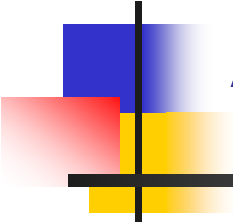


Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungen – Bemessungsansätze und Ausführungshinweise



Ulrich Stock

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und
Verbraucherschutz

Brandenburg



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Definition der Wasserhaushaltsschicht

Eine 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.

(nach BQS 7.2)



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Anforderungen an Wasserhaushaltsschichten nach Deponieverordnung Anhang 1 Nr. 2.3.1.1

- **Mindestmächtigkeit** 1,50 m
- **nutzbare Feldkapazität** von 220 mm, bezogen auf die Gesamtmächtigkeit
- Im 5jährigen Mittel darf die **Durchsickerung** höchstens 10% vom langjährigen Mittel des Niederschlags (in der Regel 30 Jahre), höchstens 60 mm pro Jahr, spätestens 5 Jahre nach der Herstellung betragen.

Ausnahme:

Die zuständige Behörde kann ... bei niederschlagsarmen Standorten (weniger als 600 mm pro Jahr) Abweichungen von der nutzbaren Feldkapazität ... zulassen, wenn nachgewiesen wird, dass eine gleichwertige Dicht- und Schutzwirkung erreicht wird.



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Mischung aus Materialparameter (Mächtigkeit, nutzbare Feldkapazität) und Leistungsparameter (Durchsickerung als Maßstab für die „Dicht- und Schutzwirkung“)

→ maßgebend für die Dimensionierung wird meist die Erfüllung der Anforderung an die Durchsickerung sein

unterschiedliche Anwendung des Terminus „nutzbare Feldkapazität“ in klassischer Bodenkunde und Deponieverordnung

- Bodenkunde: Angabe bezogen auf eine Bodenhöhe oder als Vol-%, Anforderung DepV entspricht 147 mm/m oder 14,7 %**
- Deponieverordnung: Angabe bezogen auf die Gesamtmächtigkeit im Sinne der „nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums“**
 - die Anforderung an die nutzbare Feldkapazität (DepV) kann theoretisch auch durch Erhöhung der Mächtigkeit erfüllt werden, z.B. $nFK = 11 \%$, $d = 2,00 \text{ m}$ (aber keine Auswirkung auf Durchsickerung, wenn der Bewuchs nicht entsprechend angepaßt wird)**



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Ersatz von Abdichtungskomponenten in Oberflächenabdichtungssystemen durch Wasserhaushaltsschichten

Deponieklasse I:

Deponieverordnung, Anhang 1, Fußnote 5 zu Tabelle 2

„Anstelle der Abdichtungskomponente, der Entwässerungsschicht und der Rekultivierungsschicht kann eine als Wasserhaushaltsschicht ausgeführte Rekultivierungsschicht zugelassen werden, wenn abweichend von den Anforderungen nach 2.3.1.1 Ziffer 3 der **Durchfluss** durch die Wasserhaushaltsschicht **im fünfjährigen Mittel nicht mehr als 20 mm/Jahr spätestens 5 Jahre nach Herstellung** beträgt.“



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

zu beachten:

Deponieverordnung Anhang 1 Nr. 2.3, Satz 4:

Wird das Oberflächenabdichtungssystem **ohne eine Konvektions-**
sperre hergestellt, ist bei Deponien der Klasse I, II oder III ein
Kontrollfeld von wenigstens 300 Quadratmetern Größe an reprä-
sentativer Stelle im Oberflächenabdichtungssystem einzurichten,
mit dem der Durchfluss durch das Oberflächenabdichtungssystem
bestimmt werden kann. Das Kontrollfeld ist **bis zum Ende der**
Nachsorgephase zu betreiben.



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Deponieklasse II:

Deponieverordnung, Anhang 1, Fußnote 6 zu Tabelle 2

Anstelle der zweiten Abdichtungskomponente und der Rekultivierungsschicht kann eine als Wasserhaushaltsschicht **nach Nummer 2.3.1.1 bemessene ...**

(→ Im 5jährigen Mittel Durchsickerung höchstens 10% vom langjährigen Mittel des Niederschlags, höchstens 60 mm pro Jahr, spätestens 5 Jahre nach der Herstellung)

... Rekultivierungsschicht eingebaut werden.



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

zu beachten:

... gilt bei Deponien oder Deponieabschnitten, auf denen **Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Klärschlämme und andere Abfälle mit hohen organischen Anteilen** abgelagert worden sind, mit der Maßgabe, daß der Deponiebetreiber **Maßnahmen nach § 25 Absatz 4 zur Beschleunigung biologischer Abbauprozesse und zur Verbesserung des Langzeitverhaltens** nachweislich erfolgreich durchführt oder durchgeführt hat.



