

Wurzelsperren in Rekultivierungsschichten als Schutz der Dichtungselemente?

Untersuchungen zur Funktion und Wirksamkeit von Wurzelsperrsystemen

Peter Wattendorf, Institut für Landespflege, Freiburg

Otto Ehrmann, Büro für Bodenbiologie, Creglingen

1 Warum Wurzelsperren?

TA SIEDLUNGSABFALL (1993) und Deponieverordnung (2002) formulieren Forderungen an die Rekultivierungsschicht, die immer wieder die Frage nach Wurzelsperren aufkommen lassen: Einerseits wird verlangt, die Absickerungsraten aus der Rekultivierungsschicht von Deponie-Oberflächenabdichtungen so gering wie möglich zu halten. Auf der anderen Seite gehört es aber auch zu den Aufgaben der Rekultivierungsschicht, schädliche Einwirkungen – wie das Eindringen von Wurzeln – von den darunter liegenden Dichtungselementen fernzuhalten. Das erste Ziel ist nur zu erreichen, wenn die Rekultivierungsschicht eine hohe Wasserspeicherkapazität aufweist (z.B. DGGT 2000) und tiefreichend und intensiv durchwurzelt wird, damit große Verdunstungsleistungen der Vegetation möglich werden. Versuche in Großlysimetern belegen eindrucksvoll, welche Dienste eine gut durchwurzelbare Rekultivierungsschicht bei der Reduzierung der Sickerwassermenge leisten kann (WATTENDORF et al. 2005, WATTENDORF & EHRMANN 2006). Die Forderung nach tief durchwurzelbaren Rekultivierungsschichten weckt jedoch auch die Angst vor Wurzelschäden und kollidiert deshalb vermeintlich mit dem Anspruch, die Dichtung wurzelfrei zu halten.

1.1 Wie tief wurzeln Pflanzen, insbesondere Bäume?

Immer wieder wird die Frage nach der „typischen“ oder „artspezifischen“ Wurzeltiefe von Pflanzen, insbesondere Gehölzen gestellt. Literaturangaben über „Flach-“ und „Tiefwurzler“ sowie weitere Ausformungen des Wurzelsystems (Herzwurzel, ...) legen den Schluss nahe, mit der Auswahl der Pflanzen auch die Durchwurzelungstiefe der Substrate bestimmen zu können.

Dies ist jedoch nur zum Teil möglich. Es ist zwar richtig, dass es genetisch vorbestimmte „Wurzeltypen“ gibt, so wurzeln beispielsweise Süßgräser meistens intensiv im oberflächennahen Humushorizont und weniger in der Tiefe. Es gilt aber auch, dass die Ausprägung des Wurzelsystems durch das Klima und die Bodeneigenschaften bestimmt wird (z.B. POLOMSKI & KUHN 1998). Abbildung 1 zeigt hierzu einige Beispiele. Ein weiterer Irrtum ist die Annahme, dass kleine Pflanzen wesentlich weniger tief wurzeln als Bäume oder Sträucher – auch Kräuter können erstaunliche Wurzeltiefen erreichen, siehe Abbildung 2.

Die Frage nach der Wurzeltiefe einer Pflanzenart kann demnach ohne weitere Angaben zu den Bodeneigenschaften und der klimatischen Situation nur innerhalb einer weiten Spanne angegeben werden. Grundsätzlich gilt beispielsweise, dass sommerliche Trockenheit die Tiefendurchwurzelung stimuliert und lockere und damit gut durchlüftete, meist sandige oder schluffige Böden (siehe Tabelle 1) tief durchwurzelt werden können.

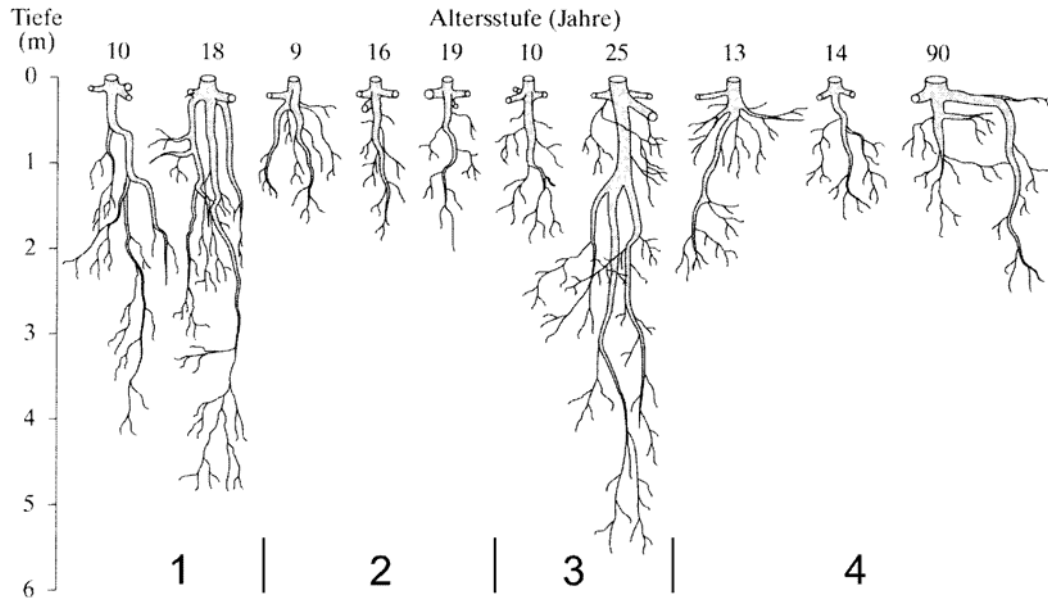


Abbildung 1: Wurzelsysteme von Stieleichen (*Quercus robur*) auf unterschiedlichen Böden, 1 = Schwarzerden, 2 = degradierte Schwarzerden, 3 = lehmmige frische Waldböden, 4 = podsolige Böden; aus POLOMSKI & KUHN (1998)

