

ZUKUNFTSWEISENDER DEPONIEBAU IN RHEINLAND-PFALZ

Übersicht:

- Anforderungen an Deponien aus geowissenschaftlicher Sicht
- Die Geologische Barriere
- Ergänzung der geologischen Barriere durch Kompensationsschichten
- Die mineralischen Komponenten der Deponieabdichtungssysteme (Basisabdichtungen, Oberflächenabdichtungen, Dränschichten, Rekultivierungsschichten)
- Qualitätskontrolle
- Bepflanzung

Anforderungen an Deponien aus geowissenschaftlicher Sicht

Die am 14. Mai 1993 verabschiedete TA Siedlungsabfall legt im Kap. 10 die besonderen Anforderungen an Deponien fest. Mit Hilfe des sog. Multibarrierenprinzips soll die Freisetzung und Ausbreitung von Schadstoffen nach dem Stand der Technik verhindert werden. Aus geowissenschaftlicher Sicht gesehen bedeutet dies, dass evtl. entstehende Deponiesickerwässer weder Boden noch Grundwasser verunreinigen dürfen und das Deponiebauwerk so errichtet werden muss, dass es auf Dauer standsicher ist. Bei der Deponieplanung ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die Geologische Barriere primär ein hohes Schadstoffrückhaltepotential und die mineralische Basisabdichtung in erster Linie eine hohe Dichtigkeit aufweisen muss.

Um den konvektiven Schadstofftransport, der langfristig immer stattfindet, zu minimieren, sollten für die mineralische Basisabdichtung und die Geologische Barriere grundsätzlich geringste Durchlässigkeiten angestrebt werden. Ein großer Flurabstand und eine Geologische Barriere mit hohem Schadstoffrückhaltevermögen schützen das Grundwasser weitgehend vor diffusivem Schadstoffeintrag. Die Praxis hat gezeigt, dass in Rheinland-Pfalz "ideale" Barrieregesteine für Deponien nicht sehr verbreitet sind. Der Einbau definierter Kompensationsschichten ist deshalb in den meisten Fällen erforderlich.

Rheinland-Pfalz ist reich an Ton- und Sand-Kies-Lagerstätten, so dass für jeden Einsatzbereich geeignete Dichtbaustoffe zur Verfügung stehen (siehe Endbericht des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz zum Forschungsvorhaben "Tone und andere natürliche Rohstoffe für den Deponiebau"). So ist es beispielsweise möglich, innerhalb einer Deponiebasisabdichtung verschiedene mineralische Lagen mit unterschiedlichen Eigenschaften vorzusehen, um ein Optimum hinsichtlich Dichtigkeit, Schadstoffrückhaltevermögen und Standfestigkeit zu erreichen.



Herstellung einer mehrfachmineralischen Basisabdichtung für eine Hausmülldeponie. Die einzelnen Lagen aus tonigen und gemischten Dichtbaustoffen sind an den unterschiedlichen Farben erkennbar.

Die Geologische Barriere

Die TA Abfall und die TA Siedlungsabfall (TASi) verlangen gemäß dem Multibarrierenkonzept zusätzlich zu den Deponieabdichtungssystemen eine Geologische Barriere.

Geologische Barrieren müssen in erster Linie Schadstoffe adsorbieren und sollten deshalb homogen sein sowie eine geringe Wasserwegsamkeit, eine große Mächtigkeit, ein hohes Schadstoffrückhaltevermögen und eine möglichst große flächenhafte Ausdehnung aufweisen. Bei Nichterfüllung der Anforderungen sind sie laut TASi in den obersten 3 m kompensierbar. Verschiedene Autoren bezeichnen diesen Bereich auch als Deponieauflager.

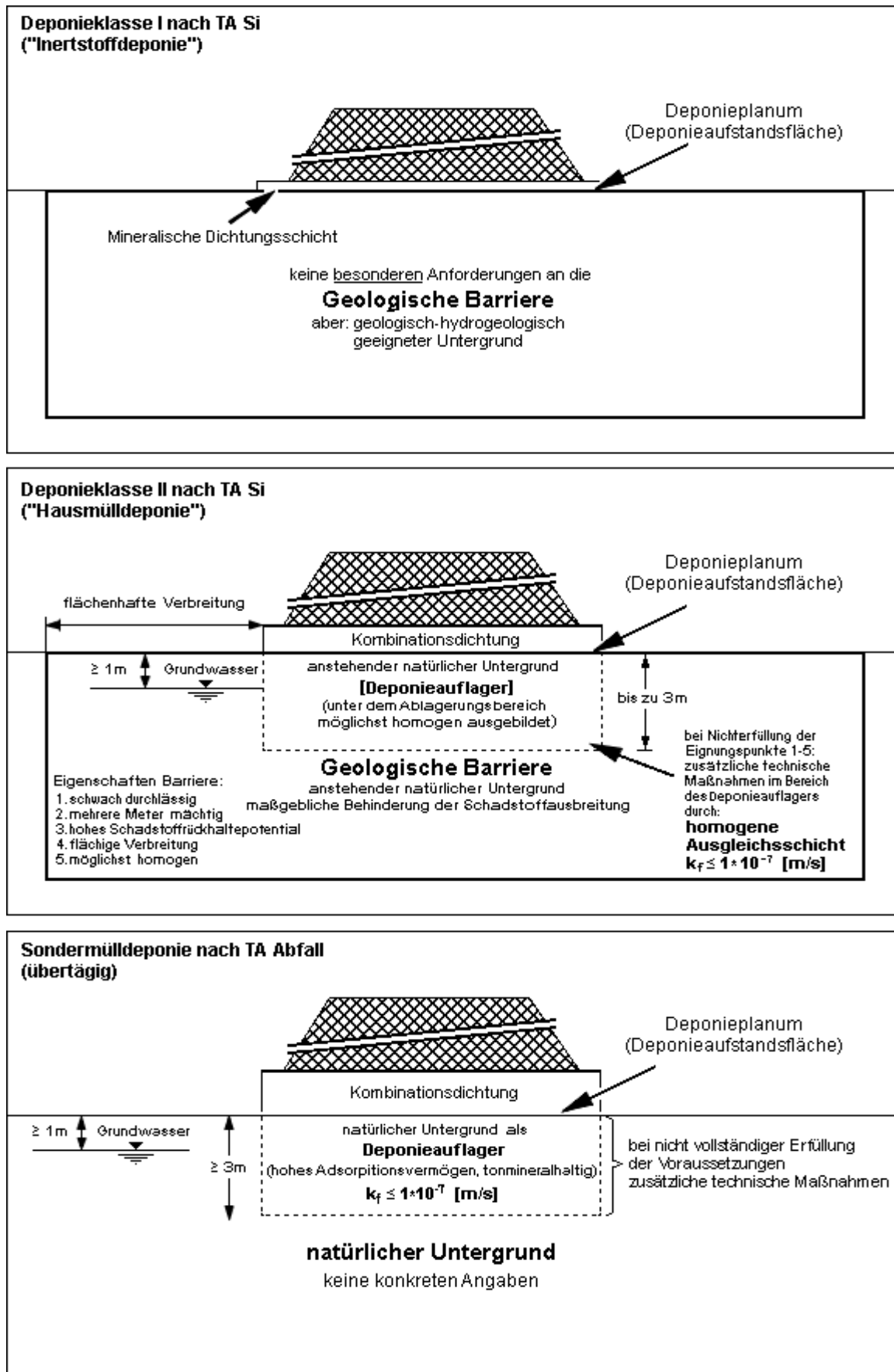


Abb. 1: Anforderungen an den Standort in der TA Abfall und in der TA Siedlungsabfall (Geologisches Jahrbuch Reihe G, Heft 4, S. 13, 1997).

1. Durchlässigkeit und Mächtigkeit

Eine mächtige Geologische Barriere mit geringer Durchlässigkeit minimiert den diffusiven Schadstofftransport und erhöht die Verweilzeit der Sickerwässer im Untergrund, so dass darin enthaltene Schadstoffe vor dem Erreichen des Grundwassers zumindest zum Teil adsorbiert werden können. Das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz schlägt vor, bei nicht ausreichend vorbehandeltem Restmüll die Gebirgsdurchlässigkeit auf $K \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s festzulegen und empfiehlt analog zur TA Abfall für das Deponieauflager eine Schicht aus Barrieregestein mit einer Mindestmächtigkeit von 3 m. In der Deponieverordnung (2002) werden für die Geologische Barriere je nach Deponieklasse unterschiedliche Gebirgsdurchlässigkeiten und Mächtigkeiten genannt.