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

„im fünfjährigen Mittel ... spätestens 5 Jahre nach Herstellung“

gemeint ist: Die Ermittlung des 5jährigen Mittels muss spätestens im 6. Jahr nach Herstellung begonnen werden und spätestens im 10. Jahr nach Herstellung abgeschlossen sein

(siehe dazu BR-Drucksache 230/1/11, Begründung zu den Anträgen 38 und 40).

- im 5jährigen Mittel, weil keine Wasserhaushaltsschicht die Anforderungen in jedem Jahr einhalten kann*
- „Karenzzeit“ von 5 Jahren, weil der Bewuchs eine gewisse Zeit benötigt, um sich voll zu entwickeln und seine volle Verdunstungsleistung zu entfalten*

→ Bei Beendigung der Baumaßnahme kann die Erfüllung der Anforderungen an die Materialparameter, nicht jedoch die Erfüllung der Anforderungen an den Durchfluss geprüft werden.



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Können Wasserhaushaltsschichten die Anforderungen der Deponieverordnung einhalten?

Wasserhaushaltsschichten können die Anforderungen nach Deponieverordnung Nr. 2.3.1.1 einhalten, wenn die meteorologischen Rahmenbedingungen stimmen (Standorte mit Niederschlägen 600 ... 650 mm/a → Ostdeutschland, Rheinpfalz, Hessen, Nordbayern)

Die Anforderungen an die DK I sind nur unter sehr günstigen Umständen einzuhalten. ¹⁾

- 1) Fachgespräch „Wasserhaushaltsschichten im Deponiebau“
25.11.2009 in Potsdam (Internetseite „Leipziger-Deponiefachtagungen.de“, Publikationen)
Fachgespräch zur Vorbereitung des BQS 7.2
18.08.2010 in Hildesheim (interne Unterlagen der LAGA-AG „Deponietechnik“)**



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Die Feststellungen beruhen aber in erster Linie auf den Ergebnissen von Wasserhaushaltssimulationen.

Testfelder/Lysimeter, die zum Nachweis der Einhaltung der Anforderungen der Deponieverordnung errichtet wurden, gibt es nur sehr wenige (DUNGER, MÜLLER; MELCHIOR et.al.).

Die Ergebnisse der Testfelder auf der Deponie Deetz lassen jedoch die Bewertung zu, daß die Einschätzung aus den Fachgesprächen zutreffend war.

(MELCHIOR, STEINERT; RAABE „Ergebnisse zur Wirksamkeit ausgewählter Oberflächenabdichtungssysteme der Versuchsfelder der MEAB auf der Deponie Deetz“. 21. Nürnberger Deponieseminar, 2010)

siehe folgende Folie

Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Jahr	N mm/a	Versickerung WHS I		Versickerung WHS II		Versickerung Reku-schicht	
		mm/a	% von N	mm/a	% von N	mm/a	% von N
2003/04	528	146	28	89	17	123	23
2004/05	579	44	8	36	6	91	16
2005/06	653	43	7	41	6	107	16
2006/07	592	36	6	29	5	154	26
2007/08	941	61	7	86	9	261	28
2008/09	590	46	8	48	8	141	24

Tabelle 2: Jahressummen der Wasserhaushaltsjahre 2003/04 bis 2008/09



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

langjähriges Niederschlagsmittel Deetz (DWD-Station Potsdam):
590 mm/a

5jähriges Mittel 2004/05 – 2008/09 Wasserhaushaltsschicht I:
46 mm/a entspricht **7,8 % des langjährigen Mittels**

5jähriges Mittel 2004/05 – 2008/09 Wasserhaushaltsschicht II:
48 mm/a entspricht **8,1 % des langjährigen Mittels**

- **Anforderung an Wasserhaushaltsschicht erfüllt**
- **Ersatz einer Abdichtungskomponente in einer OFA**
 - **der DK II: zulässig**
 - **der DK I : nicht zulässig**



Definition, Anforderungen der Deponieverordnung

Wie ist das Konzept „Wasserhaushaltsschicht“ im Kontext mit anderen Abdichtungstechnologien zu bewerten?

Wasserhaushaltsschichten sind sehr nachhaltig wirkende Systemelemente. Sie behalten ihre volle Wirksamkeit auch dann noch, wenn alle anderen Abdichtungselemente (Kunststoffdichtungsbahn, mineralische Dichtungsschicht) ihre Wirksamkeit verloren haben. ¹⁾

Wie später zu sehen sein wird, ist die Errichtung einer Wasserhaushaltsschicht mit einem erheblichen Ausführungsrisiko verbunden, welches dadurch entsteht, daß

- die Erreichung der aus der Dimensionierung abgeleiteten Bodenparameter sich in der Praxis schwierig darstellen kann***
- zum Zeitpunkt der Bauabnahme die Erreichung der Wirksamkeit der Wasserhaushaltsschicht nicht nachgewiesen werden kann.***

Das Ausführungsrisiko läßt sich durch gutachterlich begleitete Suche nach geeigneten Böden im Vorfeld der Baumaßnahme minimieren.



