocknung.

Oberboden und Unterboden sollen jeweils in einer Lage eingebaut werden. Die gesamte Wasserhaushaltsschicht kann in einer Lage eingebaut und davon maximal die oberen 30 cm z. B. durch Einarbeiten von Qualitätskompost vergütet werden. Die durch Einarbeiten von Qualitätskompost entstehende Schicht gilt als Oberboden im Sinne des Anhang 1.

Eingebautes Bodenmaterial darf nicht mit Gerät mit Flächenpressungen befahren werden, die zu Bodenschadverdichtung führen können. Bodenschadverdichtungen liegen vor, wenn eine Luftkapazität von 5 Vol.-% unterschritten wird. Um eine Bodenschadverdichtung sicher auszuschließen, ist unter Beachtung der Ergebnisse der Eignungsprüfung und des Probefeldes bodenspezifisch ein Zielwert festzulegen, der die Verdichtungsempfindlichkeit von Eigenkonsolidierung und Auflast des Bodens berücksichtigt. Für verdichtungsempfindliche Böden wird ein Zielwert der Luftkapazität unmittelbar nach Einbau der Rekultivierungsschicht von 8 Vol.-% empfohlen.

Bei locker eingebautem Bodenmaterial ist die Sackung vor Erreichen der Endmächtigkeit zu berücksichtigen und durch überhöhten Einbau mit Sackungsreserve auszugleichen.

8 Empfehlungen zum Schutz der Wasserhaushaltsschicht

Zur Vermeidung von Erosion ist der Bewuchs auf der Wasserhaushaltsschicht schnell aufzubringen. Als zusätzliche erosionsmindernde Maßnahme kann die unbedeckte Bodenoberfläche mit Höhenlinien parallel verlaufenden Konturen zur Behinderung des Oberflächenabflusses und zur Erhöhung der Infiltrationskapazität aufgeraut werden.

In besonders gefährdeten Lagen (steile Böschungen entlang von Bermenwegen, sensible Bereiche der Oberflächenentwässerung o. ä.) oder oberhalb von Bereichen mit besonderem Schadensrisiko (z. B. öffentliche Wege, Bahntrassen o. ä.) sollten Maßnahmen zur Beschleunigung des Erstbewuchses (z.B. Einstreuen von Stroh im Anspritzverfahren) oder sonstige Schutzmaßnahmen (z.B. Erosionsschutzmatten) ergriffen werden.

Die fertige Wasserhaushaltsschicht ist so zu bewirtschaften und zu pflegen, dass ihre Funktionstüchtigkeit erhalten bleibt. Sie sollte möglichst nicht befahren werden. Pflegearbeiten sollten mit Geräten mit geringer Flächenpressung oder von Unterhaltungswegen aus vorgenommen werden.

Die Bodenoberfläche und die Entwicklung des Bewuchses sollten regelmäßig durch Begehungen kontrolliert werden.

9 Qualitätsmanagement

9.1 Allgemeines

Das Qualitätsmanagement umfasst die Tätigkeiten der Qualitätsplanung, -lenkung, -sicherung und -verbesserung.

Es ist ein Qualitätsmanagementplan aufzustellen, der unter Berücksichtigung dieses BQS Folgendes beinhaltet:

- die Gewinnung von Bodenmaterialien,
- die Herstellung von Bodenmaterialien durch Mischen und Aufbereiten,
- den Transport von Bodenmaterialien,
- die Einbauvoraussetzungen,
- die Empfindlichkeit gegenüber Einbaubeanspruchungen,
- das Einbauverfahren (Geräte und Einbautechnologie),
- die Prüfung der Parameter des Anhangs 1,
- die Reparierbarkeit (Nachbesserungsmöglichkeiten) und
- die erforderlichen Schutzmaßnahmen für die fertige Wasserhaushaltsschicht.

Mit der Qualitätsüberwachung als Teil der Qualitätssicherung darf nur beauftragt werden, wer über die erforderliche technische Ausstattung und die erforderliche Sach- bzw. Fachkunde für die bodenmechanischen und bodenkundlichen Untersuchungen verfügt. Fremdprüfer müssen

auf der Grundlage des BQS 9-1 „Qualitätsmanagement – Fremdprüfung beim Einbau mineralischer Baustoffe in Deponieabdichtungssystemen“ akkreditiert sein.