2. Schadstoffrückhaltevermögen

Die Geologische Barriere im Untergrund der Deponie ist primär keine zusätzliche Dichtung, sondern dient der Schadstoffrückhaltung im Falle des Versagens der eigentlichen Dichtung. Sie ist die letzte Barriere, die einen diffusiven Schadstofftransport aufhalten kann.

Vor allem das Sorptionsverhalten bzw. die Kationenaustauschkapazität (KAK) der Sedimente sind für das Schadstoffrückhaltevermögen entscheidend. Sie werden in besonderem Maße vom Tonmineralgehalt und somit vom Feinkornanteil bestimmt, wobei das Rückhaltevermögen von hochquellfähigen Tonmineralen wie z.B. Montmorillonit um ein Vielfaches über dem von geringquellfähigen Tonmineralen wie z.B. Illit und Kaolinit liegt. Eine Geologische Barriere mit hohem Schadstoffrückhaltepotential sollte deshalb einen hohen Anteil an Feinstkorn und hochquellfähigen Tonmineralen aufweisen.

Das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz schlägt als Richtwert für die KAK einer 3 m mächtigen natürlich anstehenden Barrieregesteinsschicht mit hohem Schadstoffrückhaltepotential einen Wert von mindestens 10 mmol(eq)/100 g Trockensubstanz vor.

Ergänzung der Geologischen Barriere durch Kompensationschichten

siehe hierzu Beiträge von Dr. Ulrich Maier-Harth in

- *Geologische Barriere, Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung - Möglichkeiten zur standortbezogenen Optimierung; 3. Deponieseminar des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz (1996), Seite 21 – 38.*
- *Müll und Abfall, 2, 28. Jahrgang (1996), Seite 100 – 109.*
- *Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 41 (1996), Seite 1 – 18.*

Der Untergrund von Deponien ist oft sehr unterschiedlich aufgebaut und erfüllt häufig nicht die gesetzlichen Vorgaben.

Für den Fall, dass unter dem Ablagerungsbereich einer Deponie keine ausreichend mächtigen, schwach wasserdurchlässigen, homogenen Barrieregesteine bis zum Deponieplanum

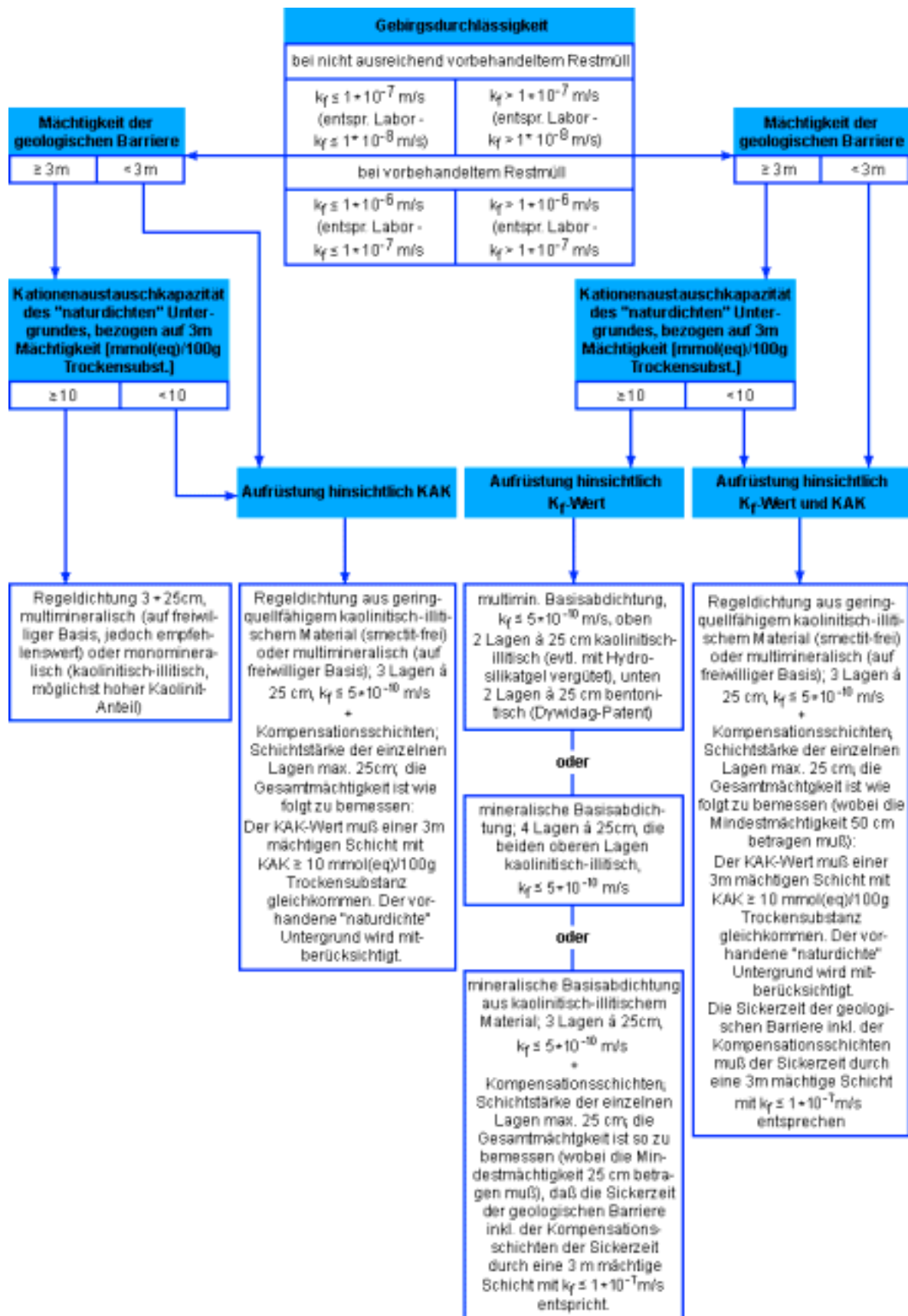


Abb. 2: Ablaufschema zur Bewertung des Deponieauflagers und der Bemessung der Kompensationsschichten bzw. der mineralischen Basisabdichtung (geändert nach Maier-Harth, U.: Bewertung und Ergänzung des „Deponieauflagers“ als Teil der „Geologischen Barriere“. - Müll und Abfall, Jg. 28., S.105, 1996).

anstehen, empfiehlt die TASI den Einbau einer bis zu 3 m mächtigen Ausgleichsschicht. Dies kann unter Umständen den Transport großer Mengen Dichtungsmaterials bedeuten. Um die Gesamtmächtigkeit und evtl. auch die Kosten zu reduzieren, schlägt das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz alternativ das Einbringen einer oder mehrerer qualitativ hochwertiger Kompensationsschichten vor.

Die für die Dimensionierung der Kompensationsschichten notwendige Bewertung des Barrieregesteins erfolgt anhand der Kriterien "Gebirgsdurchlässigkeit", "Mächtigkeit" und "Kationenaustauschkapazität" (siehe Abb. 2).

Werden alle drei Kriterien für das natürlich anstehende Barrieregestein erfüllt, reicht die 75 cm mächtige "Regeldichtung" der TASI, hergestellt aus kaolinitisch-illitischem Material oder mit "multimineralischem" Aufbau, aus.

Bei nicht ausreichender KAK bzw. zu geringer Mächtigkeit der natürlich anstehenden Barrieregesteine sind außer der kaolinitisch-illitischen "Regeldichtung" zusätzliche "Kompensationsschichten" mit hoher KAK erforderlich, um eine weitere Retardation zu erzielen.

Ein zusätzliches Rückhaltevermögen ergibt sich durch den Bau multimineralischer Basisabdichtungen [oberste Lagen kaolinitisch, untere Lage(n) bentonitisch].