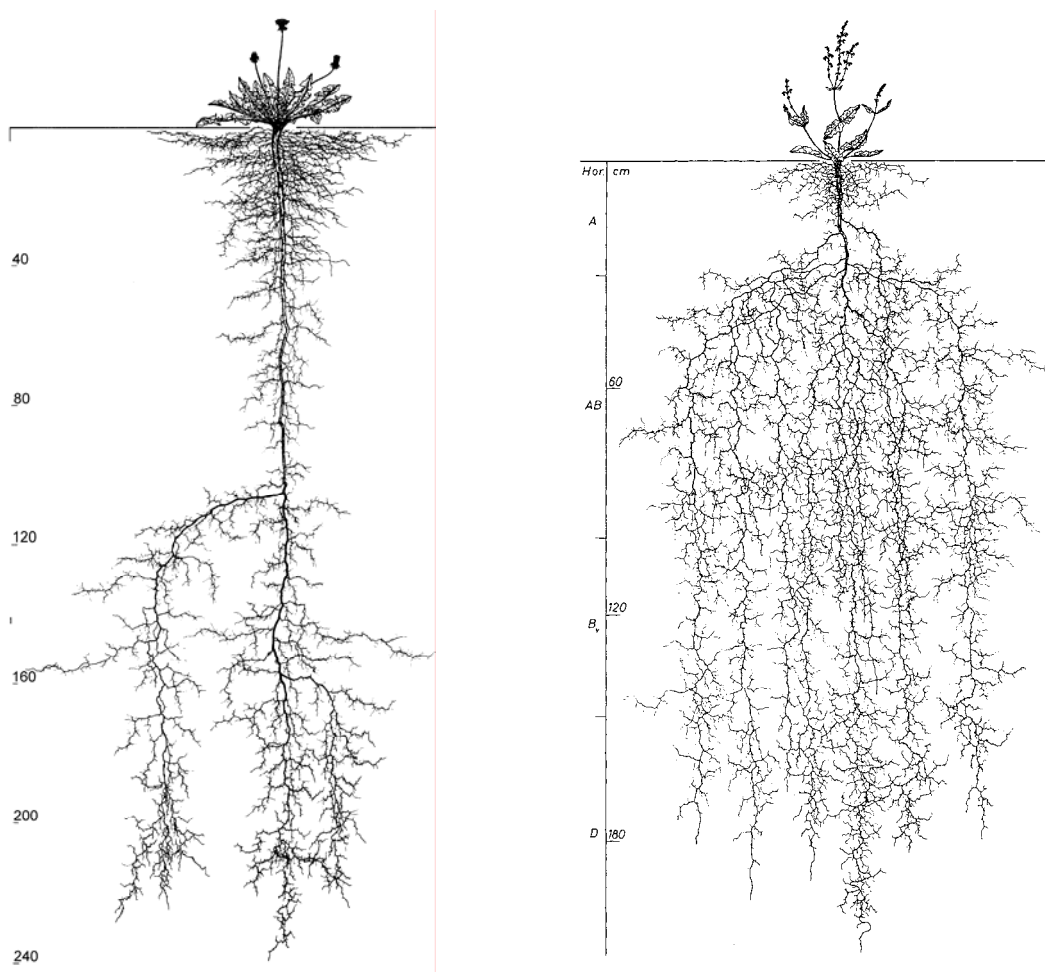


Abbildung 2: Wurzelbilder von Löwenzahn (*Taraxacum officinalis*) und Wiesensalbei (*Salvia pratense*), aus KUTSCHERA & LICHTENEGGER (1992)

Wurzelaufgrabungen von KUTSCHERA & LICHTENEGGER (2002) an einheimischen Waldbaumarten brachten zum Teil überraschende Wurzeltiefen ans Licht. In Tabelle 1 sind die nachgewiesenen Wurzeltiefen für einige verbreitete Baumarten aufgeführt¹.

Tabelle 1: Beispiele für maximale Wurzeltiefen einheimischer Baumarten, ermittelt an Aufgrabungen in Österreich von KUTSCHERA & LICHTENEGGER (2002)

Baumart		Tiefe des Wurzelsystems	Höhe des Baumes	Bodenart* oben / unten
<i>Acer campestre</i>	Feld-Ahorn	345 cm	1.425 cm	uS / S
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Berg-Ahorn	190 cm	612 cm	sL
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarz-Erle	360 cm	390 cm	IS / S
<i>Carpinus betulus</i>	Hainbuche	387 cm	1.089 cm	uL / Schotter
<i>Fagus sylvatica</i>	Buche	240 cm	1.040 cm	sL / IS / S
<i>Fraxinus excelsior</i>	Esche	200 cm	795 cm	uS / S
<i>Pinus sylvestris</i>	Waldkiefer	950 cm	575 cm	uS
<i>Quercus robur</i>	Stiel-Eiche	350 cm	1.226 cm	IS / uS / S
<i>Quercus rubra</i>	Rot-Eiche	180 cm	261 cm	sL / IS
<i>Robinia pseudacacia</i>	Robinie	364 cm	2.450 cm	sU / uS / S+K

* Bodenarten: S,s = Sand, sandig; L,l = Lehm, lehmig; U,u = Schluff, schluffig; K, k = Kies, kiesig

1.2 Schutz der Dichtungselemente: Gefährdungsszenarien

Vor diesem Hintergrund stellt sich natürlich die Frage, welche Gefahren den Dichtungselementen durch Pflanzenwurzeln drohen. Hierzu liegen bisher nur wenige Erfahrungen aus der Praxis vor, insbesondere fehlen gesicherte Erkenntnisse über längere Zeiträume. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Elemente des Oberflächenabdichtungssystems in ihrer Funktion sehr unterschiedlich von Durchwurzelung beeinträchtigt werden können.

Die hohlraumreiche **Entwässerungsschicht** (Dränschicht) kann grundsätzlich gut durchwurzelt werden. Vor allem wenn Sickerwasser in der Dränschicht verbleibt, beispielsweise in Senken, die durch Setzungen entstehen können, oder wenn der Abfluss durch Hindernisse blockiert wird, ist mit einer stärkeren Durchwurzelung („Hydrokultureffekt“) zu rechnen. Hierdurch kann die bereits verminderte Dränwirkung weiter eingeschränkt werden, insbesondere, wenn ein Wurzelfilz Feinmaterial aus dem Sickerwasser siebt, das die Poren weiter verstopft (Kolmation).

Während mineralische Dränschichten eine gewisse Sperrwirkung aufgrund des Körnungsunterschieds zum Rekultivierungsboden besitzen und hydraulisch meist überbemessen sind, besitzen Dränmatten weniger Reserven, um Querschnittsverringerungen ohne Beeinträchtigung der Funktion zu überstehen. Hier besteht die Gefahr, dass die Matte durchwachsende Wurzeln von der Kunststoffdichtung in die Horizontale abgelenkt werden und sich auf der KDB ein verzweigtes Wurzelsystem ausbildet, um auch geringe Flüssigkeitsmengen aufzunehmen. Wenn ein Wasserfilm die Oberseite der KDB benetzt, kann dies die Ausbildung eines dichten, flachen Wurzelgeflechts stimulieren, wie man es vom Boden oder der Wand eines Blumentopfes kennt. Solange nur feine Wurzeln vorhanden sind, wird der Querschnitt der Dränmatte nicht wesentlich verringert. Es besteht jedoch neben der

¹ In POLOMSIK & KUHN (1997) finden sich in tabellarischer Form auch Angaben zu den Wurzeleigenschaften vieler mitteleuropäischer Pflanzenarten.