9.2 Eignungsprüfung des Bodenmaterials

Die Eignung des Bodenmaterials ist in dem in Anhang 1 Tabellen 1 und 2 genannten Umfang zu prüfen und nachzuweisen. Die dort genannte Untersuchungshäufigkeit gilt für jede Anfall- oder Abbaustelle. Bei erheblichen Schwankungen der Materialqualität in der Anfall- oder Abbaustelle ist die Häufigkeit zu erhöhen. Hinweise zur Untersuchung von Bodenmaterialien enthalten auch die DIN 18915, die DIN 19731 und die GDA-Empfehlung 3-1.

Die bodenkundlichen Parameter nach Anhang 1 Tabelle 1 Nr. 1 bis 11 und 13 sind für jedes Bodenmaterial (gleiche Herkunft, einheitliche Materialeigenschaften) in der dort genannten Häufigkeit zu bestimmen. Herkunft kann auch eine mit der zuständigen Behörde abgestimmte Aufbereitung sein, in der Bodenmaterialien unterschiedlicher Anfall- oder Abbaustelle aufbereitet werden.

Handelt es sich bei Bodenmaterial um einen Deponieersatzbaustoff, sind die Anforderungen der §§ 14 bis 17 DepV zu beachten.

Die nutzbare Feldkapazität ist für den Gesamtboden (Feinboden < 2 mm und Grobboden) anzugeben.

Die nutzbare Feldkapazität und die Luftkapazität sind in der Eignungsprüfung in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad im Laborversuch und aus der Korngrößenanalyse in Verbindung mit der Trockenrohddichte zu bestimmen und gemeinsam zu bewerten.

Im Eignungsnachweis sind die Erosions- und Verdichtungsempfindlichkeit zu bewerten.

Unter Beachtung der Empfehlungen in Nr. 7 zur Konsistenz bindiger Böden beim Einbau ist ein materialcharakteristischer Wassergehaltsbereich aus der Bestimmung der Zustandsgrenzen nach Anhang 1 Tabelle 1 Nr. 2 abzuleiten. Dieser Wassergehaltsbereich ist als Vorgabewert zum qualitäts- und anforderungsgerechten Einbau anzugeben. Der nach Anhang 1 Tabelle 1 Nr. 3 bestimmte Wassergehalt ist hinsichtlich der Einhaltung des angegebenen Wassergehaltsbereichs zu bewerten.

Für mineralische Dichtungen mit hochquellfähigen Tonmineralien als obere Abdichtungskomponente beinhalten BQS bzw. deren Eignungsbeurteilung Grenzwerte der zulässigen Salzbelastung aus der Rekultivierungs- und Entwässerungsschicht. In diesem Fall ist die Salzbelastung aus der Wasserhaushaltsschicht durch einen Säulenversuch gemäß DIN 19528 zu bestimmen. Es ist nachzuweisen, dass die im BQS bzw. in der Eignungsbeurteilung genannten Grenzwerte eingehalten werden.

9.3 Eignungsprüfung im Großmaßstab/Probefeld

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Eigen- und Fremdprüfung am Probefeld ist nachzuweisen, dass mit den vorgesehenen Geräten und der Einbautechnologie die Anforderungen des Anhangs 1 Tabelle 1 mit ausreichender Sicherheit erfüllt werden können. Das Probefeld muss so groß sein, dass der Einbau im Probefeld den Bedingungen des späteren Einbaus der Wasserhaushaltsschicht entspricht. Die Wasserhaushaltsschicht ist in ihrer gesamten geplanten Dicke im Probefeld einzubauen.

Es ist pro Bodenmaterial (gleiche Herkunft, einheitliche Materialeigenschaften) ein Probefeld herzustellen. Hierauf kann verzichtet werden, wenn die Eignung für ein Bodenmaterial anderer Herkunft mit nachweislich vergleichbaren Eigenschaften in einem Probefeld nachgewiesen wurde.

Anhand der Ergebnisse des Probefeldes ist der Qualitätsmanagementplan (s. Nr. 9.1) fortzuschreiben.

