

Forschungsvorhaben

## **Rekultivierung von Deponien mit Oberflächenabdichtungen: Untersuchungen zur Gestaltung von Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren**

### **Förderkennzeichen BWD 99003**

Institut für Landespflege der Albert Ludwigs-Universität Freiburg, Prof. Dr. W. Konold

## **1. Kurzbeschreibung des Forschungsergebnisses**

### **Erfahrungen bei der Bauausführung**

Der unverdichtete Einbau von Rekultivierungsschichten ist in der Praxis möglich; er ist jedoch im Einzelfall von der Böschungsneigung und den substratbedingten Scherparametern abhängig. Deshalb ist eine Prüfung der Schereigenschaften des verwendeten Bodenmaterials grundsätzlich notwendig. Großscherversuche ergaben, dass die maßgebenden Scherparameter der unverdichteten Substrate auch mittels klassischer Scherversuche im Labor erhoben werden können.

Das beim Bau der Testfelder eingesetzte neue Verfahren *Vor-Kopf-Einschieben der Rekultivierungssubstrate in einer Schicht* ist als Kompromisslösung für die Baupraxis zu sehen, um Verdichtungen im Unterboden zu vermeiden. Ein völlig verdichtungsfreier Einbau des Bodens kann nur ohne jegliches Befahren mit Bandabsetzer oder Teleskopbagger realisiert werden. Diese Verfahren werden - zumindest derzeit - in der normalen Baupraxis aus Kostengründen oder wegen fehlender Maschinen nur in Ausnahmefällen Anwendung finden und wurden deshalb auch beim Forschungsvorhaben nicht eingesetzt.

Durch das *Vor-Kopf-Einschieben* der Rekultivierungsschicht wird der Oberboden zwangsläufig befahren und verdichtet. Die Oberbodenverdichtungen sind aber weniger schädlich als solche im Untergrund, denn sie werden auf natürliche Weise allmählich aufgelöst oder können mit technischen Mitteln relativ leicht aufgelockert werden. Die verdichtete Bodenoberfläche der Versuchsfelder wurde mit dem ebenfalls neu entwickelten Verfahren *Umgraben mit dem Bagger* aufgelockert. Es schafft eine stark raue Bodenoberfläche, die Bodenerosion in der vegetationsfreien Zeit sehr effektiv unterbinden konnte.

### **Eigenschaften der Rekultivierungsschicht nach Fertigstellung der Felder**

Die Ergebnisse der vor dem Bodeneinbau durchgeführten Laboruntersuchungen zum Standsicherheitsverhalten unverdichteter Rekultivierungsschichten werden durch die in-Situ-Messungen mit neu entwickelten *Karlsruher Schertestern* bestätigt.

Obwohl die Setzungen des unverdichteten Substrates im Testfeld nach 18 Monaten noch nicht vollständig abgeklungen sind, zeigt sich, dass mit dem praktizierten Einbauverfahren für unverdichtete Böden Trockenraumdichten unterhalb der Ausgangsdichte des Substrates erzielt werden konnten. Hingegen entstanden durch die lagenweise Verdichtung beim konventionellen Einbau „Sperrschichten“ im Unterboden. Diese weisen viel weniger Grobporen und damit deutlich höhere Trockenraumdichten als das Substrat beim unverdichteten Einbau in gleicher Tiefe auf.

In beiden Versuchsfeldern wurde durch die Bodenumlagerung die Kontinuität der Poren unterbrochen. Daher bestimmt die unterschiedliche Dichte der Böden die Infiltrationseigenschaften: Im verdichteten Substrat erfolgt die Wasserinfiltration fast nur in Rissen, im unverdichteten dagegen überwiegend flächig. Im Unterboden der verdichteten Rekultivierungsschicht tritt häufig Staunässe und damit auch Sauerstoffmangel auf. Die Durchwurzelung wird zudem durch deutlich höhere Eindringwiderstände erschwert.

Als Folge der unterschiedlichen Einbauverfahren ist das Feld mit unverdichtetem Substrat ein günstigerer Pflanzenstandort. Die Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung belegen eine positive Reaktion der Pflanzen auf die Standortunterschiede, insbesondere durchwurzeln sie das unverdichtete Substrat erheblich tiefer und intensiver als das lagenweise verdichtete Material. Daher ist langfristig auch eine höhere Wasserentnahme aus dem Boden zu erwarten.