Die bundeseinheitlich zu gewährleistenden Qualitätsstandards

Deponieverordnung, Anhang 1 Nr. 2.1.2

Für ... den Einsatz von natürlichem, ggf. vergütetem Boden- und Gesteinsmaterial aus der Umgebung sowie von Abfällen definieren die Länder Prüfkriterien und legen Anforderungen an den fachgerechten Einbau sowie an das Qualitätsmanagement in **bundeseinheitlichen Qualitätsstandards** fest.

→ **Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard BQS 7.2**

„Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen“
vom 20.10.2011 (LAGA-online.de, Informationen)



Dimensionierung der Wasserhaushaltsschicht

Soll eine Wasserhaushaltsschicht eine Abdichtungskomponente in einem Oberflächenabdichtungssystem ersetzen, ist sie so zu dimensionieren, dass sie die Anforderungen der Deponieverordnung erfüllt.

Im einem abfallrechtlichen Verfahren muß der Antragsteller darüber einen Nachweis führen.

Dazu stehen dem Antragsteller grundsätzlich 2 Möglichkeiten zur Verfügung:

- die Simulation des Wasserhaushalts durch Wasserhaushaltsmodelle
- die Bestimmung der Durchsickerung in Versuchsfeldern.

Beide Verfahren können auch in Kombination miteinander angewendet werden.

In der Regel wird die Wasserhaushaltssimulation das Mittel der Wahl sein. Testfelder stehen nur in geringer Anzahl zur Verfügung, der Nachweis über neue Testfelder benötigt mehrere Jahre.



Anforderungen an Wasserhaushaltsmodelle

Wasserhaushaltsmodelle müssen 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.

Es dürfen nur solche Wasserhaushaltsmodelle verwendet werden, für die die **Einhaltung der vorgenannten Anforderungen gegenüber der LAGA-ad-hoc-AG „Deponietechnik“ nachgewiesen** und deren **Originalversion bei der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ hinterlegt wurde.**



Anforderungen an Wasserhaushaltsmodelle

- in Deutschland angewendete Modelle:
HELP (neueste Version: 3.90), BOWAHALD.
(Das Ingenieurbüro pedotec verwendet das Modell HELP in einer adaptierten Variante.)
(Literatur: BERGER, DUNGER, MARKWARDT, GDA 2-30)
- Anforderungen des BQS 7.2 an Wasserhaushaltsmodelle sind modellunabhängig formuliert.
- Für die Modelle HELP 3.90 und BOWAHALD haben die Autoren Anträge auf Eignungsprüfung bei der LAGA-ad-hoc-AG „Deponietechnik“ gestellt und die Originalversionen hinterlegt.
- Die LAGA-ad-hoc-AG „Deponietechnik“ prüft gegenwärtig die Validierung der Modelle



Anforderungen an Wasserhaushaltsmodelle

Sind Wasserhaushaltsmodelle für die Führung des Eignungs- nachweises von Wasserhaushaltsschichten ausreichend validiert?

Die genannten Modelle liefern für Grasvegetation plausible und durch zahlreiche Testfelder validierte Ergebnisse. Für HELP liegt darüber hinaus eine umfangreiche Validierungsstudie vor. Für Grasvegetation können beide Modelle als gut validiert gelten.¹⁾

Die Wasserhaushaltsmodelle liefern keine tagesaktuell genauen Werte. Für Monats- und erst recht für Jahressummenwerte lassen sich aber recht gute Übereinstimmungen zwischen Modellierung und Testfeld feststellen.¹⁾

Wegen der modellhaften Betrachtungen sind die Berechnungsergebnisse der Wasserhaushaltsmodelle mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Diese schränken die Brauchbarkeit der Wasserhaushaltsmodelle nicht ein, sind jedoch bei der gutachterlichen Bewertung zu berücksichtigen.¹⁾



Anforderungen an Wasserhaushaltsmodelle

Die Verdunstungsleistung des höheren Bewuchses wird tendenziell unterschätzt, insbesondere die von dichten Gehölzbeständen und von Nadelgehölzen. Die Verdunstung durch höheren Bewuchs kann durch Anwendung von monatsvariablen Bestandsfaktoren K_C berücksichtigt werden. Da bisher noch keine belastbaren K_C -Faktoren für höheren Bewuchs vorliegen, wird deren Anwendung nur empfohlen, wenn der K_C -Faktor am Prüf-/Einsatzstandort in einem Feldversuch ermittelt worden ist.¹⁾

Die Feststellung der Experten während der Fachgespräche sind durch Veröffentlichungen belegt (hier insbesondere DUNGER) und können als Arbeitshypothese gelten, auf deren Grundlage die Anwendung der Wasserhaushaltsmodelle empfohlen wird.