Die mineralischen Komponenten der Deponieabdichtungssysteme

1. Basisabdichtungen



Kompensationsschicht (untere dunkle Lage) mit multimineralischer Deponiebasisabdichtung (mittlere und obere Lage)

Mineralische Basisabdichtungen haben die Migration von Sickerwasser und Gas aus der Deponie in den Untergrund und ins Grundwasser langfristig zu verhindern. Außer einer besonders hohen Dichtwirkung müssen sie zusätzlich eine hohe Schadstoffresistenz aufweisen.

Hierfür eignen sich besonders kaolinitisch-illitische Tone, wie sie vor allem im Westerwald (Rheinland-Pfalz) in vielen Varietäten vorkommen und bisher häufig von der Tonindustrie als Abraum rückverfüllt wurden.

In der Deponieverordnung (2002) werden für die Basisabdichtung je nach Deponieklasse unterschiedliche Durchlässigkeiten und Mächtigkeiten genannt.

Um lange Transportwege zu vermeiden, bietet sich auch die Verwendung lokaler Rohstoffe an, die mit Tonmehl vergütet oder in Zwangsmischanlagen aufbereitet werden.

Multimineralische Basisabdichtungen müssen die vorgenannten Bedingungen erfüllen, verfügen jedoch neben schadstoffresistenten Tonen auch über Tonlagen mit hohem Schadstoffrückhaltevermögen. Sie sind vor allem bei Deponien mit hohem Schadstoffpotenzial und an Standorten mit geringem Adsorptionsvermögen angezeigt.

2. Oberflächenabdeckungen und -dichtungen

Oberflächenabdeckungen (Temporäre Oberflächenabdichtungen) werden häufig aus lokal verfügbaren Erdmassen hergestellt. Gesetzliche Anforderungen bezüglich Qualität und Einbau gibt es z. Zt. nicht. Die Abdeckungen sollten erosionsstabil sein und ausreichende Wassermengen für den Abbau organischer Deponieinhaltsstoffe versickern lassen. Alternativ werden vereinzelt Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) mit einem Reinfiltrationssystem eingebaut.

Oberflächenabdeckungen aus tonigem Material oder KDB wurden bisher nach Abklingen der Setzungen durch mineralische Oberflächenabdichtungen ersetzt. Diese sind technische Barrieren, mit denen der Eintrag von Niederschlagswasser in den Deponiekörper und das Entweichen von Deponiegas weitgehend unterbunden werden soll. Sie müssen also in erster Linie dicht sein. Ihre Langzeitfunktion ist häufig infolge von Wurzeldurchdringungen, Grab- und Wurmgängeln, Trockenrissen und ungleichen späteren Setzungen beeinträchtigt.

Zahlreiche Aufgrabungen älterer defekter rein mineralischer Oberflächenabdichtungen u. a. auch in Rheinland-Pfalz machen deutlich, dass mineralische Dichtungen als alleinige Oberflächenabdichtung nur in den seltensten Fällen langzeitstabil sind. Untersuchungen und Berechnungen lassen gar befürchten, dass mineralische Dichtschichten auch in Kombinationsdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) die ihnen zugedachte Aufgabe aufgrund von Austrocknungerscheinungen kaum übernehmen können.

Literaturhinweise:

- Maier-Harth, U. et al. (1999): Überprüfung der Wirksamkeit der mineralischen Oberflächenabdichtung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Kreis Mainz-Bingen. - Unveröffentlichter Abschlußbericht; Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz und IGB Hamburg.
- Maier-Harth, U. & Melchior, S. (2001): Überprüfung der Wirksamkeit der 10 Jahre alten mineralischen Oberflä-



Einbau einer Tondichtung.



Trockenrisse in einer aufgegrabenen mineralischen Oberflächenabdichtung.



Durchwurzelung einer Tondichtung.

chenabdichtung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Kreis Mainz-Bingen. In: Maier-Harth, U. (Hrsg.): Oberflächenabdichtung und Rekultivierung von Deponien. – Tagungsband. - 4. Deponieseminar des Geologischen Landesamtes Rhld.-Pf., S. 121 - 182, Mainz;

- Maier-Harth, U. & Melchior, S. (2002): Überprüfung der Wirksamkeit der mineralischen Oberflächenabdichtung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Kreis Mainz-Bingen. In: Ramke, H.-G. et al. (Hrsg.): Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen. – Tagungsband. – Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften, Band 3, S. 239 – 252, Höxter.)



Regenwurmgänge in einer mineralischen Oberflächenabdichtung.

Durch Zugabe von Additiven (z. B. Polymere) können jedoch insbesondere gemischtkörnige Dichtungsmaterialien gegenüber Austrocknung, Durchwurzelung und Bioturbation verbessert werden.

Kunststoffdichtungsbahnen verhindern – fachgerechter Einbau vorausgesetzt – die Durchwurzelung und die Bioturbation auf lange Zeit.



Fachgerecht verlegte Kunststoffdichtungsbahn.

Ursache für die Durchsickerung rein mineralischer Oberflächenabdichtungen sind nicht nur Mängel beim Einbau der Dichtbaustoffe, sondern meist zu gering dimensionierte, falsch zusammengesetzte und/oder fehlerhaft eingebrachte Rekultivierungsschichten oder fehlende Kies-Dränschichten als kapillarbrechende Schicht zwischen mineralischer Dichtung und Rekultivierungsschicht.

3. Dränschichten

Den Dränschichten kommt eine wichtige Aufgabe zu: Sie sollen insbesondere auf rein mineralischen Oberflächenabdichtungen das versickernde Oberflächenwasser schnell ableiten, um gesättigte Bodenwasserverhältnisse und damit eine Durchsickerung der mineralischen Dichtung weitgehend zu verhindern. Im Böschungsbereich trägt das Ableiten von Sickerwasser zur Stabilität der Böschungen bei. Die Langzeitfunktionsfähigkeit der Dränschichten muss daher auch nach evtl. möglichen Inkrustationen (Ausfällungen von Kalk, Eisen und Mangan aus den Rekultivierungsböden) und Durchwurzelungen gewährleistet sein.



Grober Dränkies.

Die erforderliche Schichtmächtigkeit wird von den regionalen klimatischen und den kleinklimatischen Verhältnissen (z.B. Exposition der Böschung), von der Böschungslänge, vom Porenvolumen, Inkrustationsverhalten (abflusswirksamer Restporenraum ist in grobkörnigen Dränschichten höher als in feinkörnigeren Materialien), Wasserspeichervermögen der Rekultivierungsschicht und dem Wasserverbrauch der Bepflanzung bestimmt.

Eine Abweichung vom Regelaufbau der Deponieverordnung (Mindestmächtigkeit 30 cm, $K \geq 1 \times 10^{-3}$ m/s) ist nur nach Berechnungen mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen der Rekultivierungsschichten (z.B. HELP-Programm; siehe GDA-Empfehlung E 2-30 der DGGT) möglich.



Feiner Dränkies.

4. Rekultivierungsschichten

Allgemeine Hinweise

Eine auflagernde Rekultivierungsschicht mit sorgfältig ausgewählter Bodenzusammensetzung (unterschiedliche Anforderungen für Ober- und Unterboden) und Vegetation soll die Oberflächenabdichtung schützen. Rekultivierungsschicht und Bewuchs erfüllen ihre Aufgaben im Verbund und sind daher aufeinander abzustimmen.



Ober- und Unterboden einer locker eingebauten Rekultivierungsschicht.

Gemäß TASI ist der Bewuchs unter Anwendung von Wasserhaushaltsbetrachtungen so auszuwählen, dass die Infiltration von Niederschlagswasser in das Entwässerungssystem minimiert wird (Kap. 10.4.1.4, Absatz d). Er soll ausreichenden Schutz gegen Wind- und Wassererosion bieten.

Die Rekultivierungsschicht muss aus einem kulturfähigen Substrat bestehen und die Dichtung vor Wurzel- und Frosteinwirkungen sowie Austrocknung schützen (Deponieverordnung Anhang 5). Die Durchwurzelung der Entwässerungsschicht ist weitgehend zu vermeiden.

Die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht soll sich laut Deponieverordnung im Einzelfall an der Durchwurzelungstiefe der geplanten Vegetation, der erforderlichen Höhe des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrats und sonstigen Schutzerfordernissen orientieren. Die genannte Mächtigkeit von einem Meter ist eine Mindestmächtigkeit, die, wie zahlreiche Aufgrabungen gezeigt haben, die vorgenannten Anforderungen häufig nicht gewährleisten kann. Um die Entwässerungs- und Abdichtungsschicht wurzelfrei zu halten, sind meist Rekultivierungsschichten von mindestens 1,5 m Mächtigkeit erforderlich.