Die Regenwurmpopulation wurde durch die Bodenumlagerung beim Bau der Testfelder praktisch vollständig vernichtet. Eine schnelle Zunahme der Regenwurmzahlen ist aufgrund der Rahmenbedingungen nicht zu erwarten, so dass positive Wirkungen der Regenwürmer auf das Bodengefüge in absehbarer Zeit weitgehend fehlen werden. Untersuchungen zeigen, dass Regenwürmer auf rekultivierten Flächen mit günstigen Bodeneigenschaften durchaus große Populationen aufbauen können.

### **Erprobung von Wurzelsperren**

Die vorläufigen Ergebnisse der Versuche zur Erprobung von Wurzelsperren in Freiburg legen den Schluss nahe, dass unter den gegebenen Bedingungen alle getesteten Materialvarianten *Kupfermatte*, *Dränbeton*, *verdichteter Sand* und *Glassplitt* nur bedingt als Wurzelsperren geeignet sind. Alle Varianten wiesen zwar einen Teil der Wurzeln ab, in jede Sperre konnten jedoch auch Wurzeln eindringen. Die Kupfer-Sperrmatte wurde aufgrund ihrer geringen Dicke als einzige durchdrungen. Zudem führten die drei Varianten *Kupfermatte*, *Dränbeton* und *Glassplitt* aufgrund eines Kapillarsperreneffektes zu Stauwasser in den darüberliegenden Rekultivierungsschichten. Nach dem derzeitigen Untersuchungsstand erscheint daher die Variante *verdichteter Sand* am geeignetsten.

## Weiterer Forschungsbedarf

Die aus dem laufenden Vorhaben bis zum jetzigen Zeitpunkt gewonnenen Ergebnisse bestätigen sowohl die Realisierbarkeit als auch die aufgrund allgemeiner Erkenntnisse der Bodenkunde vermuteten günstigeren Standorteigenschaften unverdichtet eingebauter Rekultivierungsschichten. Sie werfen jedoch auch eine Reihe neuer Fragen auf, die im Hinblick auf eine praxisnahe Umsetzung der Erkenntnisse zukünftig beantwortet werden müssen:

1. Herkunft und Eigenschaften der bei einer Rekultivierung verwendeten Substrate sind aus baubetrieblichen Gründen in der Regel nicht im Voraus bekannt. Im Bauablauf ist eine kurzfristige Prüfung der angedienten Böden und eine schnelle Freigabe zur Anlieferung erforderlich. Somit sind selbst einfache Laborscherversuche zur Bestimmung der Scherparameter in der Praxis selten möglich. Für unverdichtete Rekultivierungsschichten wird aber die Prüfung der Scherparameter als notwendig erachtet. Um diesen Widerspruch aufzulösen, sollten die prinzipiellen Schereigenschaften für typische und verbreitete Substrate Baden-Württembergs („Referenzböden“) im Voraus ermittelt werden.
2. Der Bau der Testfelder hat gezeigt, dass auch beim *Einbau ohne zusätzliche Verdichtung* trotz Verwendung einer leichten Raupe mit Moorketten durch das Einschieben des Bodens Oberbodenverdichtungen entstehen. Diese sind positiv mit der Häufigkeit der Befahrungen der Bodenoberfläche korreliert. Daher ist zu prüfen, ob in der Praxis der Einsatz einer schweren Raupe sinnvoller ist, die mit einer geringeren Zahl von Überfahrten das gleiche Bodenvolumen einbauen kann. Dieses Verfahren wäre aufgrund der höheren Arbeitsleistung kostengünstiger, möglicherweise könnte auch das Ausmaß der Oberbodenverdichtung reduziert werden.
3. Aufgrund der langfristigen Ausrichtung des Gesamtvorhabens sowie der in den Testfeldern zu erwartenden großen Veränderung von Boden und Vegetation und damit auch des Wasserhaushaltes sollten die im Testfeld installierten Messeinrichtungen in regelmäßigen zeitlichen Abständen aktiviert werden.
4. Die praktisch vollständige Vernichtung der Regenwurmpopulation durch Bodenumlagerung wurde bisher nur in den Testfeldern in Leonberg dokumentiert. Wegen der grundsätzlichen Bedeutung der Ergebnisse - Bodenumlagerungen finden in vielen Bereichen der Bauwirtschaft statt - sind Untersuchungen bei weiteren Baumaßnahmen angezeigt. Weiterhin sollten Untersuchungen zur Wiederansiedlung von Regenwürmern nach Baumaßnahmen erfolgen.
5. Die im Jahre 1999 angelegten Testfelder zur Erprobung von Wurzelsperren konnten nur über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren untersucht werden. Dieser Zeitraum ist für eine intensive Durchwurzelung der Versuchsfelder - insbesondere durch Bäume - nicht ausreichend. Weiterhin sind die eingebauten Wurzelsperren auch auf ihre Langzeitbeständigkeit zu prüfen. Daher sollten zu einem späteren Termin weitere Untersuchungen erfolgen.