Kolmation die Gefahr, dass abgestorbene und zersetzte Feinwurzeln einen Humus für die weitere intensivere Durchwurzelung bilden oder das Dickenwachstum der Wurzeln den Querschnitt der Dränmatte weiter reduzieren. Dieser Effekt verstärkt sich selbst, denn je mehr Wurzeln Feinmaterial in der Dränmatte anreichern, desto günstiger werden die Bedingungen für die Wurzeln und desto stärker kann die Durchwurzelung werden. Dies führt dazu, die Wasserleitfähigkeit der Dränmatte zumindest lokal mehr oder weniger stark zu reduzieren.

Kunststoffdichtungsbahnen gelten bei ordnungsgemäßigem Einbau bis zu ihrer Alterung als absolute Wurzelsperre (LINERT 1995). In der Literatur wird der Eindringwiderstand von KDB mit bis zu $24 \text{ MPa} = 24 \text{ MN/m}^2$ (DOBSON & MOFFAT 1993) angegeben. Der Druck wachsender Wurzelspitzen kann lediglich bis zu 5 MN/m^2 betragen (KOROTAEV 1992); bei vielen Pflanzen ist bereits bei deutlich geringerem Widerstand das Wurzelwachstum stark eingeschränkt. Wie lange der HDPE-Kunststoff die wurzelsperrende Wirkung aufrecht erhält, kann zur Zeit nicht beurteilt werden. Auch können bereits geringfügige Mängel an Nahtstellen zu Durchwurzelungen der KDB führen (z.B. FISCHER & MEINKEN 1989).

Mineralische Dichtungen sind wegen ihrer hohen Trockenraumdichte von circa $1,8 - 2,0 \text{ g/cm}^3$ und ihres sehr geringen Grob- und Mittelporenvolumens prinzipiell ein wenig attraktiver Wurzelraum und für Pflanzenwurzeln nur sehr schwer zu durchdringen. Im Gegensatz zu dieser theoretischen Annahme zeigen Aufgrabungen in Testfeldern mit mineralischen Dichtungen, dass diese bei beziehungsweise nach einer Austrocknung sehr leicht durchwurzelt werden können (z.B. MELCHIOR 1993). Die Durchwurzelung konzentriert sich dann zwar zuerst auf Schrumpfrisse, sie fördert jedoch die weitere Austrocknung der Dichtungsmatrix durch Wasserentzug und beschleunigt und verstärkt somit die Beeinträchtigung der Dichtungsfunktion. Absterbende Wurzeln hinterlassen vertikale Röhren als bevorzugte Fließwege für das Bodenwasser. Ebenso wie mineralische Dichtungen können auch Bentonitmatten von eindringenden Pflanzenwurzeln in ihrer Funktion beeinträchtigt werden.

Eine größere Gefahr als bei nur punktuellm Eindringen von Wurzeln in die Dichtungselemente kann der Oberflächenabdichtung durch **Windwurf** von Bäumen drohen. Große Windlasten können Bäume umdrücken und das Wurzelsystem aus dem Boden hebeln. Das Ausmaß des Wurzelballens und damit der bei Windwurf freigelegten Bodenschicht richtet sich nach der Ausdehnung des Grobwurzelsystems der Bäume. ALDINGER et al. (1996) haben eine Vielzahl von Wurzelballen vom Wind geworfener Waldbäume in Baden-Württemberg vermessen. Die Ballen waren abhängig von der Bodenart im Durchschnitt zwischen circa 100 und 166 cm tief. Die meisten Wurzelballen erreichten Tiefen zwischen 100 und 120 cm, bei Tannen, Buchen und Eichen wurden maximale Wurzelballentiefen von 200 – 220 cm gefunden.

Bei diesen Wurzelballentiefen – die wohl für die meisten Baumarten gelten können – besteht bei gering dimensionierten Rekultivierungsschichten die Gefahr, dass bei Windwurf die gesamte Bodenschicht aufgeworfen wird und das darunter liegende System freigelegt werden kann. Sind in einem solchen Fall bereits größere Wurzeln in der Dränschicht oder - als worst case - sogar in der mineralischen Dichtung verankert, dann werden diese beim Windwurf nicht nur freigelegt, sondern auf einer Fläche von einigen Quadratmetern zerstört. Das Freilegen der Kunststoffdichtung durch einen Windwurf setzt die Folie Belastungen (UV-Strahlung, Frost, Durchdrücken von Steinen etc.) aus, die zur Schädigung führen können.

Vor diesem Hintergrund stellt sich deshalb die Frage, wie die unter Aspekten des Wasserhaushalts erforderliche intensive Durchwurzelung der Rekultivierungsschicht und der Schutz des Gesamtsystems „Oberflächenabdichtung“ vereinbart werden können.

Untersuchungen zum Wurzelwachstum von Pflanzen (z.B. LEHNHARDT & BRECHTEL 1980, LINERT 1995) zeigen ebenso wie die in Tabelle 1 aufgeführten maximalen Wurzeltiefen, dass die von Deponieverordnung und TASI für Rekultivierungsschichten geforderte Mindestmächtigkeit von einem Meter nicht ausreicht, um ein Einwachsen von Wurzeln in die unter der Rekultivierungsschicht liegenden Dichtungselemente auszuschließen. BRAUNS et al. (1997) empfehlen daher zum Schutz von Entwässerungsschicht und Dichtungssystem unter Wald das Aufbringen einer 2 - 3 m mächtigen Rekultivierungsschicht mit ausreichender Wasserspeicherkapazität und Nährstoffversorgung, um den Anreiz zur Durchwurzelung über die Rekultivierungsschicht hinaus zu unterdrücken. Einen absoluten Schutz vor Tiefendurchwurzelung bieten jedoch selbst diese Schichtstärken nicht, da viele Pflanzen, nicht nur Gehölze, weitaus tiefer wurzeln können (Tabelle 1, Abbildung 1).

