

# Bodenschutz beim Bauen



**Bundesamt für Umwelt, Wald  
und Landschaft (BUWAL)**



# Bodenschutz beim Bauen



**Bundesamt für Umwelt, Wald  
und Landschaft (BUWAL)**

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Literaturhinweise mit Bezugsadressen</b>	<b>6</b>
<b>Einleitung</b>	<b>8</b>

## **Praktische Anleitungen**

<b>Teil 0: Bodenkundliche Baubegleitung</b>	<b>11</b>
<b>Teil 1: Ausgangszustand</b>	<b>12</b>
<b>Teil 2: Bodenabtrag</b>	<b>16</b>
<b>Teil 3: Zwischenlagerung</b>	<b>22</b>
<b>Teil 4: Wiederherstellung</b>	<b>27</b>
<b>Teil 5: Folgebewirtschaftung</b>	<b>32</b>
<b>Teil 6: Befahren des Bodens</b>	<b>37</b>

## **Erläuterungen zum Thema Boden**

<b>Kap. 1 Bodenfruchtbarkeit</b>	<b>41</b>
<b>Kap. 2 Bodenleben</b>	<b>42</b>
2.1 Grenzbereich Boden/Pflanze	42
2.2 Einteilung und Kurzbeschreibung nach Größenordnung	43
2.3 Der Regenwurm	46
<b>Kap. 3 Bodentyp</b>	<b>48</b>
3.1 Durchlässige Böden	48
3.2 Staunasse Böden	49
3.3 Grundnasse Böden	49
3.4 Überflutete Böden	49
3.5 Organische Nassböden	50

<b>Kap. 4 Bodenart</b>	<b>51</b>	<b>Teil 0</b>
4.1 Ton	52	
4.2 Schluff	53	
4.3 Sand	54	
<b>Kap. 5 Bodenstruktur</b>	<b>56</b>	<b>Teil 1</b>
5.1 Primärstruktur (= Struktur im engeren Sinne)	56	
5.2 Sekundärstruktur (= Gefüge)	57	
<b>Kap. 6 Bodendichte und Porenvolumen</b>	<b>60</b>	<b>Teil 2</b>
6.1 Scheinbare und reelle Dichte	60	
6.2 Poren (Hohlräume) und ihre Verteilung im Bodenkörper	61	
6.3 Porengrößen, Wasser- und Lufthaushalt	63	
<b>Kap. 7 Befahrbarkeit</b>	<b>65</b>	<b>Teil 3</b>
7.1 Wasserleitfähigkeit oder Durchlässigkeit	65	
7.2 Messen der Wasserspannung	66	
7.3 Zusammenhang zwischen Gesamtgewicht, Kontaktfläche und Druckübertragung	67	
7.4 Saugspannung und Maschineneinsatz	67	
<b>Kap. 8 Bodenuntersuchungen</b>	<b>69</b>	<b>Teil 4</b>
8.1 Messen der Wasserdurchlässigkeit	69	
8.2 Messen der Saugspannung	72	
8.3 Messen der scheinbaren Dichte	74	
8.4 Messen des Eindringwiderstandes	76	
8.5 Eindrückliche Feldexperimente	78	
<b>Zitierte Literatur</b>	<b>81</b>	<b>Kap. 1</b>
<b>Bildnachweis</b>	<b>82</b>	<b>Kap. 2</b>
<b>Impressum</b>	<b>83</b>	<b>Kap. 3</b>

**Teil 0****Teil 1****Teil 2****Teil 3****Teil 4****Teil 5****Teil 6****Kap. 1****Kap. 2****Kap. 3****Kap. 4****Kap. 5****Kap. 6****Kap. 7****Kap. 8**

**Max Frisch (aus "Der Mensch erscheint im Holozän", 1981, S. 108)**

**«Boden gibt es  
auch in der Nacht.»**



## **Vorwort**

Beim Bauen werden oft grosse Kubaturen fruchtbaren Bodens ausgehoben, gelagert und später - zum Beispiel - für Rekultivierungen wieder verwendet. Zudem werden vorübergehend auch Böden für Bauinstallationen, -pisten, -depots oder -unterkünfte beansprucht.