Soll Bodenmaterial durch Mischen hergestellt werden, ist in einem großmaßstäblichen Versuch nachzuweisen, dass durch das gewählte Verfahren eine homogene Bodenmatrix erzeugt wird.

9.4 Qualitätsmanagement während des Einbaus

Die Einhaltung der Anforderungen nach Nr. 2 an die Wasserhaushaltsschicht ist durch Eigen- und Fremdprüfungen nach Anhang 1 Tabelle 3 für jede Einbaulage nachzuweisen. Bei den Kontrollprüfungen sind Ober- und Unterboden gesondert zu prüfen.

Bei der Durchführung der Kontrollprüfungen ist insbesondere auf eine repräsentative Lage der Schürfe bzw. Probenahmestellen zu achten. Die Dokumentation der Prüfungen muss neben den Versuchsergebnissen alle in den Prüfvorschriften geforderten Angaben zur Versuchsdurchführung sowie zur Probennahme enthalten.

Der Umfang der Prüfungen zum Nachweis der Einhaltung der Anforderungen an Deponieersatzbaustoffe ist gemäß § 17 DepV festzulegen.

10 Freigabe / Abnahme

Die Freigabe zum Weiterbau einzelner Einbaulagen kann die Fremdprüfung ggf. in Abstimmung mit der behördlichen Überwachung erteilen. Zur Freigabe einer jeden Einbaulage der Wasserhaushaltsschicht müssen Untersuchungsergebnisse zur Einhaltung der Anforderungen vorliegen.

Die Abnahme des Oberflächenabdichtungssystems erfolgt durch die behördliche Überwachung auf der Grundlage der Ergebnisse der Eigen- und Fremdprüfung.

11 Technische Bezugsdokumente

REGELUNGEN DES BUNDES UND DER LÄNDER

Bund

Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 30. Juni 2020 (BGBl. I S. 1533)

Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden

Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5), Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., Hannover, 2005

LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1 „Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 02.12.2020

LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-3 „Methanoxidationsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“ vom 02.12.2020

LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 9-1 „Qualitätsmanagement – Fremdprüfung beim Einbau mineralischer Baustoffe in Deponieabdichtungssystemen“ vom 02.12.2020

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe - BGR

Erodierbarkeit der Ackerböden durch Wasser (K-Faktor) unter:

https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Ressourcenbewertung/Bodenerosion/Wasser/K_Faktor_inhalt.html (abgerufen am 02.12.2020)

BAM - Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Richtlinie für die Zulassung von Kunststoff-Dränelementen für Deponieoberflächenabdichtungen; 10. Auflage, Mai 2019

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Karte der Frosteinwirkungszonen unter: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Strassenbau/Fachthemen/S2-Frostzonenkarte.html (abgerufen am 02.12.2020)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen - LANUV

Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme -

Konkretisierungen und Empfehlungen zur Deponieverordnung. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), LANUV-Arbeitsblatt 13, dritte aktualisierte Neuauflage, Recklinghausen, 2015

NORMEN

DIN EN ISO 10693:2014-06

Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Carbonatgehaltes - Volumetrisches Verfahren (ISO 10693:1995); Deutsche Fassung EN ISO 10693:2014

DIN EN ISO 11274: 2020-04

Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens - Laborverfahren (ISO 11274:2019); Deutsche Fassung EN ISO 11274:2019

DIN ISO 11277:2002-08

Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden - Verfahren mittels Siebung und Sedimentation (ISO 11277:1998 + ISO 11277:1998 Corrigendum 1:2002)

DIN EN ISO 17892-1:2015-03

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts (ISO 17892-1:2014); Deutsche Fassung EN ISO 17892-1:2014

DIN EN ISO 17892-2:2015-03

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 2: Bestimmung der Dichte des Bodens (ISO 17892-2:2014); Deutsche Fassung EN ISO 17892-2:2014

DIN EN ISO 17892-4:2017-04

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung (ISO 17892-4:2016); Deutsche Fassung EN ISO 17892-4:2016

DIN EN ISO 17892-11:2019-05

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (ISO 17892-11:2019); Deutsche Fassung EN ISO 17892-11:2019

DIN EN ISO 17892-12:2020-07

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen (ISO 17892-12:2018); Deutsche Fassung EN ISO 17892-12:2018