Rekultivierungsschichten mit mehr als 2 m Mächtigkeit sind in der Praxis mangels qualitativ geeigneter Materialien und aus Kostengründen meist nicht realisierbar. Da auch solche Schichtdicken keinen absoluten Schutz vor Tiefendurchwurzelung bieten, liegt es nahe, unterhalb der Rekultivierungsschicht eine Wurzelsperre einzubauen, um eine weitergehende Durchwurzelung zu verhindern.

2 Natürliche und technische „Wurzelsperren“

Aus der bodenkundlichen und forstwissenschaftlichen Literatur liegen Erkenntnisse über natürliche Bodeneigenschaften vor, die das Wurzelwachstum limitieren (z.B. KÖSTLER et al. 1968, GLINSKI & LIPIEC 1990). Es stellt sich die Frage, ob und wie solche Bodeneigenschaften in Rekultivierungsschichten hergestellt werden können:

1. In der Natur sind dies vor allem Bodenverdichtungen, die bei feinkörnigen Bodenarten oft mit Sauerstoffmangel im Unterboden verbunden sind. Neben dem mechanischen Hindernis der hohen Lagerungsdichte wirkt somit zusätzlich O_2 -Mangel als physiologische Barriere. Allerdings tritt in solchen Böden häufig Staunässe auf, weil das Niederschlagswasser nur langsam im Untergrund versickern kann.
 - Staunässe Bedingungen durch verdichtetes feinkörniges Bodenmaterial (Lehm, toniger Schluff etc.) sollten in Rekultivierungsschichten jedoch aus Gründen der Standsicherheit nicht hergestellt werden, denn es besteht die Gefahr, dass sich Gleitflugen ausbilden, die zu Rutschungen führen.
2. Bodenhorizonte mit sehr ungünstigen chemischen Eigenschaften wie extrem hohen oder niedrigen pH-Werten oder hohen Konzentrationen phytotoxischer Stoffe werden nicht oder kaum durchwurzelt.
 - Die Mehrzahl solcher Bedingungen kann jedoch nicht oder nicht mit vertretbarem Aufwand technisch hergestellt und langfristig aufrecht erhalten werden.
3. Verfestigungen des Bodes durch das Ausfällen von Kittsubstanzen wie Kalk oder Eisenoxide setzen den Pflanzenwurzeln einen großen mechanischen Widerstand entgegen. Solche Verfestigungen können weniger perkolationshemmend sein als die darüber oder darunter liegenden Bodenhorizonte (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992).
 - Verfestigungen sind jedoch reversibel. Sie können im Zug der Bodenentwicklung oder bei Veränderungen der Standortbedingungen wieder aufgelöst werden.
4. Auch verdichteter Sand behindert das Wurzelwachstum von Bäumen massiv, da die Anordnung der Sandkörner nur mit erheblichem Druck verschoben werden kann (KÖSTLER et al. 1968).

5. Bodenschichten mit sehr geringen Nährstoffgehalten und wenig pflanzenverfügbarem Bodenwasser bieten keinen Anreiz zur Durchwurzelung.
 - Solche Horizonte können jedoch nur dann eine gewisse Sperrfunktion erfüllen, wenn die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen aus dem darüber liegenden Boden gedeckt wird, so dass kein Anreiz zum Tiefwurzeln besteht.
6. Ein sogenannter „Körnungssprung“, ein abrupter Wechsel der Bodenart, behindert meist ebenfalls das Wurzelwachstum. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn das unterliegende Substrat ungünstige Bodeneigenschaften besitzt, z.B. ein nährstoffarmer Kies oder Sand unter nährstoffreicherem Lehm. So belegen Untersuchungen in Deichen mit Kieskern (BLW 1990), dass Kiesschichten das Wurzelwachstum stark hemmen konnten, wenn darüber ausreichender Wurzelraum zur Verfügung stand.
 - Als absolute Wurzelsperre kann ein solcher Körnungssprung jedoch nicht wirken.

Technische Wurzelsperren bilden diese natürlichen ungünstigen Bodenbedingungen nach. Sie müssen im Allgemeinen folgende Eigenschaften besitzen:

- Sie müssen das Wurzelwachstum dauerhaft aufhalten oder zumindest stark begrenzen.
- Sie dürfen die Standsicherheit der Oberflächenabdichtung nicht kritisch herabsetzen.
- Sie dürfen keine nachteiligen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Rekultivierungsschicht und die Funktion der Entwässerungsschicht haben.

Das Verdichten bindiger Bodenarten (z.B. Lehme, Tone) kommt deshalb nicht als Wurzelsperre in Frage, da die Wasserdurchlässigkeit vermindert wird und deshalb ein Wasseraufstau in der Rekultivierungsschicht zu erwarten ist. Außerdem bilden sich beim Austrocknen dieser Substrate Schrumpfrisse, die relativ gut durchwurzelt werden.
- Die zur Herstellung der Barrieren verwendeten Materialien sollten allgemein verfügbar sein. Die Wurzelsperren müssen mit den üblichen Verfahren der Baupraxis mit vertretbaren Baukosten herzustellen sein.

3 Versuchsanlage und Methode

Die Versuchsanlage zur Prüfung der Wurzelsperren wurde auf dem Freigelände des Instituts für Landespflege in Freiburg eingerichtet. Jede Wurzelsperre wird in einem 6 m² großen Versuchsfeld geprüft. Die Felder sind analog dem Regelaufbau nach TASI aufgebaut, jedoch ohne Dichtung. Zwischen Rekultivierungs- und Entwässerungsschicht wurden die Wurzelsperren eingesetzt (Abbildung 3). Ausgehend von den zuvor beschriebenen allgemeinen Erkenntnissen wurden vier Wurzelsperrmaterialien als erfolgversprechend erachtet und in die Testfelder eingebaut:

1. **Wurzelsperrmatte** aus gelochter Kupferfolie:

Prinzip: Die Wirkung der Wurzelsperrmatte beruht auf der pflanzentoxischen Wirkung von Kupferionen. Das Produkt wurde bereits in einem Laborversuch mit Gräsern (NEURURER 1997a) und in einem 2½-monatigen Freilandversuch mit Gräsern, Kräutern und Sträuchern (NEURURER 1997b) getestet.

Ausführung: Die Matte besteht aus zwei Geotextilschichten mit zwischengelagerter Kupferfolie.² Diese drei Komponenten sind miteinander vernäht, die Matte ist circa 5 mm stark. Um die Wasserdurchlässigkeit sicherzustellen, ist die Kupferfolie mit ca. 1 mm großen Löchern versehen.

² Nach Angaben des Herstellers wurde inzwischen der Aufbau der Wurzelsperrmatte um eine Trägerfolie zum Schutz der Kupferschicht ergänzt.