Das Umweltschutzgesetz und speziell die Verordnung über Belastungen des Bodens von 1998 verlangen nun, dass Böden und Bodenaushub dabei sehr sorgfältig behandelt werden, damit ihre Fruchtbarkeit erhalten bleibt. Dies kann jedoch nur tun, wer etwas über die Struktur, die Bewohner, die Funktionen und die Verletzlichkeit des Bodens weiß.

Dieser Leitfaden ersetzt und aktualisiert das vergriffene Handbuch «Bodenschutz beim Bauen» von 1996. Er vermittelt grundlegende bodenkundliche Kenntnisse und zeigt in sechs praktischen Anleitungen auf, wie Boden bei Bauarbeiten geschont werden kann. Der Leitfaden ergänzt Normen, Wegleitungen und Richtlinien, die sich mit speziellen Vorhaben (z.B. Kiesabbau, Gasleitungsbau, Straßenbau) befassen. Er hält im Wesentlichen fest, was bei jeder Art von Bauen Gültigkeit hat.

Das Handbuch richtet sich an Bau- und Umweltschutzbehörden, vor allem aber an die im Bau tätigen Unternehmungen.

Wir danken allen herzlich, die zum Gelingen dieser Vollzugshilfe beigetragen haben und die sie in der Praxis anwenden.

Bundesamt für Umwelt,  
Wald und Landschaft

Bruno Oberle  
Vizedirektor

# **Literaturhinweise mit Bezugsadressen**

Diese Auflistung enthält die wichtigsten Referenzen zum stofflichen und physikalischen Bodenschutz.

**Bezugsadresse**  
**[www.admin.ch/edmz](http://www.admin.ch/edmz)**

- Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1993 (rev. Juli 1997), SR 814.01
- Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), 1. Juli 1998, SR 814.12
- Technische Verordnung über Abfälle (TVA), 10. Dezember 1990, SR 814.015
- Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltlV) vom 26. August 1998, SR 814.680

**Bezugsadresse**  
**[www.umwelt-schweiz.ch](http://www.umwelt-schweiz.ch)**

- BUWAL, Erläuterungen zur Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo), Vollzug Umwelt, Bern, 2001
- BUWAL, Wegleitung: Verwertung von ausgehobenem Boden (Bodenaushub), Vollzug Umwelt, Bern, 2001 (ersetzt die VSBo- Mitteilung Nr. 4 von 1993)
- BUWAL, Richtlinie: Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie), Vollzug Umwelt, Bern, 1999
- BUWAL, Bereich Boden, UVP-Mitteilung Nr. 6, Bern, 1991
- BUWAL, Video: Bodenschutz auf der Baustelle, Bern, 1999
- BUWAL & FAL Zürich-Reckenholz, Wegleitung für die Probenahme und Analyse von Schadstoffen im Boden, in Revision

**Bezugsadresse**  
**[www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch)**

- BEW, Richtlinien zum Schutze des Bodens beim Bau unterirdisch verlegter Rohrleitungen (Bodenschutzrichtlinien), Bern, 1997

**Bezugsadresse**  
**[www.vss.ch](http://www.vss.ch)**

- ASTRA, Forschungsbericht Nr. 425, Umgang mit Boden im Tiefbau, Christoph Salm & Stephan Häusler, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute1§e, Zürich, 1999

**Bezugsadresse**  
**[www.admin.ch/sar](http://www.admin.ch/sar)**

- FAL, IUL, RAC & FAW, Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Zürich-Reckenholz, 1997
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden, Schriftenreihe der FAL 24, Zürich-Reckenholz, 1997

**Bezugsadresse**  
**[afu.gr.ch](http://afu.gr.ch)**

- Amt für Umweltschutz des Kantons Graubünden, Praktischer Bodenschutz; Anleitungen für tiefbauliche Eingriffe, Chur, 1997

**Bezugsadresse**  
**[www.be.ch/bve/umnet/index\\_d.html](http://www.be.ch/bve/umnet/index_d.html)**

- Fachkommission Rekultivierung des Kantons Bern, Merkblatt – Bodenkundliche Aufnahme bei Deponien und Materialentnahmestellen, Bern-Zollikofen, 1995

**Bezugsadresse****www.snv.ch**

- SN 640 581a, Erdbau, Boden; Grundlagen, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, Zürich, 1998
- SN 640 582, Erdbau, Boden; Erfassung des Ausgangszustandes, Triage des Bodenaushubes, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, Zürich, 1999
- SN 640 583, Erdbau, Boden; Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, Zürich, 2000

Die im folgenden Text zitierte Literatur ist mit Ziffern in Klammern angegeben und findet sich im Anhang.