DIN EN 13041:2012-01

Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate - Bestimmung der physikalischen Eigenschaften - Rohdichte (trocken), Luftkapazität, Wasserkapazität, Schrumpfungswert und Gesamtporenvolumen; Deutsche Fassung EN 13041:2011

DIN EN 15936:2012-11

Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall - Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) mittels trockener Verbrennung; Deutsche Fassung EN 15936:2012

DIN 1055-2:2010-11

Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Bodenkenngrößen

DIN 4220:2020-11

Bodenkundliche Standortbeurteilung - Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen)

DIN 18121-2:2020-11

Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt - Teil 2: Bestimmung durch Schnellverfahren

DIN 18122-2: 2020-11

Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) - Teil 2: Bestimmung der Schrumpfgrenze

DIN 18127:2012-09

Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Proctorversuch

DIN 18129:2011-07

Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung

DIN 18130-2:2015-08

Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 2: Feldversuche

DIN 18196:2011-05

Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

DIN 18915:2018-06

Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Bodenarbeiten

DIN 18916:2016-06

Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Pflanzen und Pflanzarbeiten

DIN 18917:2018-07

Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Rasen und Saatarbeiten

DIN 18918:2002-08

Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen - Sicherungen durch Ansaaten, Bepflanzungen, Bauweisen mit lebenden und nicht lebenden Stoffen und Bauteilen, kombinierte Bauweisen

DIN 18919: 2016-12

Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Instandhaltungsleistungen für die Entwicklung und Unterhaltung von Vegetation (Entwicklungs- und Unterhaltungspflege)

DIN 19528:2009-01

Elution von Feststoffen - Perkolationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen

DIN 19682-2:2014-07

Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen - Teil 2: Bestimmung der Bodenart

DIN 19682-7:2015-08

Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelring-Infiltrometer

DIN 19682-13:2009-01

Bodenbeschaffenheit - Felduntersuchungen - Teil 13: Bestimmung der Carbonate, der Sulfide, des pH-Wertes und der Eisen(II)-Ionen

DIN 19684-6:1997-12

Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau - Chemische Laboruntersuchungen - Teil 6: Bestimmung des Gehaltes an oxalatlöslichem Eisen

DIN 19684-7:2009-01

Bodenbeschaffenheit - Chemische Laboruntersuchungen - Teil 7: Bestimmung des Gehalts an leichtlöslichem zweiwertigem Eisen

DIN 19731:1998-05

Bodenbeschaffenheit - Verwertung von Bodenmaterial

GDA- EMPFEHLUNGEN

GDA E 2-1

„Geotechnische Planungen für Deponien“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: Juli 2010; www.gdaonline.de

GDA E 2-4

„Oberflächenabdichtungssysteme“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: Juli 2010; www.gdaonline.de

GDA E 2-7

„Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: August 2015; www.gdaonline.de

GDA 2-20

„Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: Mai 2015; www.gdaonline.de

GDA 2-31

„Rekultivierungsschichten“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: Juli 2010; www.gdaonline.de

GDA 2-32

„Gestaltung des Bewuchses auf Deponien“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: Januar 2010; www.gdaonline.de

GDA 3-1

„Eignungsprüfung mineralischer Oberflächen- und Basisabdichtungen“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: April 2010; www.gdaonline.de

GDA 3-8

„Bestimmung des Scherverhaltens von kombinierten Abdichtungsschichten“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: August 2015; www.gdaonline.de

GDA 5-7

„Lysimeter-Meßeinrichtung für mineralische Oberflächenabdichtungen“; Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik; Stand: Januar 2010; www.gdaonline.de

RAL-GÜTEZEICHEN**RAL-GZ 251 – Kompost**

Güte- und Prüfbestimmungen sowie Durchführungsbestimmungen für die Verleihung und Führung des RAL-Gütezeichens Kompost. Hrsg.: RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung, St. Augustin Stand Juli 2016; <http://www.kompost.de>

FGSV-MERKBLÄTTER**Merkblatt über die Verhütung von Frostschäden an Straßen**

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) – Nr. 545; ISBN 978-3-86446-044-9; Ausgabe 2013