2. Dränbeton:

Prinzip: Dränbeton besteht aus Kies grober Körnung, Zement und Wasser. Die Kieskörner werden durch eine Zementhülle miteinander verkittet. Im Gegensatz zu konventionellem Beton entfällt jedoch der Sandanteil, so dass die Hohlräume, Haufwerksporen genannt, nicht ausgefüllt werden. Hierdurch bleibt der Dränbeton wasserdurchlässig. Er setzt den Pflanzenwurzeln partiell mechanischen Widerstand entgegen und bietet durch fehlende Wasser- und Nährstoffgehalte keinen Anreiz zur Durchwurzelung. Nach DRINKGERN (1999) wurde bisher nicht beobachtet, dass Wurzeln in Dränbeton eindringen.

Ausführung: Der Einbau der 30 cm mächtigen Dränbetonschicht, bestehend aus Kies der Körnungen 8/16 und 16/32, 170 kg/m³ Zement (90 CEM I 32,5 R) und 70 kg/m³ Wasser in das Versuchsfeld erfolgte unverdichtet, um seine Wasserdurchlässigkeit nicht zu verringern.³

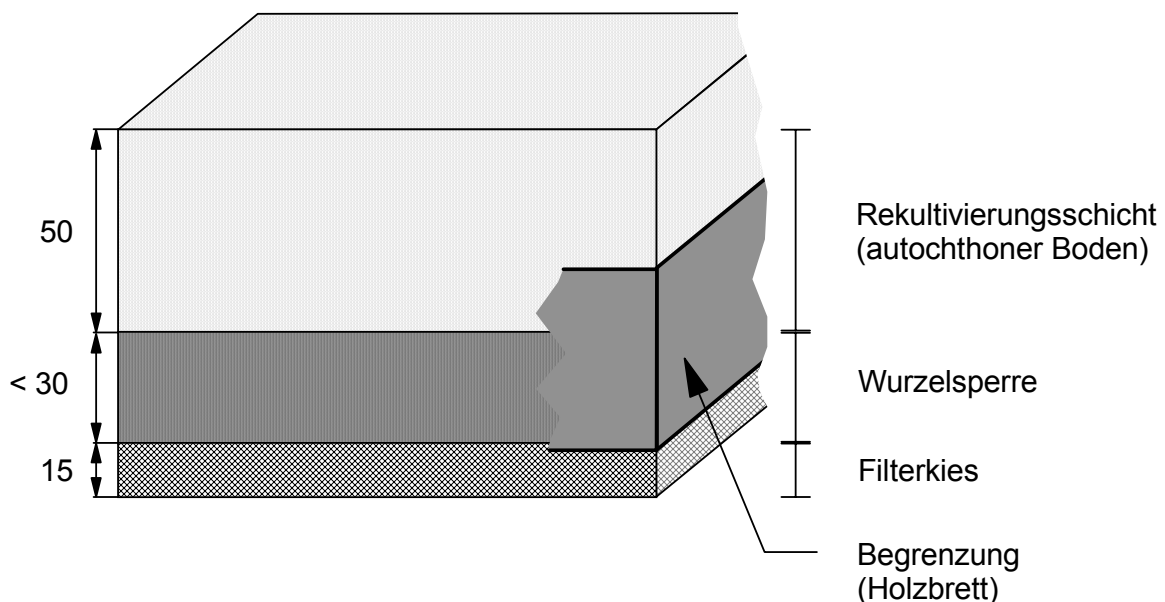


Abbildung 3: Schnitt durch ein Wurzelsperrentestfeld, Maßangaben in cm

3. verdichteter Sand:

Prinzip: Verdichteter reiner Sand wirkt wurzelhemmend, indem er den vordringenden Pflanzenwurzeln einen mechanischen Widerstand entgegensetzt. Er ist sehr nährstoffarm und besitzt eine niedrige nutzbare Wasserspeicherkapazität von 10 - 15 Vol-%.

Ausführung: Eine insgesamt 30 cm starke Schicht Betonsand der Körnung (0/8) wurde beim Einbau in 3 Lagen von jeweils 10 cm Stärke mit dem Vibrationsplattenrüttler verdichtet. Die Trockenraumdichte beträgt im Mittel 1,56 g/cm³.

4. verdichteter Recycling-Glassplitt:

Prinzip: Das Substrat wird durch Schreddern von Altglas gewonnen. Es enthält neben Glas geringe Anteile von Papier, z.B. von Flaschenetiketten. Das Material kann aufgrund seiner Korngröße praktisch kein Wasser speichern und ist auf Dauer nährstofffrei, denn auch durch Verwitterungsprozesse werden fast keine Nähr- oder Schadstoffe eluiert (ZIMMERMANN o.J.). So setzt es den Wurzeln einen mechanischen Widerstand entgegen

³ Nach dem Einbau des Betons stellte sich heraus, dass der Zementanteil niedriger gewählt werden sollte, um die Wasserdurchlässigkeit zu verbessern.

und bietet keine Anreize zur Durchwurzelung. Weiterhin kommt auch der Effekt des „Körnungssprunges“ (siehe oben) zum Tragen.

Ausführung: 30 cm Recycling-Glassplitt (Körnung 0/8) wurden beim Einbau in 3 Lagen zu jeweils 10 cm mit dem Vibrationsplattenrüttler verdichtet. Der Glassplitt ließ sich nur wenig verdichten, da er eine ziemlich einheitliche Körnung aufweist.

Die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht in den Versuchsfeldern beträgt lediglich 50 cm, um die Durchwurzelung bis zur Wurzelsperre zu beschleunigen. Als Rekultivierungssubstrat wurde der anstehende Boden verwendet. Es handelt sich um einen lehmigen Sand mit einem 20 cm mächtigen humosen Oberboden. Die Entwässerungsschicht besteht aus 15 cm Filterkies der Körnung 16/32. Nur unter der Wurzelsperre wurden 40 cm Filterkies sowie 5 cm Sand als Auflager eingebaut, um die unterschiedlichen Materialstärken der mineralischen Wurzelsperren (30 cm) und der Matte (< 1 cm) auszugleichen. Als seitliche Begrenzung der Versuchsfelder wurden Holzbretter eingebaut, um das horizontale Einwachsen von Wurzeln aus der Umgebung oder benachbarten Feldern zu unterbinden.

