

# **Aufbereitung und Einsatz von Bodenaushub und bodenähnlichen Recyclingbaustoffen in Rekultivierungsschichten**

Fallbeispiele aus Rheinland-Pfalz

Stefan Melchior

erschienen 2005 in:

Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz &  
Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz  
(Hrsg.):

Sanierung, Oberflächenabdichtung, Rekultivierung & Nachsorge von Deponien  
5. Deponieseminar am 20. September 2005 in Nieder-Olm

Redaktion: Dr. Ulrich Maier-Harth  
Bezug: [vertrieb@lgb-rlp.de](mailto:vertrieb@lgb-rlp.de)

melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft  
Karolinenstraße 6, 20357 Hamburg  
Hermannstraße 65, 55286 Wörrstadt  
[www.mplusw.de](http://www.mplusw.de)

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	181
2	Grundlagen .....	182
	2.1 Begriffe	182
	2.2 Anforderungen an die Rekultivierungsschicht.....	183
3	Fallbeispiele .....	186
	3.1 Vorsiebmaterial.....	186
	3.2 Bodenaushub.....	190
4	Fazit	191
	Literaturverzeichnis .....	193

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1** Bodenhydrologische Kennwerte Vorsiebmaterial aus Bauschutt und Bodenaushub < 45 mm bei unterschiedlichem Verdichtungsgrad im Labor
- Abbildung 2** Bodenhydrologische Kennwerte Vorsiebmaterial aus Recyclingbaustoffen bei unterschiedlichem Verdichtungsgrad im Labor
- Abbildung 3** Bodenhydrologische Kennwerte eines Vorsiebmaterials aus gemischtkörnigem Bodenaushub nach lockerem Einbau vor Kopf mit dem Bagger und lagenweisem Einbau mit Überfahrten durch die Raupe
- Abbildung 4** Bodenhydrologische Kennwerte eines Bodenaushubs aus stark verdichtetem Verwitterungslehm im Rahmen der Eignungsprüfung im Labor (unvergütet und vergütet) sowie im Probefeld und beim großflächigen Einbau

# 1 Einführung

Der Gestaltung des Systems Rekultivierungsschicht / Bewuchs wird verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt, da bei der Stilllegung von Deponien bundesweit erhebliche Bodenmassen gewonnen und eingebaut werden müssen. Die in den einschlägigen Regelwerken genannten Anforderungen an die Bodeneigenschaften und die Einbautechnik der Rekultivierungsschicht sollen Schäden am Oberflächenabdichtungssystem vorbeugen und die langfristige Wirksamkeit des Systems sichern.

Die aktuell realisierten Rekultivierungskonzepte reichen von sehr einfachen Systemen mit fehlenden oder im Vergleich zu TA Siedlungsabfall [1] und Deponieverordnung [2] unzureichenden Qualitätsanforderungen über qualifizierte Systeme, an die definierte technische Anforderungen gestellt werden, bis hin zu Wasserhaushaltsschichten mit optimiertem Bewuchs, die so stark zur hydrologischen Wirksamkeit des Gesamtsystems beitragen sollen, dass andere Abdichtungskomponenten durch sie ersetzt werden können.

Nicht überall sind allerdings geeignete natürliche Böden in der erforderlichen Masse verfügbar. Daher werden häufig auch Bodenaushub und bodenähnliche Recyclingbaustoffe auf ihre Eignung als Rekultivierungsboden untersucht, was im Sinne des Ressourcenschutzes ja auch durchaus wünschenswert ist.

Qualifizierte Konzepte müssen die projektspezifischen Anforderungen an die Rekultivierungsschicht definieren und die Eigenschaften der verfügbaren Böden oder Ersatzbaustoffe diesbezüglich prüfen. Die Bodeneigenschaften und die Einbautechnik müssen aufeinander abgestimmt werden. Da es noch keine breite Datenbasis zur Bemessung von Rekultivierungsschichten und zur Auswirkung von verschiedenen Einbautechniken auf die qualitätsbestimmenden Parameter gibt, werden häufig aus Sorge vor zu hohen Kosten Ansätze gewählt, die zu einer unnötig schlechten Qualität der eingebauten Rekultivierungsböden führen. So wird mit moderatem finanziellen Aufwand und großem Aufwand an Energie viel Boden mit unnötig schlechtem Ergebnis bewegt und eingebaut. Auf der anderen Seite besteht die Gefahr, dass auf einer unzureichenden fachlichen Grundlage übervorsichtige und teure Einbaukonzepte ausgeschrieben werden, die die Bauabläufe unnötig behindern. Im vorliegenden Beitrag werden Erfahrungen aus zwei Fallbeispielen aus Rheinland-Pfalz dargestellt. In beiden Fällen wurden Kuppenbereiche von alten Deponien mit Oberflächenabdichtungssystemen gesichert, die unter der Rekultivierungsschicht jeweils eine Dränage sowie redundant wirkende Dichtungssysteme aufwiesen. An die Rekultivierungsschichten dieser Systeme wurden daher nicht die besonderen Anforderungen im Sinne einer Wasserhaushaltsschicht gestellt. Es galt vielmehr, die grundlegenden Funktionen einer einfachen Rekultivierungsschicht zu erfüllen. Da an beiden Standorten geeignete natürliche Böden nur schwer beschaffbar waren, kamen relativ schlechte Böden bzw. Recyclingbaustoffe zum Einsatz, die qualifiziert einzubauen waren, um gerade noch eine vertretbare Qualität der Rekultivierungsschicht zu erzielen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Begriffe