Zur Verifizierung der Arbeitshypothese prüft die LAGA-ad-hoc-AG die als Beleg der Validierung eingereichten Unterlagen.



Durchführung der Wasserhaushaltssimulation

bei Anwendung der Wasserhaushaltsmodelle zu beachten:

- Durchführung von Simulationsläufe in ausreichender Zahl zur Berücksichtigung modellbedingter Unsicherheiten
(bei angenommener Unsicherheit von 10% und einem Zielwert der Durchsickerung von 55 mm/a sollte die Simulation auch eine Durchsickerung von 50 mm/a umfassen und die Festlegung der Materialparameter auf Basis einer gutachterlichen Bewertung erfolgen)
- Darstellung und fachliche Bewertung der Unsicherheiten der Simulationsergebnisse infolge der modellhaften Abbildung der Prozesse
- Variation der Eingangsparameter innerhalb der in der Realität zu erwartenden Schwankungsbreiten



Durchführung der Wasserhaushaltssimulation

Möglichkeiten der Prüfung der Simulationsergebnisse

Hier bleibt der BQS 7.2 sehr kurz angebunden:

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

Was kann die misstrauische Behörde selbst tun?

- *Anforderung sämtlicher Eingangs- und Ergebnisdatensätze*
- *stichprobenweise Wiederholung einzelner Simulationsläufe*
- *ggf. Abgleich der Simulationsläufe mit den bei der Unter-AG hinterlegten Originalversionen*
- *Prüfung der Eingangswerte auf Plausibilität*



Durchführung der Wasserhaushaltssimulation

persönliche Anmerkung:

Diese Empfehlungen (und die jetzt laufenden Prüfungen zur Validierung der Modelle) bezwecken nicht, Zweifel an der Seriosität der Wasserhaushaltssimulation zu streuen.

Das Ziel besteht vielmehr darin

- die Transparenz zu erhöhen*
- den Prüfenden mehr Sicherheit zu geben*
- die Akzeptanz der Wasserhaushaltsmodellierung und insgesamt des Konzeptes „Wasserhaushaltsschicht“ zu erhöhen*



Durchführung der Wasserhaushaltssimulation

Prüfung der Eingangswerte auf Plausibilität Meteorologische Daten, insbesondere Niederschlag

- repräsentative meteorologische Daten verwenden
- vorzugsweise Daten der deponieeigenen meteorologischen Messstation verwenden
- alternativ (**wenn nicht vorhanden, Datenqualität bzw. –quantität nicht ausreichend, Messreihe zu kurz**)
 - auf Werte einer meteorologischen Messstation an einem vergleichbaren Standort in der Umgebung zurückgreifen (Nachweis der Repräsentativität für den Standort erforderlich)
- Niederschlagsreihen in der Regel 30, mindestens aber 20 Jahre
- Niederschlagswerte sollen so aktuell wie möglich sein und die standort-spezifische Bandbreite der Jahressummen abdecken
 - feuchte und trockene Jahre einbeziehen
- Zeitdiskretisierung modellabhängig festlegen, in der Regel sind Niederschläge als Tagessummenwerte anzusetzen.



Durchführung der Wasserhaushaltssimulation

Prüfung der Eingangswerte auf Plausibilität Vegetationsparameter, insb. Blattflächenindex, Durchwurzelungstiefe

- Werte müssen dem geplanten Bewuchs entsprechen
(zu beachten: Verdunstungsleistung des höheren Bewuchses wird unterschätzt
→ Anwendung von monatsvariablen Bestandsfaktoren K_C , siehe oben)
- flächenhaft wirksame Durchwurzelungstiefe ansetzen (nicht: maximale Durchwurzelungstiefe), abhängig von Bewuchs, Verdichtung des Bodens, Humusgehalt und der Bodenart
- Bodenbereich einbeziehen, aus dem Wasser kapillar zu den Wurzeln aufsteigen kann, abhängig von der Bodenart
→ Konzept des effektiven Wurzelraumes nach SCHEFFER/SCHACHT-SCHABEL



Durchführung der Wasserhaushaltssimulation

Prüfung der Eingangswerte auf Plausibilität bodenkundliche Parameter, insbesondere nutzbare Feldkapazität

Werden für die Modellierung die Werte der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) 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.



Allgemeine Anforderungen an die Wasserhaushaltsschicht nach BQS 7.2

Die Wasserhaushaltsschicht soll aus **zwei Lagen** bestehen, dem **humushaltigen Oberboden** (Schichtdicke in der Regel 30 cm) und dem **Unterboden**, der **wenig organische Substanz** enthalten sollte.