Die Versuchsfelder wurden in zwei Schritten bepflanzt: Nach Abschluss der Erdarbeiten im April 2000 wurde Ölrettich (*Raphanus sativus* ssp. *oleiferus*) eingesät. In jedes Feld wurden zusätzlich zwei Heister der Zitterpappel (*Populus tremula*) gepflanzt, um später die Wirkung von Gehölzwurzeln zu untersuchen. Der in der Umgebung der Versuchsfelder vorkommende Ampfer (*Rumex obtusifolius*) ist als tiefwurzelnde Art mit kräftiger Pfahlwurzel bekannt (KUTSCHERA & LICHTENEGGER 1992). Deshalb wurde im Oktober 2000 aus einem angrenzenden Wiesengelände Ampfer in die Testfelder verpflanzt.

Der Standort der Versuchsanlage ist mit einem mittleren Niederschlag von circa 930 mm/a sehr gut wasserversorgt, die reale Verdunstung ist relativ niedrig, so dass der Boden nicht tief austrocknet. Es ist somit kein starker Anreiz für eine tiefe Durchwurzelung gegeben.

Die nachfolgend vorgestellten Ergebnisse wurden bei Aufgrabungen circa zwei Jahre nach dem Bau der Wurzelsperren im Dezember 2001 und Mai 2002 (siehe auch WATTENDORF & EHRMANN 2002) sowie weitere vier Jahre später im September 2006 gewonnen.

4 Ergebnisse: Wirkung der Wurzelsperren

4.1 Aufgrabung 2001/2002

Um die Wirkung der vier Wurzelsperrenvarianten zu prüfen, wurde im Dezember 2001 und im Mai 2002 der Übergangsbereich zwischen Boden und Wurzelsperre in jeweils einer Schürfgrube pro Versuchsfeld freigelegt. Danach konnten auf Teilflächen alle Wurzeln, die die Bodenüberdeckung in ihrer ganzen Tiefe durchdrungen und die Wurzelsperre erreicht hatten, freipräpariert werden. Es wurde geprüft, ob die Sperre Wurzeln in ihrem Tiefenwachstum ablenkte oder ob Wurzeln in die Sperre einwachsen konnten. Bei den Varianten *Sand* und *Glassplitt* wurde zusätzlich in Tiefenprofilen untersucht, wie tief die Wurzeln bereits in die Sperre vorgedrungen waren. Die Kupfermatte wurde an Stellen, wo Wurzeln von oben in das umhüllende Geotextil eingewachsen waren, mit einer Schere ausgeschnitten, um festzustellen, ob die Wurzeln auch die Kupferfolie und das darunter liegende Geotextil überwunden hatten. Nur in diesem Fall wurde die Sperre als vollständig durchwurzelt bezeichnet.

Die meisten der freigelegten Wurzeln sind mit unter 2 mm Durchmesser den Feinwurzeln zuzurechnen (AKS 1996). Abbildung 4 zeigt die Relation von eingedrungenen und nicht eingedrungenen Wurzeln in den vier Varianten der Wurzelsperren. Es wird deutlich, dass keine der getesteten Wurzelsperren völlig frei von eingewachsenen Wurzeln war. Allerdings

unterscheiden sich die Sperren deutlich in ihrer Wirksamkeit. Während in die Variante *Sand, verdichtet* nur ca. 24 % der gefundenen Wurzeln eindringen konnten, sind es bei der *Glassplitt*-Variante über 57 %. In die *Dränbeton*-Sperre konnte fast die Hälfte (47 %) der Wurzeln einwachsen. Die Wurzelsperre aus gelochter Kupferfolie konnten circa 45 % der sie erreichenden Wurzeln durchwachsen. Hierbei wurde eine Reihe von Wurzeln beobachtet, die eine längere Strecke auf dem oberen Geotextil entlangwuchsen, ohne in die Kupfermatte einzudringen. Andere Wurzeln konnten die Sperrschicht durchdringen, nachdem sie einige Zentimeter auf dem oberen Geotextil der Matte entlang gewachsen waren. Bei der Untersuchung der gelochten Kupferfolie war nicht zu erkennen, warum bestimmte Stellen durchwachsen wurden, denn makroskopisch waren keine Beschädigungen festzustellen. Die gesamte Kupfermatte wies jedoch eine Vielzahl kleiner Risse auf.

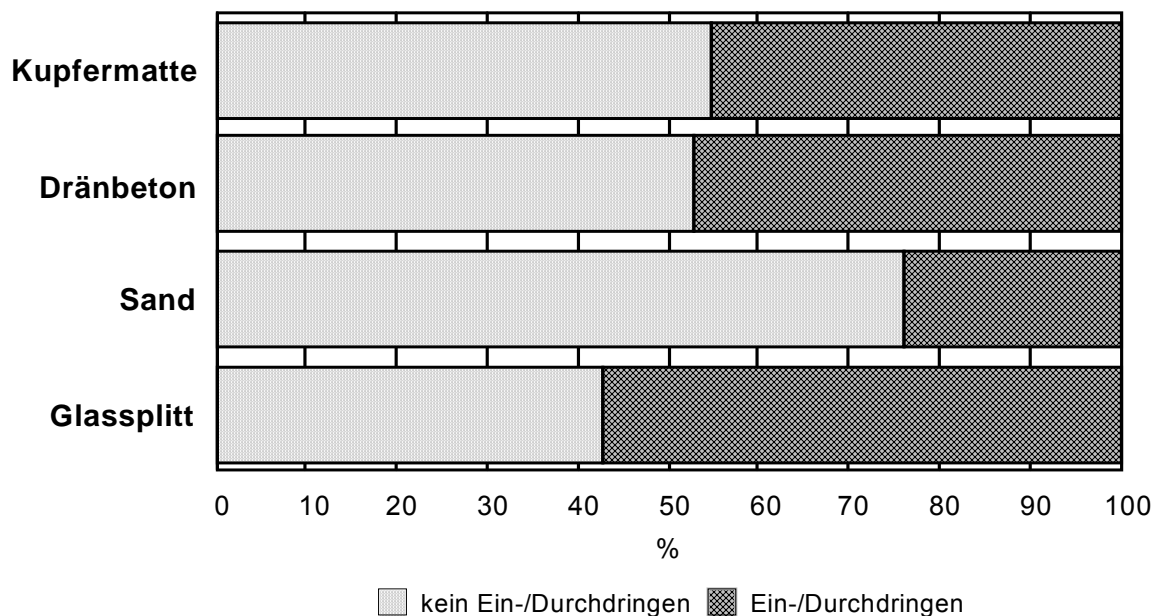


Abbildung 4: Durchwurzelung der vier Wurzelsperrenvarianten im Winter 2001/Frühling 2002, Anteile in % (n jeweils ≥ 20)