Im Zusammenhang mit der Rekultivierungsschicht und deren Funktion und Gestaltung haben sich in den letzten Jahren zahlreiche Begriffe herausgebildet, die nicht eindeutig definiert sind und unterschiedlich benutzt werden. Im vorliegenden Beitrag werden folgende Begriffsdefinitionen benutzt:

- Rekultivierungsschicht* Definition gemäß DepV, Anhang 5 [2] auf der Grundlage und in Fortschreibung von TA Abfall [3] und TA Siedlungsabfall [1]
- Bodenabdeckung / Decksubstrat* Sammelbegriff für alle Arten von Bodenauftrag auf Altlasten und Deponien zum Zwecke der Begrünung, die nicht den Anforderungen der TA Abfall, der TA Siedlungsabfall oder der Deponieverordnung folgen (z.B. auf Altdeponien und Altlasten oder in temporären Abdeckungen)
- Wasserhaltungsschicht* Rekultivierungsschicht, die an Standorten mit geringem Niederschlagseintrag und hoher potentieller Evapotranspiration so gestaltet und hergestellt wird, dass sie so viel Wasser pflanzenverfügbar speichern kann, dass sie die vertikale Absickerung von Wasser aus dem Wurzelraum (und mithin die potentielle Einsickerung in die Deponie) im Verbund mit einer auf dieses Ziel hin etablierten Vegetation so stark reduziert, dass sie im Fall der Deponieklassen II und III der DepV eine Komponente der Kombinationsdichtung und im Fall der Deponiekategorie I die mineralische Dichtung ersetzen kann.
- Bodenmaterial* nach LAGA, 1997 in der aktuellen Novellierung [4]:
- gem. BBodSchG, § 2 Abs. 1: Obere Schicht der Erdkruste soweit sie Träger der Bodenfunktionen nach BBodSchG, §2, Abs. 2 ist, einschließlich ihrer flüssigen und gasförmigen Bestandteilen (Bodenlösung bzw. Bodenluft) sowie
  - Bodenaushub aus der Gewinnung und Aufbereitung nichtmetallischer Bodenschätze, der als Abfall entsorgt wird
  - Bodenmaterial mit maximal 10 Vol.-% mineralischen Fremdbestandteilen
  - Bodenmaterial, das in Bodenbehandlungsanlagen behandelt wurde
  - Baggergut mit maximal 10 Gew.-% Ton und Schluff

<i>Oberboden</i>	nach DIN 18915 [5]: durch physikalische, chemische und biologische Vorgänge entstandene oberste, humose Schicht des belebten Bodens („Mutterboden“)
<i>Unterboden</i>	nach DIN 18915 [5]: unter dem Oberboden liegende verwitterte Bodenschicht
<i>Bodenaushub</i>	Def. nach LAGA, 1997 [4]: Natürlich anstehendes und umgelagertes Locker- und Festgestein (DIN 18196), das bei Baumaßnahmen ausgehoben oder abgetragen wird (ohne humosem Oberboden, Bankettschälgut und Bergematerial)
<i>Bauschutt / Bodengemische</i>	Def. nach LAGA, 1997 [4]: Bodenaushub mit $\geq 10$ Vol.-% mineralischen Fremdbestandteilen (z.B. Schlacke, Ziegelbruch), zukünftig „Gemische“
<i>Rekultivierungs- substrat</i>	In einem festgelegten technischen Verfahren aus unterschiedlichen Komponenten als Ersatz für natürlichen Boden oder Bodenaushub zum Zwecke der Rekultivierung hergestellter Erdstoff
<i>Kompost</i>	Durch Mikroorganismen weitestgehend umgesetztes organisches Material (Rottegrad IV oder V, „Fertigkompost“)

## 2.2 Anforderungen an die Rekultivierungsschicht

In der TA Abfall (1991) und der TA Siedlungsabfall (1993) wurden entsprechende Regelsysteme verankert, die zusätzlich zu Dichtung und Entwässerungsschicht auch eine Rekultivierungsschicht samt Bewuchs aufwiesen. Die Rekultivierungsschicht sollte aus mindestens 1,0 m kulturfähigem Boden bestehen (obwohl der Anbau von landwirtschaftlichen Kulturen nicht das Ziel war) und mit geeignetem Bewuchs bepflanzt werden. Der Bewuchs sollte den Boden ausreichend gegen Wind- und Wassererosion schützen und unter Anwendung von Wasserhaushaltsbetrachtungen so ausgewählt werden, dass die Infiltration von Niederschlagswasser in das Entwässerungssystem minimiert wird. Die Rekultivierungsschicht sollte so ausgeführt werden, dass die Dichtung vor Wurzel- und Frosteinwirkungen geschützt wird.