Auf eine gesonderte Oberbodenlage kann verzichtet und die gesamte Wasserhaushaltsschicht in einer Lage eingebaut werden, wenn die oberen 10 bis maximal 30 cm z. B. durch Einarbeiten von Qualitätskompost vergütet werden.

Schutz vor Frosteinwirkungen einer ggf. darunter folgenden frostempfindliche mineralische Abdichtungsschicht ist in anbetracht der Mindestmächtigkeit von 1,50 m gewährleistet.



Allgemeine Anforderungen an die Wasserhaushaltsschicht nach BQS 7.2

Die **Mächtigkeit** der Wasserhaushaltsschicht soll so groß bemessen werden, dass eine **Durchwurzelung** der Entwässerungsschicht und insbesondere **der Abdichtungskomponenten vermieden wird**.

Die Mindestdicke von 1,50 m kann zur Verhinderung der Durchwurzelung mineralischer Abdichtungskomponenten als oberster Abdichtungskomponente nicht ausreichend sein.

→ **Möglichkeit der Beendigung der Nachsorgephase ???**

Kombination Wasserhaushaltsschicht über KDB:

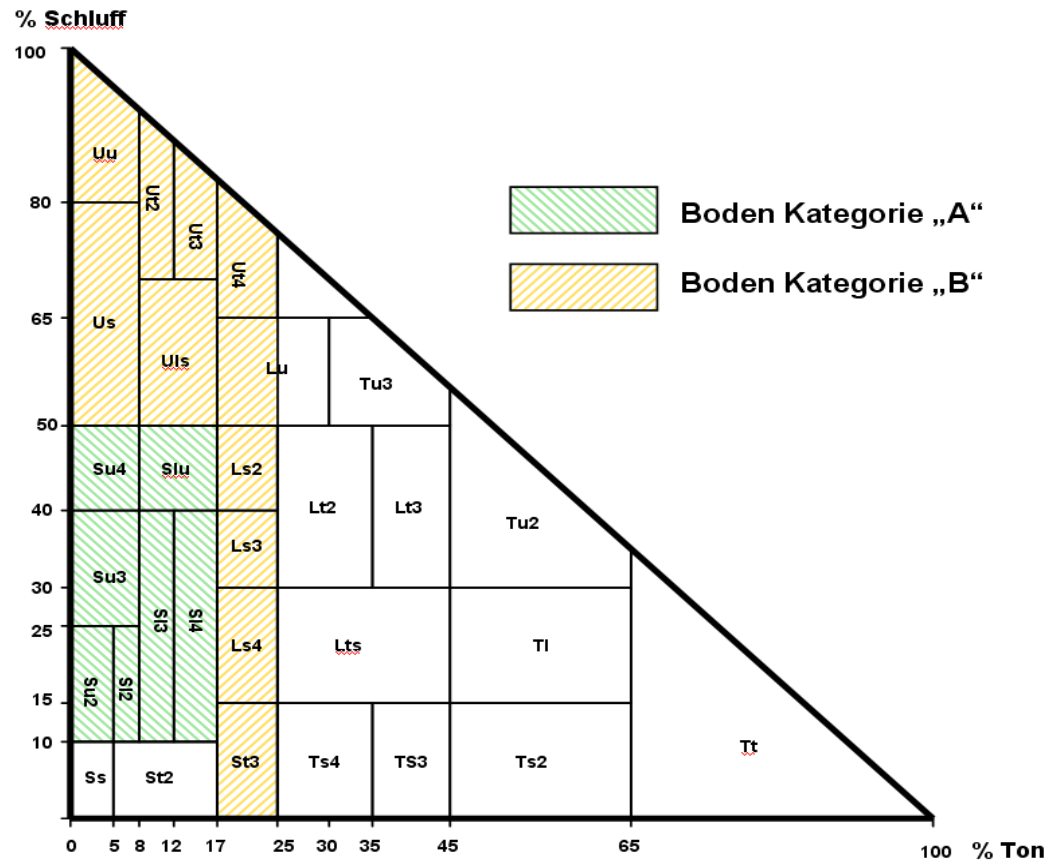
→ *keine Probleme mit der Durchwurzelung*

→ *keine Notwendigkeit eines Kontrollfeldes nach Anhang 1 Nr. 2.3 DepV*

Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Auswahl der Böden für Rekultivierungsschichten nach BQS 7.1





Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

bedingt anwendbar, wenn die Anforderungen an die Durchsickerung bei Erfüllung der Mindestvoraussetzungen an die Wasserhaushaltsschicht ($n_{FK} = 220 \text{ mm}$, $D = 1,50 \text{ m}$) erreicht werden, nicht Bestandteil des BQS 7.2

Einsatz von Böden der **Kategorie A:**

große Wahrscheinlichkeit, dass die Anforderungen an die nutzbare Feldkapazität und die Luftkapazität **bereits bei einer Dicke** der Wasserhaushaltsschicht **von 1,50 m** und Einbau mit geringer Dichte eingehalten werden

Einsatz von Böden der Kategorie B:

geringere Wahrscheinlichkeit, ...