In den Varianten *Sand* und *Glassplitt* konnte aufgrund der Materialeigenschaften nicht nur die Anzahl eindringender Wurzeln, sondern zusätzlich in Tiefenprofilen auch die Eindringtiefe ermittelt werden. Hierzu wurden die Wurzelsperren auf einer Breite von jeweils ca. 50 cm bis zur maximalen Durchwurzelungstiefe angeschnitten und alle eingedrungenen Wurzeln bis zur Spitze freigelegt.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchungen. Die bereits in Abbildung 4 dargestellten Tendenzen werden bestätigt. Mehr als 2/3 der Wurzeln konnten in die *Glassplitt*-Variante einwachsen, einzelne Wurzeln bereits bis über 150 mm tief, d.h. mehr als zur Hälfte ihrer Mächtigkeit. Im verdichteten Sand waren im Gegensatz dazu nur Wurzeltiefen bis höchstens 30 mm festzustellen. Auch die Zahl der an der Sperreroberfläche verbleibenden Wurzeln (66,7 %) war beim Sand deutlich größer. An den untersuchten Stellen wurden die 30 cm mächtigen Sperrschichten aus Sand und Glassplitt im Mai 2002 demnach nirgends von Wurzeln vollständig durchwachsen.

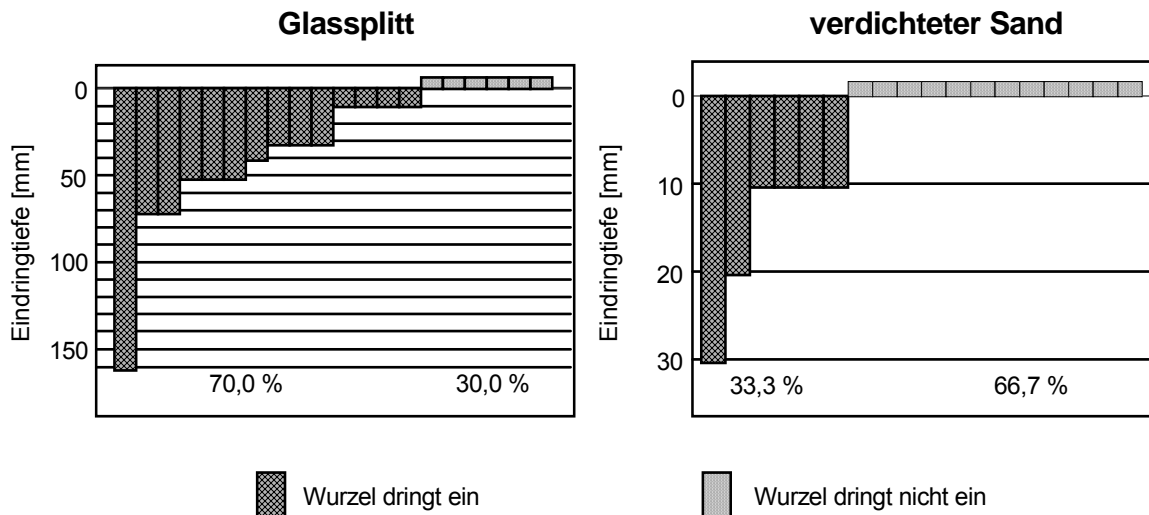


Abbildung 5: Anzahl eindringender und abgelenkter Pflanzenwurzeln und Eindringtiefe der Wurzeln in je ein Profil der Wurzelsperrenvarianten „Glassplitt“ (links) und „verdichteter Sand“ (rechts), Winter 2001/Frühling 2002; die Grafiken sind unterschiedlich skaliert.

4.2 Herbst 2006

Im September 2006 wurden die Unterseiten der drei mineralischen Wurzelsperrenvarianten Sand, Glassplitt und Dränbeton freigelegt, um zu prüfen, ob bereits Wurzeln durch die Sperren gedrungen waren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 zu sehen.

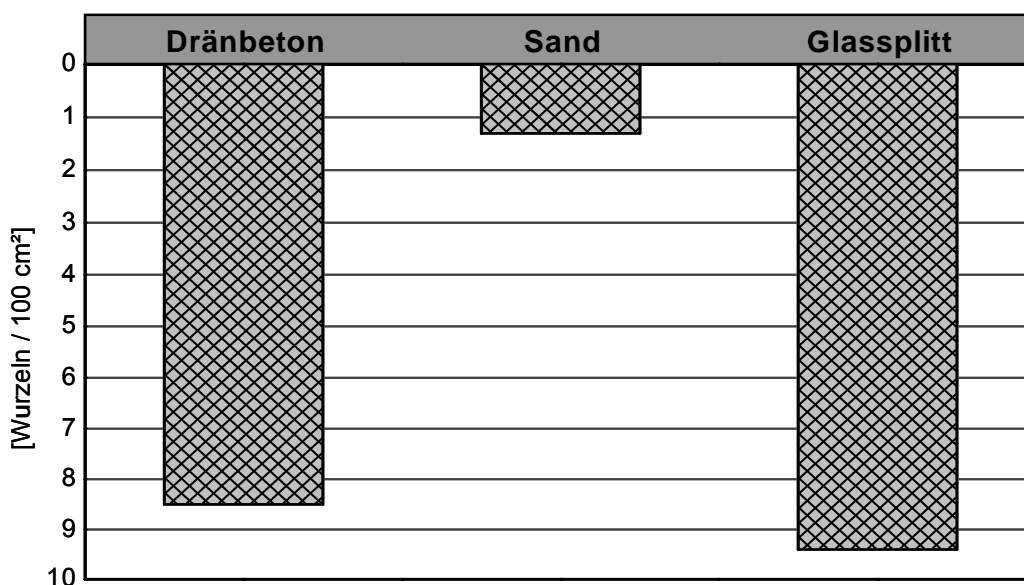


Abbildung 6: Anzahl [\emptyset Wurzeln/100 cm³] der Feinwurzeln unterhalb der Wurzelsperrenvarianten im September 2006

Es zeigte sich, dass aus den Unterseiten jeder der drei mineralischen Wurzelsperrenvarianten bereits Wurzeln austraten und in die Kiesschicht weiterführten. Die Sperren waren also vollständig durchwurzelt worden. Alle an der Unterseite der Sperren gefundenen Wurzeln sind Feinwurzeln mit einem Durchmesser unter 2 mm.

Allerdings waren deutliche Unterschiede in der Anzahl der durchgedrungenen Wurzeln festzustellen (Abbildung 6), während die Varianten *Dränbeton* und *Glassplitt* von 8,5 beziehungsweise 9,4 Wurzeln/100 cm² Fläche durchdringen konnten, waren es beim *verdichteten Sand* nur durchschnittlich 1,3 Wurzeln/100 cm³.