Die DepV stellt in ihrem Anhang 5 im wesentlichen folgende Anforderungen:

- Bemessung der Schichtdicke im Einzelfall mit den Zielen Vermeidung der Durchwurzelung der Entwässerungsschicht und Schutz der Dichtung vor Wurzeln, Frost und Austrocknung (Mindestdicke 1 m)

- Stoffliche Qualität nach § 8 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz und Klärschlammverordnung (Zulässige Feststoffgehalte und Eluatkonzentrationen werden genannt)
- Die Materialien für die Rekultivierungsschicht dürfen die langfristige Funktionsfähigkeit der Entwässerungsschicht nicht beeinträchtigen. Sie sollen über eine hohe nutzbare Feldkapazität sowie über ausreichende Luftkapazität zur Sicherstellung eines hohen pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrats verfügen.

Zusätzlich zu den Anforderungen der genannten Technischen Anleitungen und der DepV enthält die GDA-Empfehlung E2-31 [6], auf die häufig in Ausschreibungen Bezug genommen wird, umfangreiche Hinweise zum Entwurf, zur Auswahl und Eignungsprüfung der Böden sowie zur Herstellung, Qualitätssicherung und Nachsorge von Rekultivierungsschichten.

Die E2-31 nennt drei Gruppen von Funktionen der Rekultivierungsschicht:

- Pflanzenstandort (mechanischer Halt, Wasser, Nährstoffe)
- Optimierung des Wasserhaushalts des Gesamtsystems (Maximierung Verdunstung, Reduzierung und Dämpfung der Dränspende)
- Schutzfunktionen für die tieferen Schichten des Oberflächenabdichtungssystems (Schutz vor Erosion und mechanischen Einwirkungen, Temperaturschwankungen und Frost, Durchwurzelung und Bodentiere, ggf. Austrocknung)

und leitet daraus vielfältige Anforderungen an die Eigenschaften der Rekultivierungsschicht ab:

- Ausreichende Mächtigkeit
- Gute Durchwurzelbarkeit
- Hohe nutzbare Feldkapazität und ausreichende Luftkapazität
- Ausreichendes Infiltrationsvermögen und Unempfindlichkeit gegen Verschlammung
- Ausreichende Durchlässigkeit zur Verhinderung von Stauwasserbildung (Gefahr von Hangquellen, Rutschungen und Luftmangel für Pflanzenwurzeln)
- Standsicherheit (in sich und im Verbund mit den anderen Systemkomponenten)
- Beständigkeit gegen alle Formen der Erosion (Wind, Wasser, innere und äußere Erosion, Suffosion, Kontakterosion)
- Stabiles Korngerüst und Bodengefüge (nicht sackungs- oder lösungsgefährdet, kein Makroporengefüge)

- Geringes Lösungs- und Austragspotential von Stoffen, die in der Entwässerungsschicht und ggf. in einer Kapillarsperre ausfallen und deren Durchlässigkeit verringern können
- Ausreichende pflanzenverfügbare Nährstoffgehalte, günstige Bodenreaktion und Pufferung
- Aufbau aus umweltverträglichen Materialien

In der E2-31 werden auch die bodenkundlichen und bodenhydrologischen Grundlagen (insbesondere Porengrößenverteilung und pflanzenverfügbares Bodenwasser) erläutert sowie Daten zur Durchwurzelung von Rekultivierungsschichten zusammengestellt, so dass hier auf eine entsprechende Darstellung verzichtet wird.

Da Messwerte zum pflanzenverfügbaren Bodenwasser (nutzbare Feldkapazität, nFK) in Rekultivierungsschichten von Deponien kaum verfügbar sind, stellt die E2-31 die an ungestörten, reifen natürlichen Böden ermittelten Zusammenhänge zwischen Bodenart, Trockendichte und nFK dar (Bild 2-31.3 in [6]). Textlich heißt es in der GDA-Empfehlung hierzu:

*„Die Trockendichte beeinflusst die nutzbare Feldkapazität umgekehrt proportional. Allerdings ist dieser Einfluss in natürlichen Böden weniger stark als die Einflüsse von Mächtigkeit und Bodenart.“ ... „Der pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat als zentrale Zielgröße bei der Dimensionierung von Rekultivierungsschichten kann somit durch die Wahl der Bodenart (einschließlich Humusgehalt), durch die Schichtmächtigkeit und den Verdichtungsgrad beim Einbau beeinflusst werden.“*

Für die Einbautechnik wird daraus in Kapitel 4 der GDA-Empfehlung E2-31 abgeleitet:

*„Der Abbau, die ggf. notwendige Zwischenlagerung und der Einbau des Bodenmaterials ist unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit so durchzuführen, dass Verdichtungen auf das unvermeidbare Maß beschränkt werden. Ober- und Unterboden sind getrennt abzubauen, zu lagern und einzubauen. Die Materialien sollten trocken bis feucht (halbfest bis steif) und keinesfalls sehr feucht bis nass (weich bis breiig) bearbeitet werden. Die Zwischenlagerung des Materials kann zu starken Qualitätsverschlechterungen führen und ist entweder zu vermeiden oder zeitlich zu begrenzen und an die in DIN 18915 und DIN 19731 [7] genannten Anforderungen zu knüpfen.“*