VERWENDETE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- (2018):** Scheffer / Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Verlag: Springer Spektrum, 17. Auflage, Heidelberg
- Blume, U.; Plehm, T. (2009):** Aktualisierung der Frostzonenkarte zur Dimensionierung des frostsicheren Straßenoberbaus. In: Straße und Autobahn, Jg. 60, Nr. 12, S. 793-799
- Brauns, J.; et al. (1997):** Forstwirtschaftliche Rekultivierung von Deponien mit TA-Siedlungsabfallkonformer Oberflächenabdichtung. In: Handbuch Abfall, Band. 13, Karlsruhe
- Dehner, U. et al. (2015):** Dehner, U. Renger, M. Bräunig, A. Lamparter, A., Bauriegel, A., Burbaum, B., Hartmann, K-J., Hennings, V. Idler, F. Krone, F. Martin, W., Meyer, K, Waldmann, F.: Neue Kennwerte für die Wasserbindung in Böden - Ergebnisse der Abstimmung zwischen dem Personenkreis Wasserhaushaltstabellen der Ad-hoc-AG Boden und dem DWA, Berichte der DBG (online Publikation) <http://eprints.dbges.de/1160/>, 2015
- Dehner, U., Maier-Harth, U. (2016):** Vereinfachte bodenkundliche Beurteilung von Substraten für Deponierekultivierungsschichten, 12. Leipziger Deponiefachtagung, Tagungsband, S. 105 – 116, Leipzig, 2016
- Ellenberg, H.; et al. (2001):** Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3., erweit. Aufl. Goltze, ISBN 978-3-88452-518-0, Scripta Geobotanica 18, Göttingen
- Konold, W.; Wattendorf, P.; Leisner, B. (1997):** Anforderungen an die Rekultivierungsschicht beim Rekultivierungsziel "Wald". In: Egloffstein, T. & Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 103: 179-188, Berlin
- Köstler, J. N.; Brückner, E.; Bibelriether, H. (1968):** Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- Kutschera, L.; Lichtenegger, E.; Sobotik, M. (1982):** Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen. Band 1: Monocotyledoneae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York
- Kutschera, L.; Lichtenegger, E.; Sobotik, M. (1982):** Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen. Band 2: Pteridophyta und Dicotyledoneae (Magnoliopsida), Teil 1: Morphologie, Anatomie, Ökologie, Verbreitung, Soziologie, Wirtschaft, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York
- Lebert, M.; Brunotte, J.; Sommer, C. (2004):** Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung

von Böden / Regelungen zur Gefahrenabwehr. Umweltbundesamt (Hrsg.): Forschungsbericht 200 71 245 des Instituts für Betriebstechnik und Bauforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), UBA-Texte 46/04, Berlin, 122 S.

Linert, U. (1995): Verhalten von Pflanzenwurzeln in Oberflächenabdichtungssystemen. In: Egloffstein, T. & Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungen für Deponien und Altlasten - Abdichtung oder Abdeckung?, Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 37, 15 S.

VDLUFA A 6.1 (2002): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, Band 1: Die Untersuchung von Böden“ Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten Teil A: Probenahme und chemische Untersuchungen - A 6 Bestimmung von leicht löslichen (pflanzenverfügbaren) Haupt- und Spurennährstoffen – Stickstoff, 1. und 2. Teillieferung 1991, 3. Teillieferung 2002

VDLUFA A 6.2 (2012): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, Band 1: Die Untersuchung von Böden“ Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten Teil A: Probenahme und chemische Untersuchungen - A 6 Bestimmung von leicht löslichen (pflanzenverfügbaren) Haupt- und Spurennährstoffen – Phosphor, Kalium, Magnesium und Natrium, 1. und 2. Teillieferung 1991,6. Teillieferung 2012

Wattendorf, P.; Ehrmann, O. (2002): Erprobung von Wurzelsperren zum Schutz von Drainage- und Abdichtungsschichten vor Durchwurzelung. In: Egloffstein, T., G. Burkhardt & K. Czurda [Hrsg.]: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten 2002, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 125: 257 - 272, Berlin