Die Verwendung skelettreicher Böden als Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschicht ist möglich, wenn sie, mit schluffreichem Material vermischt, locker eingebaut werden sowie

ausreichend mächtig sind (je nach Zusammensetzung mindestens 1,5 - 2 m). Sie reduzieren die Erosion in Böschungsbereichen und die Verdichtung durch Überfahung.

Vor der Materialsuche für die Rekultivierungsschicht sollte anhand eines Körnungsbandes der Spielraum für geeignete Materialien aufgezeigt werden. Dabei ist zu beachten, dass die bodenkundliche Nomenklatur nur Korngrößen bis 2 mm berücksichtigt. Für den Grobbodenanteil ist ein separates Anforderungsprofil zu erstellen (z.B. Anteil max. 30 Gew.-%, max. Kantenlänge 10 cm).

Weitere Anforderungen können der GDA-Empfehlung E 2-31 der DGGT entnommen werden.



**Skelettreiche
Rekultivierungsschicht.**

Wasserhaushaltsschichten

Im Gegensatz zu herkömmlichen Rekultivierungsschichten sieht die Wasserhaushaltsschicht eine standortangepasste Optimierung des Systems „Rekultivierungsschicht und Bewuchs“ vor, die von der langfristigen Wasserhaushaltsbetrachtung über die Auswahl der unterschiedlichen Böden incl. Berücksichtigung von eventuellen Recyclingmaterialien, Berechnung der erforderlichen Bodenmächtigkeit, die Gewinnungsverfahren, den Transport und eine eventuelle Aufbereitung der Böden, die Einbauverfahren, die Auswahl der optimierten Bepflanzung bis hin zur Bewässerung, Pflege und Nachsorge reicht. Ziel der Optimierung ist eine hohe Interzeptionsleistung der Pflanzen und ein möglichst vollständiger Verbrauch des einsickernden Niederschlagswasser im Bereich der Rekultivierungsschicht. Wird die Gleichwertigkeit mit Hilfe von Modellrechnungen (z.B. HELP) nachgewiesen, sind Modifikationen am Dichtungs Aufbau möglich (z.B. in niederschlagsarmen Regionen: Ersatz der mineralischen Oberflächenabdichtung durch eine Wasserhaushaltsschicht).

Damit die Wasserhaushaltsschicht die v. g. Funktionen erfüllen kann, muss bei ihrem Aufbau folgendes berücksichtigt werden:

- ausreichende Mächtigkeit und Durchwurzelbarkeit,
- hohe nutzbare Feldkapazität (nFK) und ausreichende Luftkapazität,
- günstige Bodenreaktion und ausreichende Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen,
- Beständigkeit gegen Erosion,
- ausreichendes Infiltrationsvermögen und Unempfindlichkeit gegen Verschlammung,
- unverdichteter Einbau von möglichst schluffreichem Material im trockenen Zustand,
- optimale Funktion nur bei angepasster Bepflanzung.

Der Aufbau der Wasserhaushaltsschicht hängt stark von den örtlichen klimatischen Verhältnissen ab und sieht in der Regel einen ca. 0,3 - 0,5 m mächtigen Versickerungshorizont (Oberboden) und einen ca. 1,5 - 1,7 m mächtigen Wasserspeicherhorizont (Unterboden) vor. Gegebenenfalls sind Modellrechnungen zur Bestimmung der Mächtigkeiten hilfreich.

Achtung: Auf Grund des lockeren Einbaus sind die Schichten überhöht einzubauen!

Das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz empfiehlt für die Wasserhaushaltsschicht in niederschlagsarmen Regionen folgenden Aufbau:

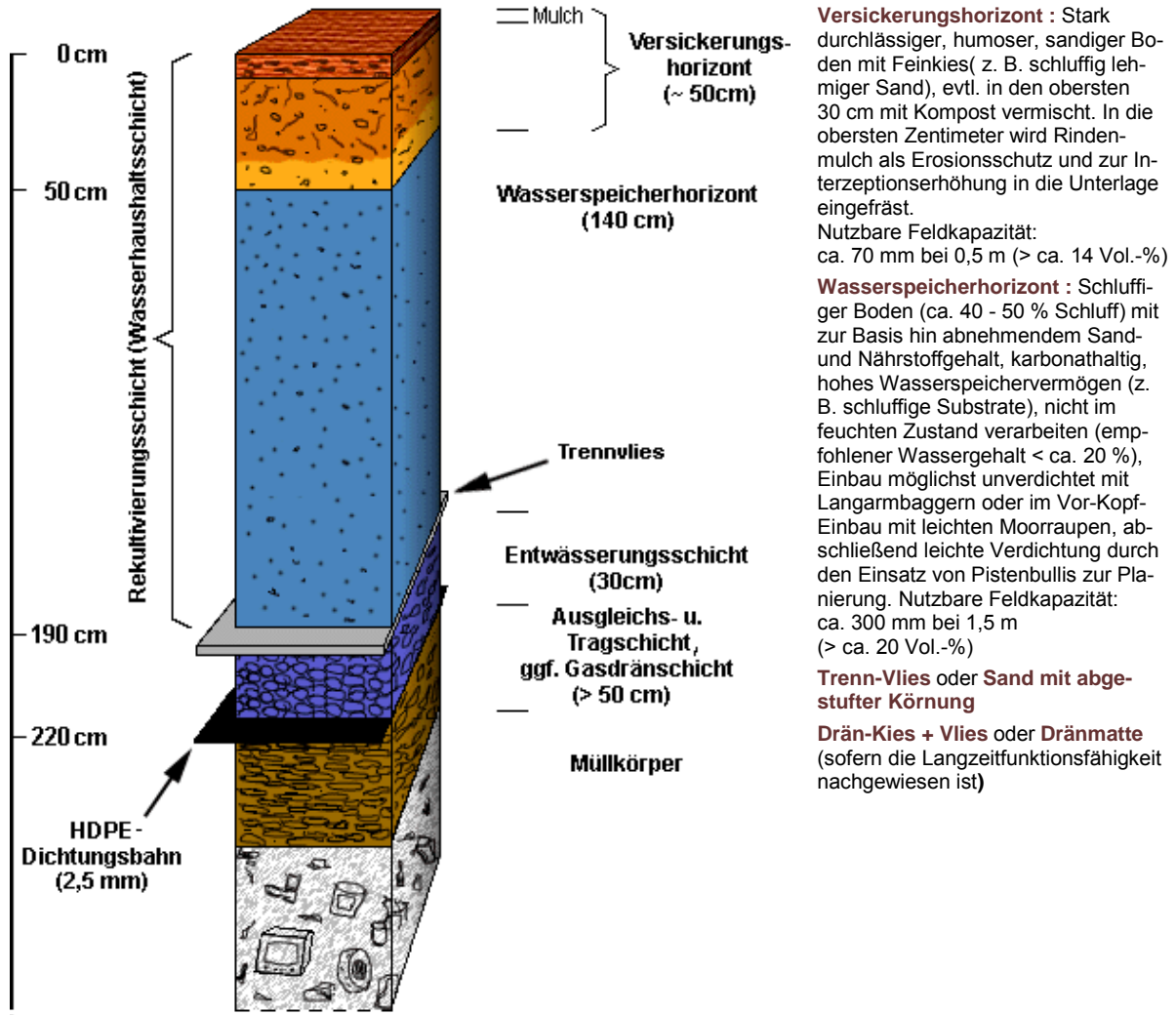


Abb. 3: Aufbau einer Wasserhaushaltsschicht in niederschlagsarmen Gebieten bis ca. 650 mm/J. in Kombination mit angepasster Bepflanzung

Der lockere Einbau von Böden mit einer guten Speicherfähigkeit für pflanzenverfügbares Wasser in Verbindung mit einer optimierten Bepflanzung reduziert den Sickerwasseranfall erheblich, so dass Kosten für aufwändige Randgräben und Rückhaltebecken in vielen Fällen eingespart werden können (Trapezschalen können durch foliengedichtete und mit Schotter gefüllte Rigolgräben ersetzt werden). Es empfiehlt sich, zwecks Funktionskontrolle der Wasserhaushaltsschicht die anfallenden Sickerwässer getrennt nach einzelnen Abschnitten in Messschächte einzuleiten und messtechnisch kontinuierlich zu erfassen.