*Es gibt verschiedene Einbautechniken, die ohne großen Aufwand eine geringe Einbaudichte ermöglichen. Wesentlichen Einfluss auf die Verdichtung im Einbauzustand haben die Baugeräte und deren Einsatz. Jede Bodenschicht ist möglichst in einer Lage einzubauen.*

*Die maximale Mächtigkeit einer solchen Lage hängt von der Konsistenz des Bodens, der Böschungsneigung und der Kapazität der Baugeräte ab. Durch einen Einbau vor Kopf*

*soll die bereits eingebaute und abgenommene untere Lage nicht nachträglich verdichtet werden. Die Fahrwege im Einbaufeld sind so zu planen, dass möglichst kurze und wenige Überfahrten notwendig sind. Hierbei sind Kettenfahrzeuge mit möglichst geringer Bodenpressung (bis 15 kPa) vorteilhaft. Bei großen Einbauflächen sollten Fahrstraßen in der Fläche durch eine Überhöhung angelegt werden, die anschließend rückwärtsfahrend mit einem Bagger aufgelockert und rückgebaut werden (seitliches Verteilen des Bodens). Weitere Möglichkeiten zum lockeren Einbau von Böden sind bei der Verwendung von Langlöffel- oder Teleskopbaggern, seitlich oder auf Fahrstraßen stehend, oder Bandabsetzern gegeben.*

*Bei der Herstellung der Rekultivierungsschicht sind die Anforderungen der DIN 18915 und DIN 19731 zu berücksichtigen.*

*In einem Probefeld ist die Eignung des vorgesehenen Geräteeinsatzes zu überprüfen und ggf. an die Herstellungsziele gemäß Entwurf und Eignungsprüfung anzupassen. Die ausführende Firma ist aufzufordern, hierzu vorab ein Ausführungskonzept vorzulegen. Das Probefeld ist in Anlehnung an die in E 3-5 dargestellten Prinzipien anzulegen.“*

### **3 Fallbeispiele**

#### **3.1 Vorsiebmaterial**

Im ersten Fallbeispiel wurden die projektspezifischen Anforderungen an die Rekultivierungsschicht wie folgt festgelegt:

- Rekultivierungsfähiger Boden mit bindigen Anteilen
- Schadstoffbelastung bis Z1.1 nach LAGA
- Keine löslichen Bestandteile, die zu einer langfristigen Inkrustation der Dränmatte führen
- Kein Vorsiebmaterial
- In der untersten Lage auf der Dränmatte keine Fremdkörper oder Körner mit einem Durchmesser > 62 mm
- Profilhocher Einbau nach den Vorgaben des Standsicherheitsnachweises

Nachdem natürliche Böden kaum verfügbar waren und einige Böden vergeblich auf ihre Eignung untersucht worden waren, wurde Vorsiebmaterial nicht mehr ausgeschlossen.

Der Qualitätssicherung sah auf der Grundlage der allgemeinen Anforderungen vor, folgende Bereiche zu prüfen und zu bewerten:

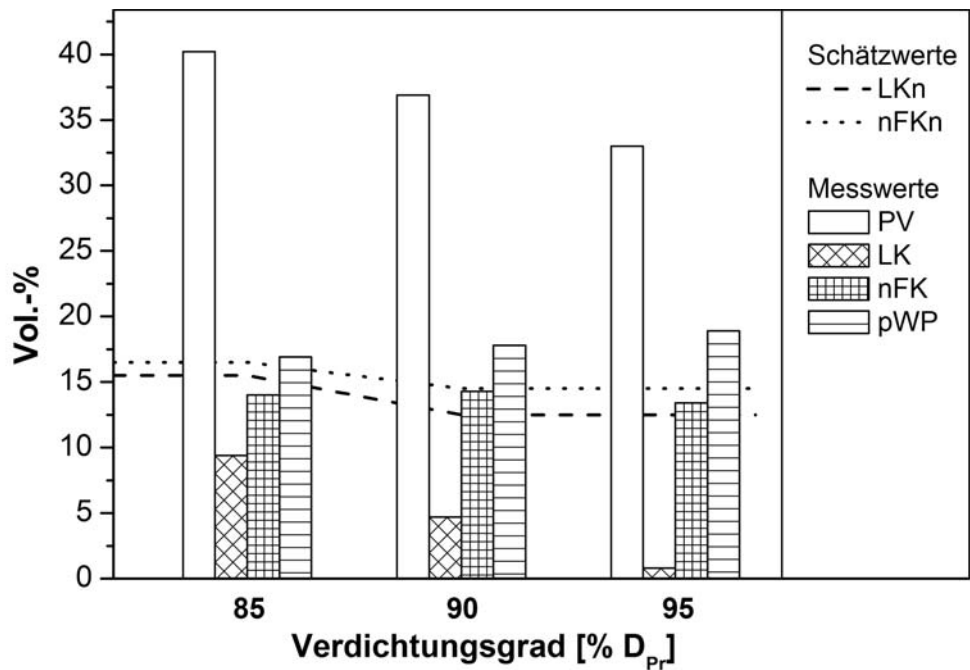
- Physikalische und mechanische Bodeneigenschaften (Korngrößenverteilung, Plastizität und Konsistenz, Verdichtungsverhalten, Gefahr der Stauwasserbildung, Erosionsanfälligkeit, Standsicherheit)