Durch Mischen von nach der Abbildung ungeeigneter Böden untereinander oder mit Böden der Kategorien A bzw. B kann ein geeigneter Boden hergestellt werden.

Zum Mischen können auch reine Sande (Ss) verwendet werden, reine Tone sind wegen ihrer schwierigen Aufbereitung für den Einsatz ungeeignet.



Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Eignungs- und Qualitätsprüfungen

Die Durchführung der Eignungs- und Qualitätsprüfungen soll sicherstellen, dass die der Dimensionierung zugrunde liegenden Materialparameter bei der Errichtung auch tatsächlich erreicht werden.



Eignungsprüfungen im Labor

Eignungsprüfungen im Großmaßstab (Probefeld)

Qualitätsprüfungen während des Einbaus

Eigen- und Fremdprüfungen

bodenmechanische und bodenkundliche Parameter

Parameter zur Beschreibung des Nährstoffgehaltes des Bodens



Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

zentrale Frage: Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität

- nur nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 aus Bodenart und Trockendichte
- oder auch laborativ gemäß DIN 11274 ??

Problem:

- einerseits: KA5 gilt nur für ungestörte Böden
- andererseits: Hinweise auf „realitätsferne“ Ergebnisse der laborativen Bestimmung



Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Ergebnis:

Auf die Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität im Labor kann nicht verzichtet werden.

Dies gilt sowohl für die Eignungsprüfung als auch für die Qualitätsprüfung beim Einbau.

(nicht vergessen: Die Wasserhaushaltsschicht soll eine Abdichtungskomponente ersetzen!)

Nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität sind daher in Abhängigkeit vom Verdichtungsgrad **im Laborversuch und** aus der Korngrößenanalyse in Verbindung mit der Trockenrohdichte **nach KA5** zu bestimmen und **gemeinsam zu bewerten**.

Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Tabelle 1: Eignungsprüfung im Labor (Ausschnitt)

Parameter	Anforderung	Probenanzahl	Bemerkung
Korngrößenverteilung (Bodenart)	gemäß Bemessung	mind. 3	<i>Eine intensive bodenkundliche Begleitung der Suche nach geeigneten Böden ist dringend zu empfehlen.</i> <i>Im Rahmen dieser Begleitung sollte die notwendige Probenanzahl gutachterlich festgelegt werden.</i>
Zustandsgrößen/ Konsistenz	bei bindigen Böden: halbfest, $I_c \geq 1$ bei schwachbindigen Böden: steif, $I_c \geq 0,75$	mind. 3	
Wassergehalt	abhängig von der Bodenart	mind. 3	
Trockendichte / Verdichtungsgrad	gemäß Bemessung	mind. 3	
Proctorversuch	zur Charakterisierung	mind. 3	
Durchlässigkeit, Infiltrationsvermögen	gemäß Bemessung	mind. 3	
Scherfestigkeit	gemäß Standsicherheitsnachweis	mind. 3	
Luftkapazität	LK > 8 Vol-%	mind. 9	3 unterschiedliche Trockendichten, je 3 Proben
Nutzbare Feldkapazität	gemäß Bemessung, nFK > 220 mm, Bezogen auf Gesamtdicke der WHS	mind. 9	

Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Tabelle 2: Eignungsprüfung während der Bauausführung (Ausschnitt)

Parameter	Anforderung	Probenanzahl	Bemerkung
Korngrößenverteilung (Bodenart)	gemäß Bemessung	je 5000 m ²	Korngrößenverteilung, Proctordichte und Scherfestigkeit im Sinne einer Eingangskontrolle möglichst vor Einbau untersuchen Bei mehrlagigem Einbau (z.B. Unterboden – Oberboden) Gilt der Untersuchungsumfang für jede Lage
Zustandsgrößen/ Konsistenz	bei bindigen Böden: halbfest, $I_c \geq 1$ bei schwachbindigen Böden: steif, $I_c \geq 0,75$	je 5000 m ²	
Wassergehalt	abhängig von der Bodenart	je 5000 m ²	
Trockendichte / Verdichtungsgrad	gemäß Bemessung	je 1000 m ² 3	
Proctorversuch	zur Charakterisierung	je 1000 m ²	
Durchlässigkeit, Infiltrationsvermögen	gemäß Bemessung	je 5000 m ²	
Scherfestigkeit	gemäß Standsicherheitsnachweis	je 10000 m ²	
Luftkapazität	LK > 8 Vol-%	je 5000 m ²	
Nutzbare Feldkapazität	gemäß Bemessung, nFK > 220 mm, Bezogen auf Gesamtdicke der WHS	je 5000 m ²	