## 2. Welche Fortschritte ergeben sich für die Wissenschaft und/oder Technik durch die Forschungsergebnisse?

Rekultivierungsschichten als Komponenten der Oberflächenabdichtung von Deponien haben folgende Hauptfunktionen:

1. Sie sind Tragschicht für den Bewuchs und somit Grundlage für die langfristige Wiedereingliederung eines Deponiebauwerkes in die Landschaft sowie eine eventuelle Folgenutzung für Land-, Forstwirtschaft oder Freizeit/Erholung. Sie erfüllen somit eine landschaftspflegerische Funktion.

Die bisherigen Ergebnisse des Vorhabens belegen, dass es unter bestimmten Annahmen (z.B. Bodenarten, Böschungsneigung) möglich ist, unverdichtet eingebaute Rekultivierungsschichten herzustellen und somit einer schon seit Jahren erhobenen Forderung von Rekultivierungspraktikern, Forstwirten, Vegetations- und Bodenkundlern nachzukommen. Die Vegetation reagierte bereits in der ersten Vegetationsperiode positiv im Sinne des Versuchsansatzes auf die günstigeren Bodenbedingungen im unverdichteten Einbau. Deshalb kann angenommen werden, dass auch die weitere Entwicklung, vor allem der Gehölze besser verlaufen wird als auf verdichteten Rekultivierungsschichten, obwohl die Unterschiede zwischen den Versuchsfeldern nicht sehr deutlich ausgeprägt sind.

Ein großer Teil der baden-württembergischen Deponien liegt im Waldverband. Die Wiederaufforstung ist somit im Sinne des Landeswaldgesetzes geboten. Es ist zu erwarten, dass Rekultivierungsschichten mit günstigeren Standorteigenschaften, wie sie von der Forstwirtschaft immer wieder gefordert werden, die Wiedereingliederung von Deponien in die (Wald-)Landschaft erleichtern und die Zahl der Fehlschläge und Ausfälle bei Aufforstungen reduzieren.

2. Rekultivierungsschichten sollen den Zustrom von Niederschlagswasser in das Entwässerungssystem und die Deponie reduzieren (Funktion „Wasserhaushaltsschicht“). Tritt kein Wasser in den Deponiekörper ein, so können auch keine Sickerwässer ausgetragen werden, die in die Umgebung gelangen und möglicherweise Grundwasser, Vorfluter und Boden mit eluierten Schadstoffen belasten. Da die Funktionsdauer der technischen Dichtungskomponenten nicht absehbar ist, müssten schadstoffhaltige Deponien dauerhaft überwacht und deren Dichtungseinrichtungen gegebenenfalls ertüchtigt werden. Heute kann niemand garantieren, dass dies auf unbestimmte Zeit möglich sein wird.

Allgemeine Untersuchungen zur Grundwasserneubildung und zum Bodenwasserhaushalt sowie bisherige Untersuchungen abgedeckter Mülldeponien zeigen, dass bei entsprechend günstigen Bodeneigenschaften der höhere Wasserverbrauch der Vegetationsdecke die Absickerungsraten deutlich verringert. Deshalb kann eine als Wasserhaushaltsschicht gestaltete Rekultivierungsschicht mit optimalem Bewuchs zwar nur in wenigen Regionen Deutschlands den Zustrom von Sickerwasser in eine Deponie vollständig verhindern, sie kann ihn jedoch an den meisten Standorten

maßgeblich reduzieren. Somit erfüllen qualifizierte Rekultivierungsschichten auf unbegrenzte Zeit eine Umweltschutzfunktion.