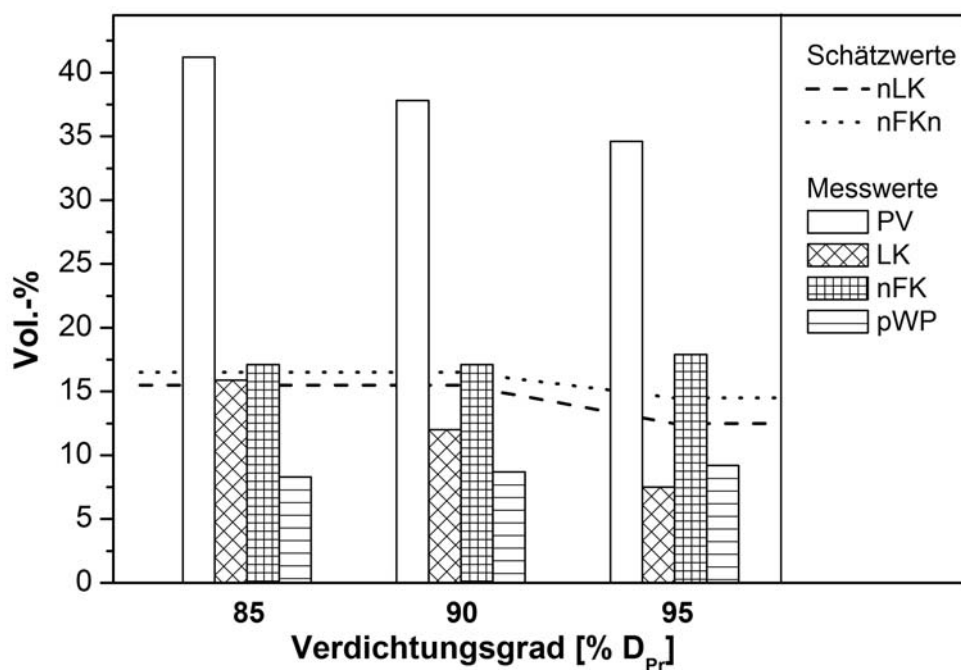
- Eignung als Pflanzenstandort / Rekultivierbarkeit (Humusgehalt, Kalkgehalt, Bodenreaktion, pflanzenverfügbare Nährstoffe, Pflanzenverträglichkeit, Luft- und Wasserversorgung der Pflanzen)
- Schadstoffbelastung in Feststoff und Eluat
- Gefährdung der Dränmatte (mechanische Gefährdung, chemisch-mikrobiologische Gefährdung)

Eine zentrale Rolle kommt bei vielen der genannten Punkte somit den bodenhydrologischen Kennwerten Luftkapazität und nutzbare Feldkapazität zu, wobei insbesondere die Luftkapazität nicht nur für die Qualität des Pflanzenstandortes wichtig ist, sondern auch der Gefahr der Stauwasserbildung und der Verockerung der Dränmatte vorbeugt sowie die Böschungsstabilität positiv beeinflusst. Nachfolgend werden daher die Untersuchungsergebnisse zu diesen beiden Parametern für unterschiedliche Vorsiebmaterialien dargestellt, die in diesem Projekt auf ihre Eignung geprüft wurden.

Das Material in Abb. 1 stammt von einer großen Halde mit Bodenaushub aus unterschiedlichen Quellen. Aus einer größeren Zahl von Teilproben wurde eine homogene Mischprobe hergestellt, ein Proctorversuch durchgeführt und anschließend Probenkörper mit Verdichtungsgraden von 85, 90 und 95 %  $D_{Pr}$  hergestellt, die hinsichtlich Luftkapazität (LK) und nutzbare Feldkapazität (nFK) untersucht wurden. Dabei wurden auch das Gesamtporenvolumen (PV) und der permanente Welkepunkt (pWP) bestimmt. In der Abbildung sind zudem die Schätzwerte von LK und nFK angegeben, die sich nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung [8] für Böden mit vergleichbarer Bodenart und Trockendichte ergeben. Die Abb. 1 zeigt ein weit verbreitetes Verhalten von gemischtkörnigen Böden: Die nFK ist unabhängig vom Verdichtungsgrad, während die Luftkapazität sehr empfindlich auf die Verdichtung reagiert. Für natürliche Böden vergleichbarer Korngrößenzusammensetzung sind ähnliche nFK bekannt, während die Luftkapazität durch die Tabellenwerke in [8] für natürliche Böden stark überschätzt wird. Aufgrund der Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens und der großen Heterogenität der Halde kam dieser Boden nicht zum Einsatz.