Einbauempfehlungen

Die bodenphysikalischen Eigenschaften der Böden hängen stark von der Einbautechnik ab. Folgende Einbauempfehlungen sind daher hilfreich:

- Für den **Versickerungshorizont** ist bei mittlerer Lagerungsdichte eine nFK von ca. 18 Vol.-% und eine Luftkapazität von mind. 10 Vol.-% anzustreben. Bodenarten wie SI2, SI3 und SI4 (nach: „Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, 2005“) sind hierfür am besten geeignet. Kompost, gleichmäßig aufgebracht und untergefräst, verringert die Erosionsanfälligkeit, begünstigt die Humusbildung, erhöht die nutzbare Feldkapazität (nFK) und verbessert die Keimfähigkeit.
- Die nFK des **Wasserspeicherhorizonts** sollte bei ca. 20 Vol.-% und die Luftkapazität über 7 Vol.-% liegen (bei mittlerer Lagerungsdichte). Hierfür eignen sich die Bodenarten Slu, Su3, Su4, Uu, Uls, Us, Ut2, Ut3 und Ut4 (nach: „Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, 2005“).
- Vor dem Einbau der Böden ist eine Eignungsprüfung durchzuführen und ein Probefeld anzulegen, das so zu bemessen ist, dass die Einbaugeräte unter realitätsnahen Bedingungen eingesetzt werden können. Die fertig eingebauten Wasserhaushaltsschichten werden von Eigen-, Fremdüberwacher und gegebenenfalls der behördlichen Fremdüberwachung geprüft. Der Umfang der Kontrollparameter kann aus der Tabelle „Eignungs- und Kontrollprüfungen für Bodenmaterial in Deponie-Rekultivierungsschichten“ entnommen werden.
- Für die Auswahl der Materialien werden die nachfolgenden Körnungsbänder des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz empfohlen. Der Grobbodenanteil (Korndurchmesser > 2 mm) sollte unter 30 Gew.-% liegen. Steine mit einem Durchmesser > 10 cm sind auszusondern.

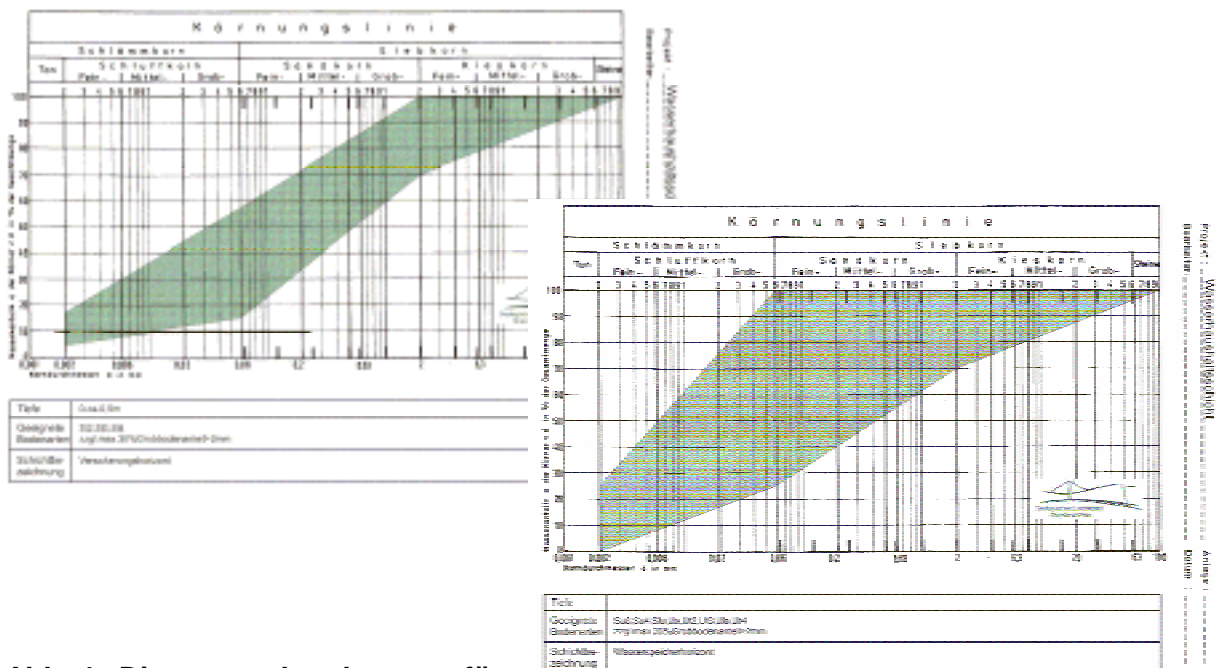


Abb. 4: Die vom Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz vorgegebenen Körnungsbänder für Versickerungs- und Wasserspeicherhorizont

- Der Anteil an organischer Substanz sollte 10 Gew.-% nicht übersteigen und vor allem im Speicherhorizont wesentlich darunter liegen, um eine Bodenversauerung zu vermeiden. Eisensulfidhaltige und gipshaltige Böden sind ungeeignet.
- Ober- und Unterboden müssen getrennt abgebaut, gelagert und eingebaut werden.
- Bei der Bodengewinnung ist der Feuchtezustand bzw. die Konsistenz des Materials zu beachten. Nur Böden mit einer geeigneten „Mindestfestigkeit“ können schadlos umgelagert werden. Je trockener der Boden, desto stabiler ist sein Bodengefüge. Günstige Zeitpunkte für die Erdarbeiten treten daher vor allem in den Sommer- und Herbstmonaten ein. Anhaltspunkte für die Umlagerungseignung des Materials gibt die nachfolgende Tabelle.

Tabelle 1: Umlagerungseignung (Mindestfestigkeit) von Böden in Abhängigkeit vom Feuchtezustand

Umlagerungseignung	Feuchtezustand nicht bindiger und schwach bindiger Böden (< 17 % Ton)	Konsistenz* bindiger Böden (< 17 % Ton)
optimal	trocken (staubig) bis schwach feucht (Probe wird bei Wasserzugabe dunkler)	halbfest
tolerierbar	feucht (Finger werden etwas feucht, Probe wird bei Wasserzugabe nicht dunkler)	steifplastisch
unzulässig	stark feucht (Wasseraustritt beim Klopfen) bis nass (Boden zerfließt)	weich bis breiig

* Ermittlung der Konsistenz nach „Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage“ (Tab. 17, S. 115) durch einfache Feldansprache

- Das Material sollte beim Einbau von steifer bis halbfester Konsistenz sein. Andernfalls muss es ausgebreitet und getrocknet werden. Der Einbau im Winter und während Regenereignissen ist nicht zulässig. Bei Überverdichtung sind geeignete Tiefenlockerungsmaßnahmen durchzuführen.
- Lagenweiser Einbau ist zu unterlassen, um Stauhorizonte zu vermeiden. Deshalb empfiehlt sich der Einbau mit Langarm- bzw. Teleskopbaggern oder Vor-Kopf-Einbau mit leichten Moorraupen (max. Bodenpressung < 15 kPa).
- Baustraßen müssen in Überstärke hergestellt und später wieder abgetragen werden. Sinnvollerweise werden Baustraßen dort angelegt, wo später Versorgungswege verlaufen.



Lockerer Einbau von Rekultivierungsschichten.

- Zusätzliche Bermen eröffnen die Möglichkeit, von den Bermenwegen aus die Böschungsbereiche mit Rekultivierungsboden einzudecken, ohne häufige Überfahrtung zu pflegen und gegebenenfalls zu reparieren.
- In steilen Böschungsbereichen kann die Erosionsgefahr mit Hilfe von Kokosfasermatten und schneller Einsatz minimiert werden.



Erosionsschutz mit Kokosfasermatten.

Die rechtzeitige Ausschau nach geeigneten Rekultivierungsböden und die frühzeitige Einbeziehung eines Feldbodenkundlers mit bodenphysikalischen Kenntnissen öffnet die Möglichkeit, beim Bau der Rekultivierungsschicht kostengünstig ein optimales Ergebnis zu erzielen.