Anhang 1: Anforderungen und Prüfungen für die Wasserhaushalts- schicht

Tabelle 1: Anforderungen und Prüfungen für Bodenmaterial
 – Eignungsprüfung

Nr.	Parameter	Anforderung	Prüfvorschrift	Eignungsprüfung	
				Art	Häufigkeit
1	Korngrößenverteilung (Bodenart)	Dokumentation, Orientierungswerte siehe Abb. 1 BQS 7-2	DIN ISO 11277 DIN 4220 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18196	L	mindestens 3
2	Zustandsgrenzen / Konsistenzgrenzen	zur Charakterisierung bindiger Böden und Ableitung eines Vorgabewertes für den Wassergehaltsbereich nach Nr. 9.2 des BQS 7-2 unter Beachtung der Nr. 6 des BQS 7-2	DIN EN ISO 17892-12 DIN 18122-2	L	mindestens 3
3	Wassergehalt	abhängig von der Bodenart	DIN EN ISO 17892-1 DIN 18121-2	L	mindestens 3
4	Proctorversuch ¹	zur Charakterisierung	DIN 18127	L	mindestens 3
5	Wasserdurchlässigkeit ²	zur Charakterisierung	DIN EN ISO 17892-11	L	mindestens 3
6	Scherfestigkeit	gemäß Vorgabe der Standsicherheitsberechnung	Rahmenscherversuche z. B. nach GDA E 3-8 DIN EN ISO 17892-10 ³	L	mindestens 3

¹ gilt nicht für originäre Oberböden

² Ermittlung des Einflusses der Bodenverdichtung auf die Wasserdurchlässigkeit (Bezugswert Verdichtungsgrad)

³ Bei Böschungsneigungen flacher als 1:5 kann die Scherfestigkeit aus Tabellenwerten der DIN 1055 Teil 2 ermittelt werden.

Nr.	Parameter	Anforderung	Prüfvorschrift	Eignungsprüfung	
				Art	Häufigkeit
7	Luftkapazität ⁴	s. BQS 7-2 Nr. 2.4 in Verbindung mit BQS 7-2 Nr. 6	Ermittlung aus der Differenz der nach DIN EN ISO 11274 bestimmten Wassergehalte bei pF=0 (Wassersättigung) und pF=1,8 (Feldkapazität)	L	mindestens 3
8	nutzbare Feldkapazität ⁵	nFK ≥ 220 mm bezogen auf die Gesamtdicke der Rekultivierungsschicht	Feldkapazität nach DIN EN ISO 11274 permanenter Welkepunkt aus Tabelle 70 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5)	L	mindestens 3
9	Humusgehalt bestimmt anhand TOC	<u>Oberboden:</u> TOC ≤ 5,0 Masse-% (optimal: TOC 1 bis 2 Masse-%) ⁶ <u>Unterboden:</u> TOC ≤ 1,0 -Masse-%; Überschreitungsmöglichkeit bis TOC ≤ 2,0 Masse-% bei originären Böden mit einer bekannten sehr geringen Humusqualität (C/N-Verhältnis ≥ 25)	DIN EN 15936	L	mindestens 3
10	Carbonatgehalt sowie Eisengehalte und -fraktionen	Abschätzung der Auswirkungen hinsichtlich von Mobilisierung und Ausfällungen	DIN 18129 DIN EN ISO 10693 DIN 19682-13 DIN 19684-6 DIN 19684-7	L	mindestens 3

⁴ Ermittlung des Einflusses der Bodenverdichtung durch Bestimmung an mindestens 3 Proben, die beim natürlichen Wassergehalt mit unterschiedlichen Verdichtungsgraden hergestellt werden (3 Parallelproben pro Dichtestufe)

⁵ Die nutzbare Feldkapazität ist aus der Differenz der nach DIN EN ISO 11274 bestimmten Feldkapazität und dem aus der Tabelle 70 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) abgeleiteten permanenten Welkepunkt zu bestimmen. Sofern für nicht natürliche Bodenmaterialien oder Bodenmaterialien, die durch Aufbereitung, z.B. Mischen, hergestellt wurden, eine Bodenart nicht bestimmt werden kann und sich somit aus der Tabelle 70 der KA5 für den permanenten Welkepunkt keine Angabe aus der Bodenart und der Trockenrohdichte ableiten lässt, ist der permanente Welkepunkt nach DIN EN ISO 11274 zu bestimmen.

⁶ Aus Gründen des Erosionsschutzes ist ein schnelles und dichtes Aufwachsen der Vegetation erforderlich. Wird ein TOC-Wert im Oberboden von 1 Masse-% unterschritten, sind besondere Maßnahmen zum Erosionsschutz zu prüfen.