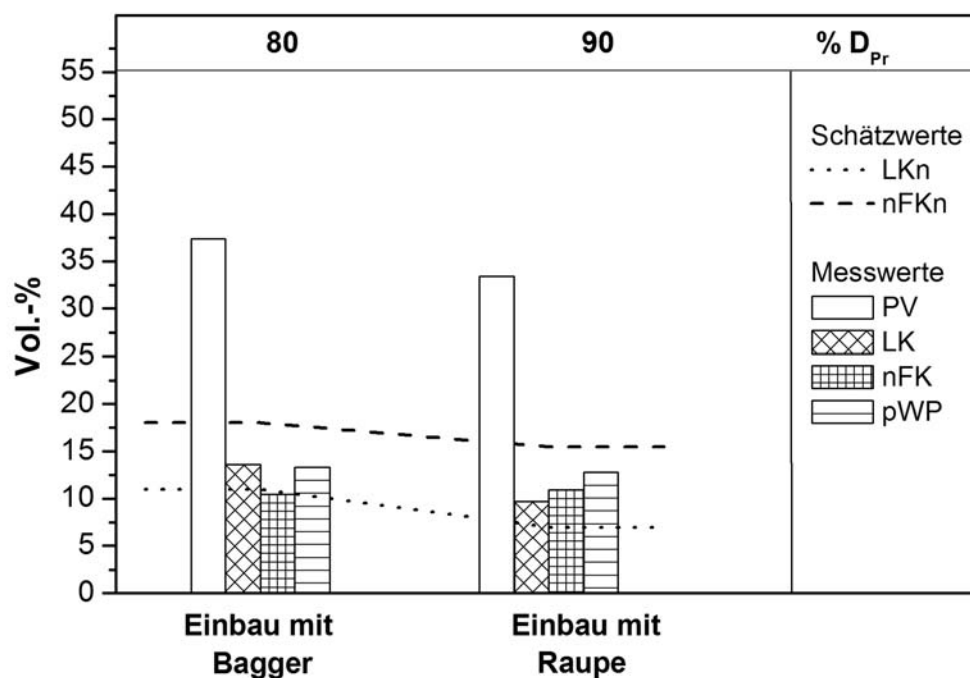
**Abbildung 1** Bodenhydrologische Kennwerte Vorsiebmaterial aus Bauschutt und Bodenaushub < 45 mm bei unterschiedlichem Verdichtungsgrad im Labor (Bodenart stark schluffiger Sand, Su4, G2, h1, c3)



**Abbildung 2** Bodenhydrologische Kennwerte Vorsiebmaterial aus Recyclingbaustoffen bei unterschiedlichem Verdichtungsgrad im Labor (Bodenart schwach schluffiger Sand, Su2, G3, h1, c3)

Die Abb. 2 zeigt analog bestimmte Ergebnisse für ein Vorsiebmaterial, das in der Vorstufe der Produktion von qualitätsüberwachtem Frostschutzschichtmaterial gewonnen wird. Das Ausgangsmaterial vor der Absiebung stammt u.a. aus Abrissprojekten und Straßenaufbruch und ist folglich sehr heterogen zusammengesetzt. Auch hier ist die nFK entgegen der weit verbreiteten Meinung nicht von der Verdichtung abhängig. Der oben aus [6] zitierte Satz „Die Trockendichte beeinflusst die nutzbare Feldkapazität umgekehrt proportional.“ trifft für dieses Material nicht zu. Es ist vielmehr auch hier die Luftkapazität, die empfindlich auf die Verdichtung reagiert. Allerdings ist bei diesem Material der LK-Wert bei 95 %  $D_{Pr}$  noch immer ausreichend. Das Material konnte jedoch aufgrund seiner Schadstoffgehalte nicht eingesetzt werden.

Das dritte Beispiel aus diesem Projekt (Abb. 3) zeigt wiederum ein Vorsiebmaterial. Es handelt sich um Recyclingmaterial aus der Aufbereitung bauschutthaltigen Bodenaushubs unterschiedlicher Quellen. Da Material lagerte bereits seit rund 5 Jahren in einer ca. 15 m bis 20 m hohen, langgestreckten und sehr steil geböschten Halde (ca. 30.000 m<sup>3</sup>). Der Bodenaushub enthielt in erheblichem Umfang Fremdbestandteile wie Mauerreste, Bauschutt, Bauholz und Wurzelstubben und wurde daher mit einer Siebanlage aufbereitet. Die Bodenart des Materials war ein schwach humoser, kiesiger, mittel lehmiger Sand.