Praxisbeispiele

Umsetzung des BQS 7.1 bei einer Deponie in Brandenburg:

		$D_{Pr} = 0,85$			$D_{Pr} = 0,90$			$D_{Pr} = 0,95$		
Labor	KA5	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Rho _s	> 1,6	1,74	1,71	k.A.	1,85	1,81	k.A.	1,95	1,92	k.A.
FK	25	23,2	19,4	26,8	22,2	20,1	27	23,2	21,1	27,5
PWP	8	12,9	9,0	18,3	13,7	9,4	18,9	14,5	9,9	20,0
nFK	17	10,3	10,4	8,5	8,6	10,8	9,4	8,7	11,2	7,5
LK	10	11,2	16,1		8,1	11,7		3,1	6,4	

Boden SI3, Eignungsprüfung im Labor,
Eigenüberwachung, 3 Labore, unterschiedliche Dichtestufen



Praxisbeispiele

		$D_{Pr} = 0,85$			$D_{Pr} = 0,90$			$D_{Pr} = 0,95$		
KA5		L (4)	P (4)	P (2)	L (4)	P (4)	P (2)	L (4)	P (4)	P (2)
Rho _s	> 1,6	1,67		1,62	1,79	1,77		1,88	1,91	1,91
FK	25	18,5		22,2	19,2	24,3		20,2	22,5	23,3
PWP	8	9,2		13,3	9,6	14,3		10,2	14,3	14,3
nFK	17	9,3		8,9	9,6	10,0		10,0	8,2	9,0
LK	10	21,6		17,1	18,6	9,0		13,4	5,9	5,6

derselbe Boden SI3, Eignungsprüfung im Labor und im Probefeld,
Eigen- und Fremdüberwachung, 2 Labore, unterschiedliche
Trockendichten



Praxisbeispiele

Feststellungen:

nFK liegt bei allen Laboren **weit unterhalb** der nach KA5 zu erwartenden nFK (teilweise nur 50%)

überwiegende Zahl der Messungen: FK im Bereich der zu erwartenden Größenordnung, PWP deutlich darüber

geringere Zahl der Messungen: PWP im Bereich der zu erwartenden Größenordnung, FK deutlich darunter

Weitere, vom Autor unsystematisch zusammengetragene Vergleiche zwischen Laboruntersuchungen und KA5-Ableitungen zeigen Differenzen von wenigen bis 50 %, bezogen auf KA5 (z.B. HENKEN-MELLIES: Testfelder des LfU Bayern)



Praxisbeispiele

Ursachenforschung dringend erforderlich!!

Versuchsdurchführung, Einfluß unterschiedlicher Versuchsmethodik?
Qualität der Laboruntersuchungen?

→ Laborergebnisse zeigen recht einheitliches Bild
aber: auf einheitliche Versuchsdurchführung (PWP!) ist zu achten

als Ursache eher zu vermuten:

- Angaben der KA5 für diesen Boden nicht zutreffend (KA5 berücksichtigt Kornform, -rauigkeit, Genese nicht)
- unsachgemäße Lagerung des Bodens über längere Zeit

→ LAU Sachsen-Anhalt plant Durchführung eines Forschungsvorhabens
(dem Vernehmen nach beabsichtigt auch die Universität Rostock die Durchführung einer Arbeit zu dieser Thematik)



Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Die nutzbare Feldkapazität und die Luftkapazität hängen von der Bodenart und der Trockendichte ab. Je geringer die Trockendichte beim Einbau, desto größer sind nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität.

→ **Ableitung einer Einbau-Trockendichte aus der Eignungsprüfung, die nicht überschritten werden darf**

→ Anforderungen an die Gewinnung der Böden

→ Hinweise für den Einbau

... mit dem Ziel eines möglichst lockeren Einbaus der Böden



Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

kontroverse Diskussion der Sinnhaftigkeit des lockeren Einbaus:

pro (Bodenkundler): lockerer Einbau

- ... erleichtert die Erfüllung der Anforderungen an die nutzbare Feldkapazität und an die Luftkapazität
- ... begünstigt damit die schnelle Durchwurzelung und die rasche Erfüllung der Anforderung an die Durchsickerung

kontra (Bodenmechaniker): lockerer Einbau

- ... ist vergebene Liebesmüh, weil aufgrund Sackungen, unvermeidbarer Überfahrten ohnehin eine Verdichtung stattfindet
- beim Einbau wird eine nutzbare Feldkapazität vorgegaukelt, die langfristig nicht haltbar ist