Qualitätskontrolle

Generell erfordert der heutige Deponiebau eine individuell an den Standort angepasste Planung und auf die jeweils verwandten Rohstoffe abgestimmte Einbaumethoden, um kostengünstig optimale Ergebnisse zu erzielen. Mächtigkeit, Verdichtung, Durchlässigkeit, Verformungsverhalten etc. jeder einzelnen Dichtungslage wird durch Eigen- und Fremdüberwachung geprüft und muss den im Probefeld ermittelten Vorgaben entsprechen.

Gleiches muss für die Rekultivierungsschicht gelten, obwohl hierfür weder in der TAsi noch in der Deponieverordnung Kennwerte aufgeführt sind. Gemäß Deponieverordnung legt die zuständige Behörde den Umfang von Untersuchungen fest.

Das Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz empfiehlt den in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführten Untersuchungsumfang (siehe auch GDA-Empfehlung E 2-31 der DGGT).

Tabelle 2: Eignungs- und Kontrollprüfungen für Bodenmaterial in Deponie-Rekultivierungsschichten: Untersuchungsparameter.

Parameter	Vorschrift	Eignungsprüfung: Untersuchung je Oberboden und je Unterboden, je EÜ und je FÜ:		Kontrollprüfung: Untersuchung je Einbaulage, je EÜ, je FÜ: je:	
Schichtmächtigkeit		-	-	F	400 m ²
Korngrößenzusammensetzung (siehe Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005, Tab. 28 & 32) Feinbodenfraktionen (Ø < 2 mm) Grobbodenanteil (Ø > 2 mm) Blockanteil (> 10 cm Kantenlänge)	DIN 18123, DIN 19683 T1 & T2, DIN ISO 11277	L	3	L	5000 m ²
		L	3	L	5000 m ²
		F	3	F	5000 m ²
Zustandsgrenzen/Konsistenz	DIN 18122 T1	L	3	F/L	5000 m ²
Wassergehalt, Feuchtdichte, Trockenrohdichte, Dichte der festen Bodensubstanz, Gesamtporenvolumen	DIN 18121, DIN 19683 T4, T11, T12, T13, DIN 18125 T1, T2	L	3	L	1000 m ²
nutzbare Feldkapazität, Luftkapazität	DIN ISO 11274	L	3	L	5000 m ²
Humusgehalt (= org. Kohlenstoff • 1,72)	DIN ISO 10694	L	3	L	5000 m ²
Bodenreaktion (pH-Wert, Suspension in 0,01 mol/l CaCl ₂ -Lösung)	DIN ISO 10390	L	3	L	5000 m ²
Carbonatgehalt (nur bei pH-Wert > 6,8)	DIN ISO 10693	(L)	3	(L)	5000 m ²
Eisengehalte und -fraktionen	DIN 19684 T6 & T7	(L)	3	(L)	5000 m ²
lösliche Pflanzennährstoffe	VDLUFA- Methodenbuch, 1991	L	nach Bedarf	-	nach Bedarf
bodengefährdende Stoffe	jeweilige DIN- Methode	(L)	nach Bedarf	(L)	nach Bedarf
bodenfremde Bestandteile, z.B. Bauschutt, Straßenaufbruch etc.		F	nach Bedarf	-	-
Vernässungsmerkmale (Nassbleichung, Rostfleckung)		F	nach Bedarf	-	-
Wasserdurchlässigkeit (gesättigt), Infiltrationsvermögen	DIN 19682 T7, DIN 19683 T9, DIN 18230 T1	-	-	F/L	5000 m ²
Wasseraufnahme	DIN 18132	(L)	3	(L)	5000 m ²
Proctorversuch/Verdichtungsgrad (bei sehr steilen Böschungen)	DIN 18127	L	3	(L)	5000 m ²
Kohäsion	DIN 18137 T1	L	3	L	5000 m ²
Winkel der inneren Reibung	DIN 18137 T1	L	3	L	5000 m ²

L: Laboruntersuchung, F: Feldtest, (): bei Bedarf, EÜ: Eigenüberwachung, FÜ: Fremdüberwachung

Bepflanzung

1. Allgemeines und Ziele der Bepflanzung, insbesondere von Gehölzen

Rekultivierungsschicht und Bepflanzung sind die wichtigsten Elemente zur Steuerung des Wasserhaushaltes im Oberflächenabdichtungssystem.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Rekultivierung von Deponien nach landespflegerischen Gesichtspunkten orientiert sich die Bepflanzung von Wasserhaushaltsschichten an deponie-relevanten Zielen, um das System „Wasserhaushaltsschicht mit angepasster Bepflanzung“ zu optimieren:

Eine hohe Benetzungskapazität fördert die Interzeption, eine große Blattmasse steigert die Transpiration, die Durchwurzelung aller Tiefenbereiche führt zur Ausnutzung aller Bodenwasservorräte, Pionierbaumarten erhöhen die Bodenaktivität. Durchwurzelungstiefe und -intensität der Gehölze beeinflussen den Wasserhaushalt in der Rekultivierungsschicht maßgeblich (Tab. 3).

Bei der Auswahl der Pflanzen ist folglich auf Langlebigkeit und eine hohe Verdunstungs- und Interzeptionsleistung zu achten. Dieses Ziel ist mit einer reinen Gras-Kraut-Flora nicht zu erreichen. Tiefwurzelnde Krautpflanzen (zu denen beispielsweise auch Leguminosen, Kräuter der Trockenrasengesellschaften und einige Arten der Ruderalflora gehören) sind zu vermeiden, da die nach dem Absterben entstehenden tiefreichenden Wurzelkanäle schnelldränierende Makroporen bilden und somit die Wasserspeicherkapazität des Bodens nicht voll ausgenutzt wird.

Für eine Minimierung der Infiltration von Niederschlag eignet sich am besten eine Mischwaldbepflanzung („Deponiewald“ nach BÖNECKE, 2001), bestehend aus Büschen und Bäumen. Ein hoher immergrüner Anteil vor allem an Nadelbäumen trägt zu einer ganzjährigen Minimierung der Grundwasserneubildung bei. Kahlflecken, wie sie aus landespflegerischen Gesichtspunkten oftmals gefordert werden, wirken sich kontraproduktiv aus.

Der Gehölzbestand muss so angelegt und entwickelt werden, dass infolge seiner Zusammensetzung und des mehrschichtigen Aufbaus im Kronen- und Wurzelbereich durch eine hohe reale Verdunstung eine Dämpfung und Minimierung des Abflusses erreicht wird. In niederschlagsarmen Regionen, insbesondere mit negativer klimatischer Wasserbilanz, kann dies dazu führen, dass in „Normaljahren“ auf der Deponie keine Grundwasserneubildung mehr stattfindet.

Bodendichte und Eindringwiderstand sowie insbesondere in niederschlagsarmen Gebieten die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser in der Hauptvegetationsperiode wirken sich auf die Vitalität der Pflanzen aus. Durch lockere Schüttung der Rekultivierungsböden lassen sich günstigere Bodeneigenschaften (sie stimulieren das Wurzelwachstum und führen somit zu einem besseren Anwuchserfolg) und infolgedessen ein vitaler Bewuchs erzielen.

Nur vitale und üppige Pflanzenbestände garantieren eine hohe Verdunstungsrate. Auch die Wahl standortgeeigneter Pflanzen ist daher unabdingbar. Ein wiederholter Ersatz abgestorbener nicht standortgeeigneter Pflanzen durch dieselben Arten ist nutzlos.

Tabelle 3: Beziehungen zwischen der Abflussbildung unter Wald und Bodenverhältnissen und Waldzustand (nach BÖNECKE 2001).