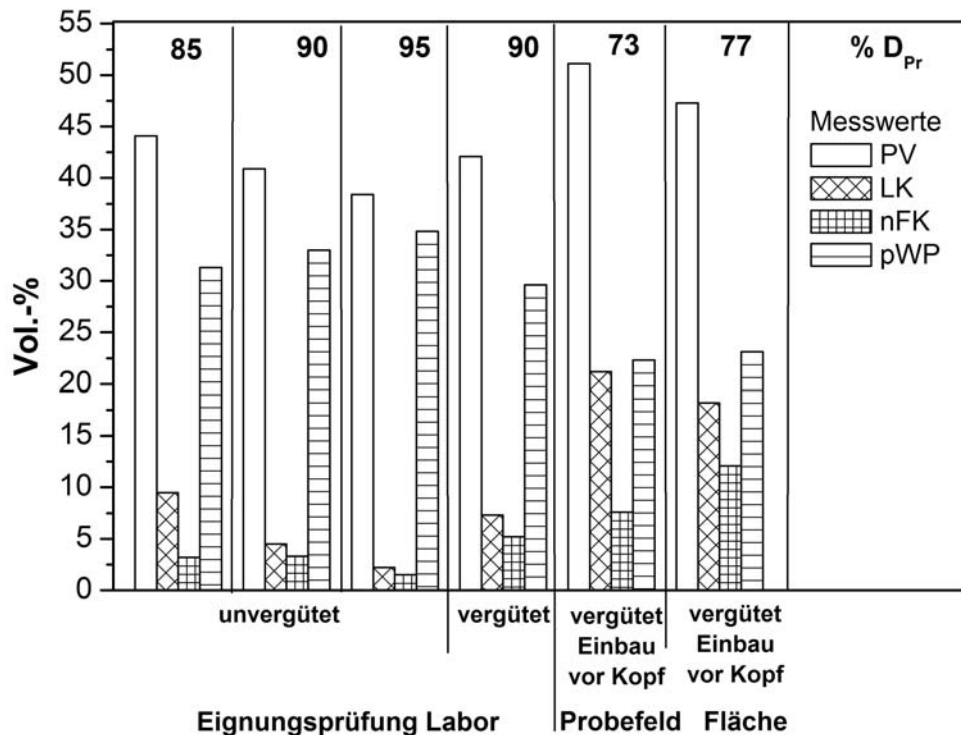
**Abbildung 3** Bodenhydrologische Kennwerte eines Vorsiebmaterials aus gemischtkörnigem Bodenaushub nach lockerem Einbau vor Kopf mit dem Bagger und lagenweisem Einbau mit Überfahrungen durch die Raupe (Bodenart mittel lehmiger Sand, SI3, G3, h2, c0)

Auf der Grundlage der Eignungsprüfung wurde das Material im Probefeld getestet und später großflächig in der Rekultivierungsschicht eingebaut. Abb. 3 zeigt, dass das Material die an LK und nFK in diesem Projekt gestellten Anforderungen unabhängig davon erfüllt, ob der Boden locker mit dem Bagger vor Kopf gelegt wird oder lagenweise mit einer in diesem Fall sogar recht schweren Raupe eingeschoben wird. Der Schätzwert der nFK für Böden vergleichbarer Korngrößenzusammensetzung wird allerdings deutlich verfehlt, was auf die Verdichtung des Bodens durch die hohe Auflast im Zwischenlager zurückzuführen ist.

### **3.2 Bodenaushub**

Das zweite Beispiel (Abb. 4) zeigt einen ausgesprochenen Problemboden, der sich im Besitz des Bauherrn befand, in einer sehr ausgedehnten und hohen Halde auf dem Deponiegelände lagerte und in eine Rekultivierungsschicht oberhalb einer Kombinationsdichtung eingebaut werden sollte. Es handelt sich um einem standorttypischen tertiären Verwitterungslehm mit hohem Steinanteil. Der ehemalige Unterboden zeigte kaum Anzeichen eines Bodenlebens und war in der Halde feucht und sehr dicht gelagert. Im diesem Ausgangszustand ergaben Laborversuche mit zunehmender Einbaudichte der Proben einen sehr starken Rückgang der LK sowie extrem geringe Werte der nFK. Da das Bodenmaterial außerdem hohe Eisengehalte mit nennenswerten Anteilen an mobilisierbarem Eisen enthält, musste es nicht nur in bodenhydrologisch/bodenphysikalischer Hinsicht, sondern auch bodenchemisch aufbereitet werden.

In Vorversuchen im Labor wurden durch eine Zugabe von Kalksand der pH-Wert deutlich angehoben und die Werte von LK und nFK (auf immer noch niedrigem Niveau) fast verdoppelt. Für den Einbau in die Rekultivierungsschicht wurde daher Kalksand in den Boden eingefräst und der Boden im Probefeld der Maßnahme locker vor Kopf mit dem Bagger und mit Pistenraupen eingebaut (73 %  $D_{Pr}$ ). Dadurch wurden kontinuierliche Grobporen geschaffen, die auch nach Sackung noch für eine ausreichend hohe LK und eine entsprechende Durchlüftung des Bodens sorgen, um der Mobilisierung und dem Austrag von Eisen in die Entwässerungsschicht entgegen zu wirken. Auch die nFK konnte dadurch noch etwas gesteigert werden, blieb jedoch noch immer deutlich unter den Werten, die für natürlich gewachsene Böden mit der gleichen Bodenart erwartet werden können und die für eine ganz normale Rekultivierungsschicht anzustreben sind. Das Fräsen des stark überverdichteten Bodens hat sich im vorliegenden Fallbeispiel als geeignete Aufbereitungstechnik erwiesen. Beim großflächigen Einbau mit dem Langarmbagger wurden bei einem mittleren Verdichtungsgrad von 77 %  $D_{Pr}$  nochmals im Vergleich zum Probefeld höhere Werte der nFK erzielt. Im Ergebnis der Aufbereitung dieses Bodens wurde die nKF fast vervierfacht und – was aufgrund der Eisengehalte des Bodens noch wichtiger ist – die Luftkapazität auf sehr hohe Werte von rund 18 % gesteigert, so dass auch für die Sackung des locker eingebauten Bodens eine ausreichende LK-Reserve vorhanden ist.