Nr.	Parameter	Anforderung	Prüfvorschrift	Eignungsprüfung	
				Art	Häufigkeit
11	Gehalte an löslichen Nährstoffen im Oberboden (P, K, Mg, NO ₃ , NH ₄) ⁷	BQS 7-2 Nr. 2.6	VDLUFA A 6.1 VDLUFA A 6.2	L	mindestens 3
12	Schadstoffgehalte in Feststoff und Eluat - Bodenmaterial, das nicht dem Abfallrecht unterliegt - Deponieersatzbaustoffe	DepV, Anhang 3 Nr. 2 Tabelle 2 Spalte 9	DepV, Anhang 4	L	mindestens 3
		DepV, Anhang 3 Nr. 2 Tabelle 2 Spalte 9	DepV, Anhang 4	L	§ 17 DepV
13	Bodenfremde Bestandteile (Bauschutt, Straßenaufbruch etc.)	mineralisch ≤ 5 Masse-%; nicht-mineralisch: nicht ins Auge fallend und ≤ 1Vol.-%	Visuell, ggf. gravimetrisch visuell	F (L)	mindestens 3

⁷ nicht erforderlich, wenn es sich um natürliches Bodenmaterial handelt

Tabelle 2: Anforderungen und Prüfungen für Wasserhaushaltsschichten
– Qualitätsprüfung im Probefeld

Nr.	Parameter	Anforderung	Prüfvorschrift	Kontrollprüfung	
				Art	Häufigkeit ⁸
1	Korngrößenverteilung (Bodenart)	gemäß Eignungsprüfung (Übereinstimmung)	DIN ISO 11277 DIN 4220 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18196	F/L	mindestens 3
2	Wassergehalt	gemäß Eignungsprüfung (Übereinstimmung)	DIN EN ISO 17892-1 DIN 18121-2	(F)/L	mindestens 3
3	Humusgehalt bestimmt aus TOC	gemäß Eignungsprüfung (Übereinstimmung)	DIN EN 15936	L	mindestens 3
4	Trockendichte / Verdichtungsgrad ⁹	gemäß Eignungsprüfung	DIN EN ISO 17892-2	L	mindestens 3
5	Luftkapazität	s. BQS 7-2 Nr. 2.3 in Verbindung mit BQS 7-2 Nr. 6	Ermittlung aus der Differenz der nach DIN EN ISO 11274 bestimmten Wassergehalte bei pF=0 (Wassersättigung) und pF=1,8 (Feldkapazität)	L	mindestens 3
6	nutzbare Feldkapazität ¹⁰	nFK ≥ 220 mm bezogen auf die Gesamtdicke der Rekultivierungsschicht	Feldkapazität nach DIN EN ISO 11274 permanenter Welkepunkt aus Tabelle 70 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5)	L	mindestens 3
7	Wasserdurchlässigkeit	gemäß projektspezifischer Vorgabe	DIN EN ISO 17892-11 DIN 18130-2 DIN 19682-7	F/L	sofern projektspezifisch festgelegt, mindestens 3
8	Dicke	gemäß Dimensionierung unter Berücksichtigung einer ggf. erforderlichen Sackungsreserve	Vermessung	F	mindestens 3

⁸ Häufigkeit der Kontrollprüfungen an Proben je Einbaulage jeweils durch Eigen- und Fremdprüfung.

⁹ bei originären Oberböden: nur Bestimmung der Trockendichte

¹⁰ Die nutzbare Feldkapazität ist aus der Differenz der nach DIN EN ISO 11274 bestimmten Feldkapazität und dem aus der Tabelle 70 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) abgeleiteten permanenten Welkepunkt zu bestimmen. Sofern für nicht natürliche Bodenmaterialien oder Bodenmaterialien, die durch Aufbereitung, z.B. Mischen, hergestellt wurden, eine Bodenart nicht bestimmt werden kann und sich somit aus der Tabelle 70 der KA5 für den permanenten Welkepunkt keine Angabe aus der Bodenart und der Trockenrohdichte ableiten lässt, ist der permanente Welkepunkt nach DIN EN ISO 11274 zu bestimmen.