**Bezugsadresse****www.fsk.ch**

- Schweizerischer Fachverband für Sand und Kies, Kulturland und Kiesabbau; Richtlinie für den fachgerechten Umgang mit Böden, FSK-Rekultivierungsrichtlinie, Bern, 2001

**Bezugsadresse****www.umweltschutz.ch**

- Praktischer Umweltschutz Schweiz & Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Bodenschutz in der Gemeinde: 9 Aktionsfelder, Zürich, 2000

**Bezugsadresse****www.soil.ch**

- Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Physikalischer Bodenschutz: Konzept zur Umsetzung der rechtlichen Vorgaben im Umweltschutzgesetz (USG) und in der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), BGS-Dokument 9, Dietikon, 1999

# Einleitung

Dieser Leitfaden ist eine Hilfe zur Umsetzung der Artikel 6 und 7 der Verordnung vom 1 Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo, 7\*).

Er befasst sich mit dem Schutz von Ober- und Unterboden (vgl. untenstehende Abbildung) bei baulichen Eingriffen.

## BEGRIFFE

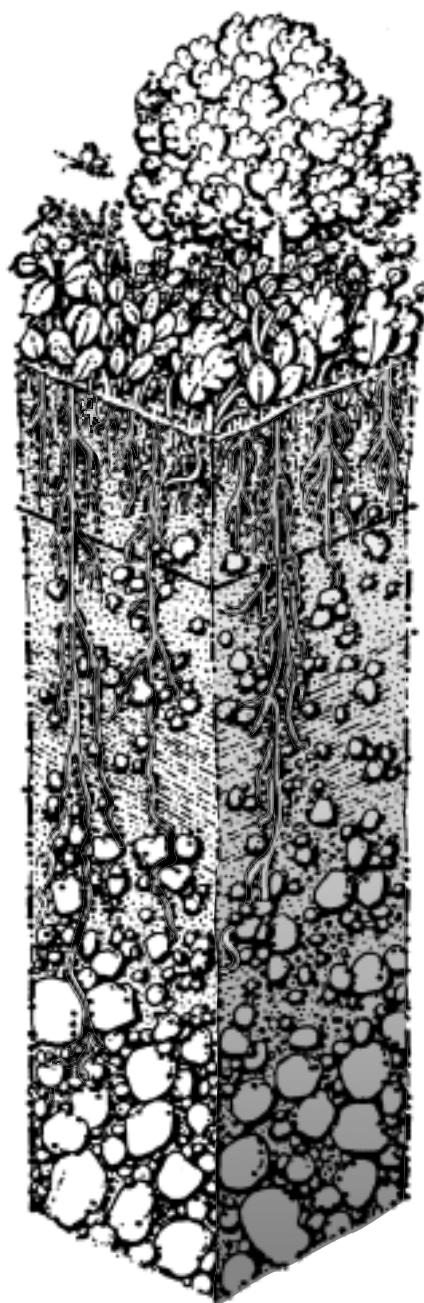
### Bodenkunde/Pedologie

### Bodenprofil

**Horizont A = Oberboden**  
mit bis zu 30% organischer Substanz

**Horizont B = Unterboden;**  
hat ein entwickeltes Bodengefüge und ist biologisch aktiv; geringerer Humusgehalt und weniger Pflanzenwurzeln als im Horizont A

**Horizont C = Untergrund (Ausgangsmaterial),**  
nicht oder sehr spärlich durchwurzelt, besteht aus Lockersediment oder aus Fels