**Abbildung 4** Bodenhydrologische Kennwerte eines Bodenaushubs aus stark verdichtetem Verwitterungslehm im Rahmen der Eignungsprüfung im Labor (unvergütet und vergütet) sowie im Probefeld und beim großflächigen Einbau (Bodenart schwach sandiger bis schwach toniger Lehm (Ls2 – Lt2, X3, h2))

#### 4 Fazit

Rekultivierungsschichten haben vielfältige Anforderungen zu erfüllen, die seit einigen Jahren zunehmend beachtet wurden. Gelegentlich wird das Stellen von Anforderungen an die Rekultivierungsschicht im Deponiebau oder bei der Altlastensanierung aber auch als eine Art kostenverursachender Luxus belächelt und in der Tat sind mit der qualifizierten Planung, Herstellung und Qualitätskontrolle von Rekultivierungsschichten Kosten verbunden. Allerdings übernehmen die Rekultivierungsschicht und der Bewuchs langfristig eine wichtige Funktion in Oberflächenabdichtungssystemen und es gilt, durch fachgerechte Herstellung der Rekultivierungsschicht Fehler zu vermeiden, die mittelfristig zu erheblichen Kosten führen können. Ungenügend dimensionierte Rekultivierungsschichten, falsche Materialwahl und ungünstige Einbauverfahren haben in der Vergangenheit bereits zu Problemen hinsichtlich Böschungsstabilität, Verockerung von Entwässerungsschichten und Austrocknung von mineralischen Dichtungen geführt, die aufwändig saniert werden mussten. Durch qualifizierte Planung und Herstellung der Rekultivierungsschicht können solche Schäden vermieden werden und es ist u.U. möglich, Bodenaushub und bodenähnliche Ersatzbaustoffe kostengünstig und fachgerecht einzusetzen. Natürliche Böden sind demgegenüber oft schlechter verfügbar, teurer und mechanisch empfindlicher.

Die gezeigten Fallbeispiele zum Einsatz von Vorsiebmaterial und Bodenaushub lassen einige wichtige Tendenzen erkennen:

- Eine wichtige Rolle zur Vermeidung der Verockerung von Entwässerungsschichten und Dränmatten und zur Sicherung der Böschungstabilität spielt die Luftkapazität des Rekultivierungsbodens, verbunden mit einer guten Kontinuität der weiten Grobporen. Die Luftkapazität sinkt in gemischtkörnigen Böden häufig mit zunehmendem Verdichtungsgrad. Es gibt jedoch auch Vorsiebmaterialien, die diesbezüglich sehr unempfindlich sind.
- Entgegen der weit verbreiteten Meinung ist die nutzbare Feldkapazität nicht grundsätzlich vom Verdichtungsgrad abhängig.
- Sowohl für natürliche Böden als auch für Ersatzbaustoffe gilt, dass die Schätzwerte von LK und nFK, die in [8] für reife, nicht überverdichtete, natürliche Unterböden angegeben werden, für Rekultivierungsböden, die aus dem Verband gelöst, transportiert und wieder eingebaut werden, nicht zutreffen. Diese Parameter müssen im Labor gemessen werden.
- Das Einbauverfahren ist auf die verwendeten Böden individuell abzustimmen. Der herkömmliche, lagenweise verdichtete Einbau von Rekultivierungsböden verschenkt Potentiale und kann Schäden verursachen. Umgekehrt muss nicht für alle Böden generell ein lockerer Einbau durch Schütten vor Kopf gefordert werden, wie insbesondere das erste dargestellte Fallbeispiel zeigt (Abb. 2 und 3).
- Durch gezielte Aufbereitung können auch in ihrem Ausgangszustand sehr schlecht geeignete Böden so verbessert werden, dass sie die Anforderungen an eine „normale“ Rekultivierungsschicht erfüllen. Einer Gefügeverbesserung durch Bodenlockerung oder Fräsen ist jedoch immer die zweite Wahl. Generell gilt, dass das vorbeugende Vermeiden einer schädlichen Bodenverdichtung Vorrang hat vor der Melioration.

## Literaturverzeichnis

- [1] TA Siedlungsabfall, 1993: Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Technische Anleitung zur Vermeidung, Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. Bundesanzeiger 99a, 14.05.1993
- [2] DepV – Deponieverordnung, 2002: Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom 10.07.2002
- [3] TA Abfall, 1991: Gesamtfassung der Zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen. Gemeinsames Ministerialblatt, 42. Jg., Nr. 8, S. 139-214, Bonn, 12.03.1991
- [4] LAGA - Ländergemeinschaft Abfall, 1997: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln. In: Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft (LAGA), Heft 20/1, Erich Schmidt Verlag, Berlin. (wird aktuell novelliert)
- [5] DIN 18915, 1990: Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Bodenarbeiten. Beuth Verlag, Berlin/Köln.
- [6] DGGT - Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, 2000: Geotechnik der Deponien und Altlasten (GDA) - Empfehlung E2-31 Rekultivierungsschichten. In: Ramke, H.G., K. Berger & K. Stief (Hrsg): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkund. Arbeiten, 47, S. 275-293.
- [7] DIN 19731, 1998: Bodenbeschaffenheit - Verwertung von Bodenmaterial. Beuth Verlag, Berlin/Köln.
- [8] AG Boden, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Hannover