5 Fazit: Wurzelsperren?

Die Ergebnisse der Durchwurzelungsversuche legen den Schluss nahe, dass die vier getesteten Materialvarianten *Kupfermatte*, *Dränbeton*, *verdichteter Sand* und *Glassplitt* nur eingeschränkt als Wurzelsperren geeignet sind. Alle Varianten weisen zwar einen Teil der Wurzeln ab, in jede Sperre konnten jedoch schon innerhalb von zwei Jahren Wurzeln eindringen. Aufgrund ihrer geringen Dicke entspricht das Eindringen von Wurzeln in die Kupfer-Spermatte bereits einer vollständigen Durchdringung. Nach weiteren vier Jahren, also circa sechseinhalb Jahre nach Anlage der Testfelder zeigt sich, dass auch die im Versuch 30 cm mächtigen Varianten *Sand*, *Drainbeton* und *Glassplitt* zumindest von Feinwurzeln vollständig durchdrungen werden.

Keine der vier Wurzelsperren kann demnach uneingeschränkt empfohlen werden. Unter den gegebenen Bedingungen erscheint die Variante *verdichteter Sand* noch am geeignetsten, denn sie wird mit Abstand am wenigsten von den Wurzeln angegriffen und durchwachsen.

Diese Ergebnisse unterstreichen weiterhin die Bedeutung einer mächtigen Rekultivierungsschicht mit günstigen Bodeneigenschaften, um den Wurzelldruck auf tiefer liegende Elemente der Oberflächenabdichtung zu vermindern. Wenn Wald auf einer Oberflächenabdichtung entstehen soll, müssen unseres Erachtens zur Dimensionierung der Rekultivierungsschicht zumindest die Erkenntnisse über die Tiefenausdehnung der bei Windwurf ausgehebelten Wurzelballen (z.B. EICHHORN 1992, ALDINGER et al. 1996) berücksichtigt werden, zuzüglich eines „Sicherheitszuschlags“ von beispielsweise 0,5 m.

6 Literatur

- ALDINGER, E., D. SEEMANN & V. KONNERT (1996): Wurzeluntersuchungen auf Sturmwurf-
flächen 1990 in Baden-Württemberg, Mitt. Ver. Forstl. Standortkunde u. Forst-
pflanzenzüchtung 38: 11 – 24
- AKS = Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (1996):
Forstliche Standortaufnahme, 352 S., Eching
- BRAUNS, J., K. KAST, H. SCHNEIDER, W. KONOLD, P. WATTENDORF & B. LEISNER (1997): Forst-
wirtschaftliche Rekultivierung von Deponien mit TA Siedlungsabfallkonformer
Oberflächenabdichtung, Handbuch Abfall Band 13, 97 S. + Anhang, Karlsruhe
- DOBSON, M.C. & A.J. MOFFAT (1993): The Potential of Woodland Establishment on Landfill
Sites, Department of Environment, The Forestry Authority Research Division, 85
S. London: HMSO
- DRINKGERN, G. (1999): Dränbeton, Schriftenreihe Spezialbetone Band 2: 49 - 68, Düsseldorf
- EICHHORN, J. (1992): Wurzeluntersuchungen an sturmgeworfenen Bäumen in Hessen, Forst
und Holz 47/18: 555 – 559
- FISCHER, P. & E. MEINKEN (1989): Durchwurzelungsfestigkeit von Dachbahnen, Das Garten-
amt 38: 361 - 366

- GLINSKI, J. & J. LIPIEC (1990): Soil Physical Conditions and Plant Roots, Boca Raton, Florida, 250 S.
- KOROTAEV, A. A. (1992): Bodenverdichtung und Wurzelwachstum der Bäume, Forstarchiv 63, 116 – 119
- KUTSCHERA, L. & E. LICHTENEGGER (1992): Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen, Band 2, 851 S., Stuttgart, Jena und New York
- KUTSCHERA, L. & E. LICHTENEGGER (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher, 604 S., Graz und Stuttgart
- LINERT, U. (1995): Verhalten von Pflanzenwurzeln in Oberflächenabdichtungssystemen, In: EGLOFFSTEIN, Th & BURKHARDT, G.: Oberflächenabdichtungen für Deponien und Altlasten - Abdichtung oder Abdeckung?, Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 37, 15 S.
- MELCHIOR, S. (1993): Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten, Hamburger bodenkundliche Arbeiten Band 22, 330 S.
- NEURURER, H. (1997a): Prüfung der Linteco-Wurzelschutzmatte, unv. Gutachten, 3 S. + Anhang, Wien
- NEURURER, H. (1997b): Prüfung der Linteco-Wurzelschutzmatte im Freien, unv. Gutachten, 4 S. + Anhang, Wien
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1992): Lehrbuch der Bodenkunde, 491 S., Stuttgart
- WATTENDORF, P. & O. EHRMANN (2002): Erprobung von Wurzelsperren zum Schutz von Drainage- und Abdichtungsschichten vor Durchwurzelung, in: EGLOFFSTEIN, T., G. BURKHARDT & K. CZURDA [Hrsg.]: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 125: 257 - 272, Berlin
- WATTENDORF, P., W. KONOLD & O. EHRMANN [Hrsg.] (2005): Rekultivierungsschichten und Wurzelsperren, Culterra Band 41, 268 S., Freiburg
- WATTENDORF, P. & O. EHRMANN (2006): Eigenschaften von Rekultivierungsschichten – Ergebnisse aus Messungen und Wasserhaushaltsmodellierungen, in: EGLOFFSTEIN, T., G. BURKHARDT & K. CZURDA [Hrsg.]: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 140: 221 - 238, Berlin
- ZIMMERMANN, P. (o.J.): Bauen mit Altglas, Produktbeschreibung Recycling-Glassplitt incl. Gutachten der Bundesanstalt für Straßenwesen und DEKRA ETS GmbH, unveröffentlichter Bericht, 6 S. + Anhang, Bad Säckingen

Anschriften der Autoren:



Dr. Peter Wattendorf

Institut für Landespflege
Albert-Ludwigs-Universität
Tennenbacher Str. 4

79108 Freiburg

peter.wattendorf@landespflege.uni-freiburg.de

www.landespflege-freiburg.de

BÜRO FÜR BODENMIKROMORPHOLOGIE UND BODENBIOLOGIE

Dr. Otto Ehrmann

Münster 12

97993 Creglingen

otto.ehrmann@gmx.de