Wasserhaushaltskomponente	Beeinflussung durch
Interzeptionsverdunstung	Baum-/Strauchart, Baum-/Strauchartenmischung, Schichtung im Kronendach, Deckungsgrad, Kronenform, Blattfläche, Streudecke
Infiltration	Deckungsgrad Moosschicht, Humusform, Durchmischungstiefe org. Substanz, Bodenart
Speicherung / Zwischenabfluss	Bodenart, Horizontalfolge, Wassersättigung des Bodens, Hydromorphologie, Skelettgehalt, Makroporen, Risse, Wurmgänge, Durchwurzelungsintensität, Durchwurzelungstiefe, Hangneigung
Transpiration	Baum-/Strauchart, Baum-/Strauchartenmischung, Bestandesalter, Blattfläche, Durchwurzelungsintensität, Durchwurzelungstiefe
Abfluss	Durchlässigkeit Untergrund, bevorzugte Fließwege, Hangneigung

Trotz anfänglich höherer Kosten für Pflanzen, Pflanzung und eventueller Bewässerung sind die Vorteile einer Waldanpflanzung offensichtlich:

1. Bereits nach Bestandsschluss geht die Niederschlagsversickerung spürbar zurück und nach ca. 25 bis 30 Jahren ist ein Optimum hinsichtlich der Abflussminderung erreicht.
2. Die Pflege ist, sobald die Gehölze das Anwachsstadium überwunden haben, sehr extensiv (1 bis 2 x im Jahrzehnt).

Da Bepflanzung und Rekultivierungsschicht aufeinander abzustimmen sind, müssen sich die Planer bei der Gestaltung der Rekultivierungsschicht frühzeitig mit den boden- und pflanzenkundlichen Gesichtspunkten befassen. Sinnvollerweise werden hierzu Forstfachleute mit regionalen Kenntnissen sowie Bodenkundler mit Schwerpunkt Bodenhydrologie herangezogen.

Weitere Hinweise und Empfehlungen sind der GDA-Empfehlung E 2-32 (Gestaltung des Bewuchses auf Deponien, Entwurf) zu entnehmen.

Die nachfolgenden Ausführungen beruhen auf Erfahrungen und Beobachtungen verschiedener in Rheinland-Pfalz tätiger Landschaftsplaner, Forstfachleute, Bodenkundler und des Verfassers sowie auf Empfehlungen von G. Schaber-Schoor (2005)/Forstliche Versuchsanstalt, Freiburg.

Literaturempfehlung:

- BÖNECKE, G. (2000): Standortkundliche Untersuchungen bei Rekultivierungen. – In: STEIN-VERLAG (Hrsg.): Ratgeber Rekult, S. 54 - 55; Baden-Baden.
- BÖNECKE, G. (2001): Verzicht auf Oberflächenabdichtungen durch forstliche Rekultivierung von Deponien – Deponiewald statt Oberflächenabdichtung? In: EGGLOFFSTEIN, T., BURKHARDT, G. & CZURDA, K. (Hrsg.): Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 122, S. 263 - 280; Karlsruhe.
- SCHABER-SCHOOOR, G. (2005): Planung und Gestaltung von Gehölzbewuchs auf Deponien. – In: INSTITUT FÜR LANDESPFLEGE DER ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG (Hrsg.): Qualifizierte Rekultivierungsschichten. – Tagungsband, S. 74 - 91; Freiburg.

2. Standortfaktoren und Planung

Bei der Planung und Herstellung der Rekultivierungsschicht sind die Belange des künftigen Bewuchses zu berücksichtigen. Um den Transpirations- und Interzeptionseffekt zu optimieren, ist es wichtig, dass der Aufbau der Wasserhaushaltsschicht und die Auswahl der Pflanzen aufeinander abgestimmt und an die regionalen und lokalen **Klimaverhältnisse** angepasst wird.

I.a. ist es vorteilhaft, die nach verschiedenen **Himmelsrichtungen** orientierten Böschungen unterschiedlich zu bepflanzen (auf Südhängen ist beispielsweise mit Trockenstress zu rechnen, Ost- und Nordhänge sind feuchter, an Westhängen und auf hohen Haldendeponien tritt häufig Windwurf auf).

Am **Böschungsfuß** langer Böschungen herrschen meist ebenfalls feuchtere Standortbedingungen. Sie gilt es vor allem in niederschlagsarmen Regionen entsprechend zu nutzen, um eine größere Artenvielfalt zu etablieren.

Erfahrungsgemäß lassen sich auf Böschungen mit Hangneigungen $< 1 : 3$ Rekultivierungsschichten problemlos locker einbauen und bepflanzen. Für steilere Böschungen empfehlen sich Böden mit höherem Grobbodenanteil sowie Anpflanzungen von **Buschlagen**, die in kurzer Zeit eine üppige Pioniervegetation bilden können und, eine fachgerechte Bauausführung vorausgesetzt, die Gefahr von Gleitfugen innerhalb der Rekultivierungsschicht auf ein Minimum reduzieren.

Für jeden Standort ist ein individuelles **Standortgutachten** anzufertigen, das auf den wichtigsten Komponenten „Klima, Bodenart und –zustand“ basiert und lokale Gegebenheiten berücksichtigt, wie „Morphologie, Kleinklima und umgebende vorhandene Vegetation“ (BÖNECKE 2000). Hieraus werden Empfehlungen für geeignete Gehölze sowie Pflanz- und Pflegepläne entwickelt.

3. Pflanzenauswahl

Eine **Anspritzbegrünung** nach Fertigstellung der Deponieoberfläche verhindert die Erosion. Diese Gras- und Krautflora wächst anfangs zwischen den Sträuchern und Bäumen, bis der Bestandsschluss hergestellt ist. Sie verschwindet von selbst mit zunehmender Beschattung durch Sträucher und Bäume.

Die Auswahl der **Gehölze** richtet sich nach den vorhandenen Bodenarten, den örtlichen klimatischen Gegebenheiten und den wasserwirtschaftlichen Zielvorstellungen (angestrebte maximale oder mittlere Niederschlagsversickerung). Bei alkalischen Böden ($> \text{pH } 8$) ist die Auswahl an Gehölzarten stark eingeschränkt.

Um die in der TAsi geforderte Minimierung der Infiltration von Niederschlagswasser zu erreichen, sind Wälder in Anlehnung an Waldtypen mit einer auf natürlichen Standorten besonders hohen jährlichen realen Verdunstung aufzubauen. Dies sind **Mischwälder** mit mindestens 20 % Nadelholzarten in niederschlagsarmen Regionen und bis maximal 50 % in Regionen mit hohen Jahres- oder Winterniederschlägen. Mit der Wahl entsprechender Strauch- und Baumarten lassen sich Interzeption, Infiltration, Zwischenabfluss und Transpiration beeinflussen (Tab. 4).

Tabelle 4: Beziehungen zwischen der Abflussbildung unter Wald und Waldbehandlung (nach BÖNECKE 2001).

Wasserhaushaltskomponente	Beeinflussung durch forstliche Maßnahmen
Interzeptionsverdunstung:	Baum-/Strauchartenwahl/-mischung, Bestandspflege
Infiltration:	Baum-/Strauchartenwahl/-mischung, bodenpflegliche Nutzung
Speicherung / Zwischenabfluss:	Baum-/Strauchartenwahl/-mischung, bodenpflegliche Nutzung
Transpiration:	Baum-/Strauchartenwahl/-mischung, bodenpflegliche Nutzung
Abfluss	--

Um hohe Ausfälle bei den Gehölzpflanzungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, in einer „Primärpflanzung“ den „**Vorwald**“, der mit seiner Streu die Bodenbildung fördert, anzulegen und diesen durch Pflege und „Sekundärpflanzungen“ zum „**Zielwald**“ umzubauen. Dies entspricht zwar meist nicht den Intentionen der Deponiebetreiber, die Investitionen in eine Deponie frühzeitig zu einem endgültigen Abschluss bringen möchten, ermöglicht jedoch im Unterstand des Vorwaldes, geschützt vor klimatischen Extremen wie Kälte, Frost, Wind und Hitze, die Pflanzung auch empfindlicher Gehölze. Dieses gestaffelte Vorgehen ist aus wasserwirtschaftlichen, ökologischen und landespflegerischen sowie Kosten-Gründen empfehlenswert.

Eine **Rand- und Saumbepflanzung** aus laubabwerfenden Sträuchern und Bäumen gegen die Hauptwindrichtung reduziert die Gefahr von Windwurf und mildert Windböen, die die Interzeption verringern.

Als **Sträucher** eignen sich regionaltypische laubabwerfende und immergrüne Arten mit unterschiedlicher Wurzeltiefe.

Für den **Vorwald** eignen sich nach SCHABER-SCHOOR (2005) folgende **Pioniergehölze**: Kiefer (bei Rekultivierungsschichten > 2 m), Erle, Pappel, Weide, Birke, Vogelbeere und Mehlbeere.