3. Der Einbau von Rekultivierungsschichten ohne Verdichtung ist in der Regel kostengünstiger als das konventionelle Verfahren, da der zusätzliche Arbeitsschritt des Verdichtens entfällt. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass konventionelle Baumaschinen (Raupen mit hoher Verschiebeleistung) eingesetzt werden können. Zur Zeit besteht allerdings noch Forschungsbedarf zu der Frage, ob mit Maschinen höherer Leistung (und damit hohem Gewicht) die gleichen Ergebnisse erzielt werden können, wie beim Bau der Versuchsfelder auf der Kreismülldeponie Leonberg.

### **3. Welche Empfehlungen ergibt sich aus dem Forschungsergebnis für die Praxis?**

#### **Standicherheit**

Bei unverdichtetem Einbau müssen die Scherparameter des jeweils einzubauenden Rekultivierungsmaterials bekannt sein. Für locker geschüttete Substrate können die maßgebenden Scherparameter durch klassische Scherversuche im Labor ermittelt werden.

#### **Substratauswahl**

Die Verteilung der Bodenarten in der Bundesrepublik ist regional sehr unterschiedlich. Es wird deshalb nicht immer möglich sein, optimale Substratqualitäten für jeden Deponiestandort mit vertretbarem Aufwand zu beschaffen. In der Praxis werden deshalb oft Kompromisslösungen zwischen den Anforderungen der Bodenkunde und dem wirtschaftlich Vertretbaren notwendig. Soll die Qualität der Rekultivierungsschicht nicht dem Zufall überlassen bleiben, so ergibt sich die Aufgabe, bereits lange vor Ausführung größerer Rekultivierungsvorhaben die Bodenbeschaffung zu planen und gegebenenfalls ein Bodenmanagement zu betreiben.

#### **Einbau**

Aus boden- und vegetationskundlicher Sicht ist der Einbau ohne zusätzliche Verdichtung stets zu bevorzugen; er wirkt sich unabhängig von der Qualität der Substrate in jedem Fall günstiger auf die Standorteigenschaften der Rekultivierungsschicht aus.

Ein schichtenweiser Einbau von Rekultivierungssubstraten ist unbedingt zu vermeiden, da hierdurch die Wurzel ausbreitung in tiefer liegende Bodenschichten behindert wird.

Zielvorgabe beim Bodeneinbau sollte nicht das Erreichen der ursprünglichen Bodendichte sein. Auch eine Umlagerung ohne zusätzliche Verdichtung verschlechtert die Bodeneigenschaften, da kontinuierliche Poren fehlen und neu gebildete außerdem von gering-

erer Stabilität sind. Deshalb muss ein Boden, um ähnliche Eigenschaften wie im Ausgangszustand zu erreichen, deutlich lockerer eingebaut werden.

### **Bautechnik**

Als Begleiterscheinung des unverdichteten Bodeneinbaus treten Setzungen auf. Da sich auf oder in der Rekultivierungsschicht meist diverse Baulichkeiten befinden, können konstruktive Vorkehrungen erforderlich sein, damit Setzungen nicht zu Schäden führen.

### **Kontrolle**

Zusammenhänge zwischen der Leistungsfähigkeit der Vegetation und Bodeneigenschaften sind mit einer Vielzahl von Untersuchungen belegt. Bei üblichen Rekultivierungsverfahren werden die Bodeneigenschaften jedoch nicht dokumentiert, da die Kontrolle durch einen Bodenkundler beim Einbau fehlt. Deshalb ist sowohl eine laufende Kontrolle während des Einbaus als auch eine flächendeckende Eignungskartierung durch Boden-/Standortkundler (Standortgutachten) nach dem Abschluss der technischen Rekultivierung und vor einer Bepflanzung mit Gehölzen angezeigt. Standortgutachten werden in der Rekultivierung von Abbauflächen bereits heute vielfach durchgeführt, obwohl dort viel geringere Anforderungen an Boden und Vegetation gestellt werden.