Praxisbeispiele

	KA5	2002 12 Pr.	2006 (1)	2006 (2)	2006 (3)
Rho _s	> 1,6	1,75 – 1,84	1,88	1,9	1,86
FK	25	25,0	27,8	28,0	29,9
PWP	8	13,7	14,8	14,0	14,0
nFK	17	11,3	13,0	14,0	15,9
LK	10	7,1	9,0	5,7	5,5

Boden SI3, Versuchsfeld, Beprobungen in 2002 und 2006 (Deetz)

→ bei relativ hoher Einbaudichte leichte Verbesserung der nFK



Praxisbeispiele

	KA5		Pr. 1	Pr. 2	Pr. 3
Rho _s	< 1,4	1,4 – 1,6	1,39	1,52	1,54
FK	36	30	38,7	42,9	37,3
PWP	14	12	23,4	24,8	23,5
nFK	22	18	15,3	18,1	13,8
LK	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Boden SI4, Qualitätsprüfung während des Einbaus

- Einbau im mittleren Dichtebereich ist realisierbar
- bei noch erheblichen Differenzen und tw. unplausiblen Werten werden halbwegs passable Größenordnungen der nFK erreicht.



Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Anforderungen an die Gewinnung der Böden

- Gewinnung und Zwischenlagerung der Bodenmaterialien so, dass Bodenverdichtungen vermieden werden
- Ober- und Unterboden sind getrennt abzubauen und zu lagern.
- Lagerungshöhen begrenzen
- Längere Zwischenlagerungen können zu Qualitätsminderungen führen, ggf. ist nach längerer Zwischenlagerung die Eignungsprüfung zu wiederholen.



Umsetzung der Anforderungen an nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität im BQS 7.2

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Hinweise für den Einbau der Böden

- Einbau durch Langarmbagger, Teleskopbagger oder Bandabsetzer,
- Einsatz von Kettenfahrzeugen mit niedriger Bodenpressung (bis 15 kN/m²) wie z. B. Pistenbully oder Supermoorraupe,
- Eingebauter Boden darf nicht mit Gerät mit Flächenpressungen befahren werden, die zu schädlichen Verdichtungen führen können.
- Oberboden und Unterboden sollen jeweils getrennt und in einer Lage eingebaut werden
- Die Bodenmaterialien sollten trocken bis feucht (halbfest bis steif) und keinesfalls sehr feucht bis nass (weich bis breiig) bearbeitet werden.
(→Anforderungen an die Konsistenz in den Tabellen 1 und 2)



Weitere Aspekte im Zusammenhang mit der Herstellung der Wasserhaushaltsschicht

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Erosionsschutz

Die für die Herstellung von Wasserhaushaltsschichten besonders geeigneten Bodenmaterialien sind in der Regel erosionsanfällig.
→ Daher sind insbesondere in Böschungsbereichen besondere Erosionsschutzmaßnahmen erforderlich.

- Anspritzbegrünung,
- Erosionsschutzmatten,
- Einstreuen von Stroh im Anspritzverfahren,
- Langstrohmulchung

(Empfehlung: Erosionsschutzmaßnahmen als gesonderte Position ausschreiben)



Weitere Aspekte im Zusammenhang mit der Herstellung der Wasserhaushaltsschicht

Landesamt für
Umwelt,
Gesundheit und
Verbraucherschutz

Standsicherheit

Der lockere Einbau der Wasserhaushaltsschicht kann zu Problemen beim Nachweis der Standsicherheit der Wasserhaushaltsschicht führen. Der Einbauzustand ist daher besonders zu betrachten. Die Nachweisführung und die Art der Bestimmung der Scherparameter sollte deshalb vorab mit dem für die Prüfung des Standsicherheitsnachweises Zuständigen abgestimmt werden.



Abschlussbemerkungen

Das Konzept „Wasserhaushaltsschicht“ ist in der Vergangenheit belächelt und als vermeintliche Billigvariante angefeindet worden.

Das Konzept „Wasserhaushaltsschicht“ verdient eine objektive Betrachtungsweise. Es muß sich dem Vergleich mit anderen Dichtungstechnologien hinsichtlich Umweltschutzwirkung und Kosten stellen.

Ob Wasserhaushaltsschichten die Anforderungen der Deponieverordnung und des BQS 7.2 erfüllen können, müssen Ausführungsbeispiele zeigen.

Wenn nicht, sind Überlegungen legitim, ob das Konzept „Wasserhaushaltsschicht“ als nachhaltige Sicherungsvariante so wertvoll und überzeugend ist, dass vertretbare Konzessionen eingegangen werden können.

Außerhalb des Geltungsbereichs der Deponieverordnung können Wasserhaushaltsschichten als Sicherungsvariante angewendet werden, ohne die hohen Anforderungen der Deponieverordnung erfüllen zu müssen.