Zielwaldgehölze sind Laubbaumbestände mit den Hauptbaumarten Stiel- und Traubeneiche sowie Nadelwaldbestände mit den Hauptbaumarten Waldkiefer und Fichte. Fichten (ca. 1 m Wurzeltiefe) müssen u. U. nach ca. 20 bis 30 Jahren wegen Windwurfanfälligkeit abgeholzt werden. Wurzelzerstörungen in Setzungsbereichen kann bei älteren Exemplaren zu Rotfäule führen. Douglasien benötigen ca. 1,3 m Bodenmächtigkeit. Eiben weisen eine weit gespannte Standortamplitude, ein intensives Faserwurzelsystem und 1 - 1,5 m Wurzeltiefe auf. Sie sind beschneidbar, anfangs frostempfindlich (deshalb ideal für eine spätere unterständige Bepflanzung) und sensibel gegen Boden- und Luftverschmutzung). Die Mischung mit mittel- bis tiefwurzelnden Gehölzarten (z.B. Linde, Hainbuche, Hasel usw.) steigert die Transpiration.

Als immergrüne Sträucher eignen sich im Unterstand: Wolliger Schneeball, Liguster, Buchs und Wachholder.

Sogenannte "Christbaum"-Kulturen sind zu vermeiden, da sie als Monokultur zu anfällig z. B. gegenüber Schädlingen sind und kein gestuftes Kronendach ermöglichen.

Bäume mit Pfahlwurzeln oder hoher Wurzelenergie sind ungeeignet bei geringer Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht.

4. Pflanzung

Die Pflanztechnik und die beste Pflanzzeit unterliegt regionalen Unterschieden.

Vor allem in niederschlagsarmen Regionen ist auf Grund der höheren Bodenfeuchte die beste **Pflanzzeit** zu Beginn der Vegetationsperiode. Ansaaten sollten immer während der Vegetationszeit erfolgen. Lediglich in klimatisch bevorzugten Gebieten wie Oberrheingraben und Rheinhessen können im Herbst noch erosionsmindernde schnellwachsende Gräser ausgesät werden.

Mit einer sofortigen **Graseinsaat** wird die Erosion weiter verringert und die Ausbreitung von Disteln und anderen Wildkräutern minimiert.



Bei Deponie-Rekultivierungen insbesondere in niederschlagsarmen Gebieten sollten bei der Bepflanzung mit **Gehölzen** folgende Anregungen Berücksichtigung finden:

- Anlage von ausreichend tiefen Pflanzgräben parallel zu den Höhenlinien oder **Lochpflanzung**. Das Pflanzloch sollte nicht ebenerdig verfüllt werden, damit sich während des Beregnungsvorgangs Wasser über dem Wurzelballen ansammeln kann.
- Größere Pflanzen haben i.a. größere Überlebenschancen, da ihre Wurzeln schneller den immerfeuchten Bodenbereich erreichen und vor allem beim Mähen nicht übersehen werden. Um die Kosten für die Pflege der Einzelpflanzen in den Anfangsjahren zu reduzieren und schneller das Rekultivierungsziel zu erreichen, ist die Pflanzung größerer Individuen (**Baumschulqualitäten**, mindestens zweimal verpflanzte Sträucher, 60 - 80 cm oder größer) mit größeren Abständen (1 Gehölz pro 1 bzw. 1,5 m²) ratsam.
- Bei Verwendung von **Forstware** ist es erforderlich, die Anspritzbegrünung vor der Gehölzpflanzung durchzuführen, da die jungen Gehölze dem Sprühstrahl nicht standhalten würden. Kommen größere Pflanzqualitäten zum Einsatz, ist es prinzipiell auch denkbar, die Anspritzbegrünung nach der Gehölzpflanzung durchzuführen. Möglicherweise kann die Konkurrenz der Gräser und Kräuter für die Gehölze dadurch etwas abgeschwächt werden. Im Fall einer Einsaat nach der Pflanzung ist das Aufbringen von Mulchscheiben nicht direkt nach der Pflanzung der Gehölze, sondern so schnell wie möglich nach dem Anspritzen vorzunehmen.

5. Pflege

Die Pflege von Deponiebepflanzungen beinhaltet das anfängliche Wässern der Jungpflanzen, die Mahd, die Bestandspflege sowie den Schutz vor Wildverbiss, Wühlmäusen und Schadinsekten.

Die Bestandspflege ist 1 bis 2 mal im Jahrzehnt durchzuführen. Sie umfasst reguläre Waldbewirtschaftungsmaßnahmen, wie sie von den Forstämtern, forstlichen Versuchsanstalten und Forstunternehmen angewandt werden. Die Gehölzbestände sind so zu pflegen, dass ein mehrschichtiger Bestandsaufbau erhalten bleibt (z.B. Verbesserung der Schichtung im Kronenbereich durch wiederholtes „Auf-den-Stock-setzen“), die Gehölze sich selbst verzüngen und alle Baumaltersklassen in etwa gleichen Teilen vorkommen.

Außer der Kulturpflege und Durchforstung ist der Umbau des Vorwaldes (überwiegend Pioniergehölze) in einen Zielwald mit anspruchsvolleren Gehölzen erforderlich.

Die Sinnhaftigkeit und Effektivität von Pflegearbeiten bedarf immer wieder einer Überprüfung, um laufende Kosten einsparen zu können. Eine regelmäßige Begehung durch externe Fachleute ist daher anzuraten.

Wässern

Jungpflanzen sind meist in den ersten drei Jahren zu wässern, da ihre Wurzeln noch nicht in den immerfeuchten Bodenbereich reichen.

Um den Wasserverbrauch durch direkte Verdunstung zu reduzieren, sollten Beregnungen abends oder nachts durchgeführt werden. Im Bereich kleinflächiger Gehölzinseln können die Gehölze punktuell von Hand gewässert werden. Eine weniger aufwändige Bewässerung könnte über Stativregner erfolgen. „Beregnungen“ mit dem Wasserwerfer von den Betriebswegen aus sind nicht effektiv. In jedem Fall ist eine ausreichende Wasserversorgung vor Ort erforderlich. Das Beregnungswasser kommt allerdings nur dann an den Gehölzwurzeln an, wenn es nicht oberirdisch abfließt bzw. nicht von umgebenden hohen Gräsern und Kräutern abgefangen wird.

Mahd und Bestandspflege

- Wird die Mahd anfänglich 3, später 2 mal jährlich durchgeführt und die Gehölze freigestellt, kann die junge Gehölzpflanzung besser bewässert und die Ausbreitung von Unkräutern und Wühlmäusen zum Vorteil der



Anpflanzungen eingeschränkt werden. Was-

serdurchlässige Mulchscheiben (z.B. aus Kokosfasern) unterstützen diese Maßnahmen.



**Wasserdurchlässige
Mulchscheiben.**

- Für die Mahd sind Geräte mit geringer Bodenpressung zu verwenden.
- Schafbeweidung erfolgt nur auf eingezäunten Freiflächen (wegen Verbiss, die Eibe ist giftig!).
- Das Fällen der Fichten ist nach ca. 20-30 Jahren einzuplanen, falls eine Windwurfgefahr besteht.

Wildverbiss, Wühlmäuse und Schadinsekten

Eine Umzäunung der Deponie kann zwar in vielen Fällen Wildverbiss, Fegeschäden und das Aufbrechen der Grasnarbe durch Wildschweine verhindern, ist aber sehr aufwendig. Alternativ bieten sich der Einzelschutz (Wuchshüllen, Vergällungs- und Fegeschutzmittel) an.

Mannshohe Ruderalflora begünstigt die Ausbreitung von Schadinsekten und massenhafte Vermehrung von Wühl-



**Anpflanzung mit Einzelschutz
(Wuchshüllen).**

mäusen, die vor allem im lockeren, mit Kompost angereicherten Oberboden ideale Lebensbedingungen vorfinden und im Gestrüpp von Greifvögeln nicht erkannt werden. Eine dreimalige Mahd und Sitzkrücken für Greifvögel tragen zur Reduzierung des Nagetierbestands bei. Gegebenenfalls müssen Wühlmausköder vergraben werden.



Sitzkrücken.