Tabelle 3: Anforderungen und Prüfungen für Wasserhaushaltsschichten
– Qualitätsprüfung

Nr.	Parameter	Anforderung	Prüfvorschrift	Kontrollprüfung	
				Art	Häufigkeit ¹¹
1	Korngrößenverteilung (Bodenart)	gemäß Eignungsnachweis	DIN ISO 11277 DIN 4220 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18196	L	je 5.000 m ² mindestens aber einmal je Bodenmaterial
2	Wassergehalt	gemäß Eignungsnachweis	DIN EN ISO 17892-1 DIN 18121-2	(F)/L	je 1.000 m ² mindestens aber einmal je Bodenmaterial
3	Trockendichte / Verdichtungsgrad ¹²	gemäß Eignungsnachweis	DIN EN ISO 17892-2	F/L	je 1.000 m ² mindestens aber einmal je Bodenmaterial
4	Wasserdurchlässigkeit	gemäß projektspezifischen Vorgaben	DIN EN ISO 17892-11 DIN 18130-2 DIN 19682-7	(F)/L	sofern projektspezifisch festgelegt, je 5.000 m ² mindestens aber einmal je Bodenmaterial
5	Luftkapazität	gemäß Eignungsnachweis	Ermittlung aus der Differenz der nach DIN EN ISO 11274 bestimmten Wassergehalte bei pF=0 (Wassersättigung) und pF=1,8 (Feldkapazität)	L	je 1.000 m ² mindestens aber einmal je Bodenmaterial
6	nutzbare Feldkapazität ¹³	gemäß Eignungsnachweis	Feldkapazität nach DIN EN ISO 11274 permanenter Welkepunkt aus Tabelle 70 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5)	L	je 1.000 m ² mindestens aber einmal je Bodenmaterial

¹¹Kontrollprüfungen durch Eigen- und Fremdprüfung je Einbaulage; Prüfraster bzw. Anzahl der Kontrollprüfungen aus Eigen- und Fremdprüfung, wobei die Fremdprüfung mindestens ein Drittel der Kontrollprüfungen zu erbringen hat.

¹²bei originären Oberböden: nur Bestimmung der Trockendichte

¹³Die nutzbare Feldkapazität ist aus der Differenz der nach DIN EN ISO 11274 bestimmten Feldkapazität und dem aus der Tabelle 70 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) abgeleiteten permanenten Welkepunkt zu bestimmen. Sofern für nicht natürliche Bodenmaterialien oder Bodenmaterialien, die durch Aufbereitung, z.B. Mischen, hergestellt wurden, eine Bodenart nicht bestimmt werden kann und sich somit aus der Tabelle 70 der KA5 für den permanenten Welkepunkt keine Angabe aus der Bodenart und der Trockenrohdichte ableiten lässt, ist der permanente Welkepunkt nach DIN EN ISO 11274 zu bestimmen.

Nr.	Parameter	Anforderung	Prüfvorschrift	Kontrollprüfung	
				Art	Häufigkeit ¹¹
7	Gehalt an organischem Material/ Humusgehalt	gemäß Eignungsnachweis	DIN EN 15936	L	je 5.000 m ² mindestens aber einmal je Bodenmaterial
8	Schadstoffgehalte in Feststoff und Eluat - Bodenmaterial, das nicht dem Abfallrecht unterliegt - Deponieersatzbaustoffe	DepV, Anhang 3 Nr. 2 Tabelle 2 Spalte 9	DepV, Anhang 4	L	je 5.000 m ² mindestens aber dreimal
		DepV, Anhang 3 Nr. 2 Tabelle 2 Spalte 9	DepV, Anhang 4	L	§ 17 DepV (Eigenprüfung gemäß § 8 Abs. 3 DepV und Fremdprüfung gemäß § 8 Abs. 5 DepV)
9	Bodenfremde Bestandteile (Bauschutt, Straßenaufbruch etc.)	gemäß Eignungsnachweis	visuell, ggf. gravimetrisch visuell	F/(L)	baubegleitend
10	Dicke	gemäß Dimensionierung unter Berücksichtigung einer ggf. erforderlichen Sackungsreserve	Vermessung	F	je 1.000 m ²

L: Laboruntersuchung, F: Feldtest, (): bei Bedarf