### Qualitativer Bodenschutz

#### gewachsener Boden

**Oberboden (in der Regel Mächtigkeiten von 5 bis 30 cm)**

#### Unterboden

**Durchwurzelungsgrenze = Grenze zwischen Boden und Untergrund gemäss USG (8)**

### Boden gemäss USG (8)

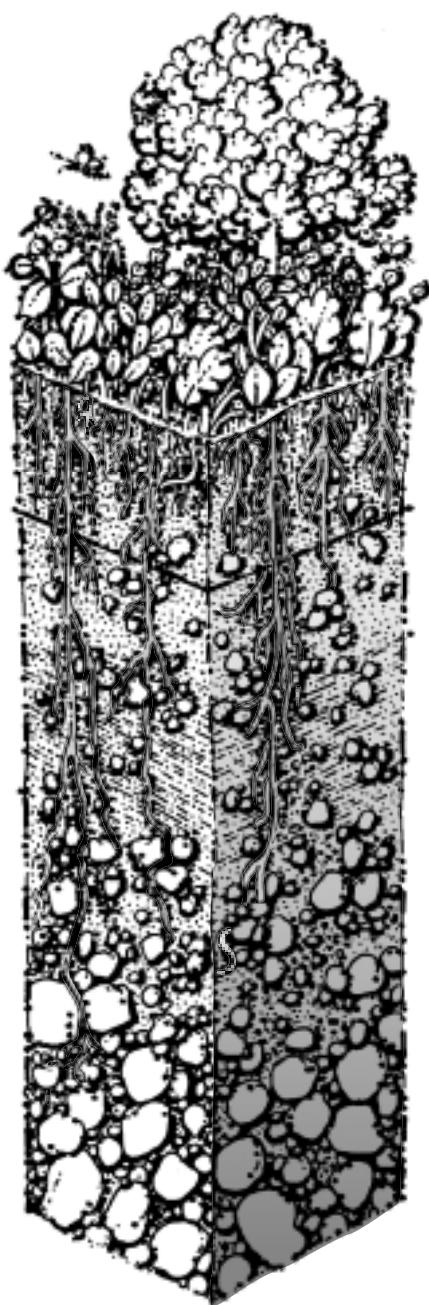
Schematische Darstellung eines Bodenprofils und Anwendungsbereiche verschiedener Publikationen (\*vgl. Literaturverzeichnis Seite 81)

Er besteht einerseits aus konkreten praktischen Anleitungen zum Schutze des Bodens in allen Bauphasen von der Planung über den Eingriff bis zur Abnahme (Teile 0 bis 6) und

andererseits aus Erläuterungen und Informationen zum Thema Boden und Bodenkunde (Kapitel 1 bis 8).

## Hoch- und Tiefbau, Kulturtechnik

### ausgehobener Boden = Bodenaushub



**Oberboden** (in der Regel Mächtigkeiten von 5 bis 30 cm) Abhumusieren/ Bodenabtrag

ausgehobener Unterboden

(wenn Mächtigkeit und Qualität ausreichend sind, mindestens 50 cm mächtige Schicht abtragen und zwischenlagern)

Aushubmaterial

**Bodenaushub Wegleitung (2)**

Die Untergrenze des Bodenaushubes hängt von den Wiederverwertungszielen ab (Bodenmächtigkeit nach Wiederherstellung)

**Aushub** gemäss Aushubrichtlinie (9)

Anwendungsbereich dieses Leitfadens

Schematische Darstellung eines Bodenprofils und Anwendungsbereiche verschiedener Publikationen (vgl. Literaturverzeichnis Seite 81)

**Teile 0 - 6**

# **Praktische Anleitungen**



# Bodenkundliche Baubegleitung

Die Erdarbeiten auf Grossbaustellen, die einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterliegen, werden heute von anerkannten Bodenfachleuten begleitet. Diese bodenkundliche Baubegleitung (BBB) nimmt dabei eine treu-

händerische Funktion zum Schutz des Bodens wahr.

Das Pflichtenheft der BBB sieht in der Regel wie folgt aus:

Phase 1: Planung und Projektierung	Phase 2: Bau und Eingriff	Phase 3: Wiederherstellung und Abnahme
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodenschutzmassnahmen: Vorschläge zum Schutz verdichtungsempfindlicher Böden, Massnahmenpläne und Projektanpassungen oder -änderungen.</li> <li>- Mitarbeit bei Arbeitsvergabe: Vorgaben zu Maschinenlisten, Verfahren, Zeitplänen, Schlechtwetterregelungen und Baueinstellungen.</li> <li>- Materialmanagement: Planung der Triage des Bodenaushubes, der Materialflüsse und der Zwischenlager.</li> <li>- Orientierung der betroffenen Eigentümer und Bewirtschafter im Hinblick auf die vorgängige Begrünung offener Ackerflächen im Baubereich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Information der Bauleute über den Bodenschutz und die resultierenden Massnahmen auf der Baustelle (s. Teil 6).</li> <li>- Beratung der Bauleitung in allen Fragen des Bodenschutzes: Ausscheidung genügender und geeigneter Flächen für Zwischenlager (s. Teil 3) sicherstellen, Vor-Ort-Begleitung des Bodenabtrages, Formulierung der Bauvorgaben und Anordnung allfälliger Schutzmassnahmen.</li> <li>- Teilnahme an allen bodenrelevanten Bausitzungen, selbständige Beobachtung des Zeitplanes, Präsenz und vorausschauende Kontrolle in bodenrelevanten Phasen des Bauablaufes.</li> <li>- Information der kantonalen Bodenschutzfachstellen über den Bauablauf und die Einhaltung der Massnahmen während des Baus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Begleitung der Rekultivierung unter Beachtung der zulässigen Saugspannungen (s. Teile 2 und 6).</li> <li>- Abnahme der wieder aufgebauten Böden (Werkabnahme), zusammen mit Vertretern der Unternehmung, der Bauherrschaft und der Landeigentümer/Bewirtschafter mit Abnahmeprotokoll (s. Teil 4).</li> <li>- Begleitung von Massnahmen zur Schadensbehebung (allfällige Tiefenlockerung, Drainagen etc.).</li> <li>- Aufklärung der Bewirtschafter über die korrekte Folgebewirtschaftung zur Restrukturierung der wieder aufgebauten Böden (s. Teil 5).</li> <li>- Schlussabnahme der Flächen, Vergleich des Erreichten mit dem Ausgangszustand (Spatenprobe, s. Teil 5) und Freigabe zur normalen Nutzung.</li> </ul>

## Pflichtenheft der bodenkundlichen Baubegleitung (6)

Ein dem Projektumfang angepasstes Pflichtenheft kann auch bei kleineren, nicht UVP-pflichtigen Projekten verwendet werden.

# Ausgangszustand

## Vorschriften, Methoden

### Teil 1

Die Aufnahme des Ausgangszustandes ist für Projekte, die der Umweltverträglichkeitsprüfung unterstellt sind, obligatorisch.

### Längerfristige Eingriffe

(Kategorie A)

Für längerfristige, eher flächige Eingriffe, bei welchen Bodenaushub in der Regel für ein oder mehrere Jahre zwischengelagert und später separat rekultiviert wird (Beispiele: Kies- und Felsabbau, Tagbautunnel und andere Grossbaustellen), wird die detaillierte Bodenkartierung gemäss der "Methode Reckenholz" (1), angewendet.

### Kurzfristige Eingriffe

(Kategorie B)

Für kurzfristige Eingriffe, in der Regel bei Liniенbaustellen, ist die flächenmässige Darstellung nicht zweckmässig. Hier wird der Baustreifen kartiert. Die Ergebnisse der Kartierung werden auf den Streckenplänen in die vorgefundene, pedologisch übereinstimmenden Abschnitte unterteilt und beschrieben. Die verwendeten Hilfsmittel und Beurteilungskriterien sind mit denjenigen der flächigen Kartierung identisch.

### Belastete Böden

(Zusatzuntersuchung)

Wird Boden ausgehoben, ist die BUWAL-Wegleitung "Verwertung von ausgehobenem Bo-

Vorhaben	Massnahmen	Flächen-kartierung	Strecken-kartierung	Spatenprobe (Vergleich)	Boden-analysen*	Physikalische Messungen**
Grossbaustellen (Strasse/Bahn)						
Abbaustätten (Kies, Fels, Ton)						
Deponien und Auffüllungen						
Erdverlegte Leitungen						
Wiederherstellung						
Grosse Geländeanpassungen						
Feststellung von Altschäden						
Bewirtschaftungsschäden						
Zufuhr von Boden/Substraten						
Abfuhr von Bodenmaterial						

- \* Schadstoffe, Körnung, organische Substanz
- \*\* Lagerungsdichte, Vorbelastung etc.

Übersicht über die Verfahren bei der Erfassung des Ausgangszustandes (4)

#### Legende:

 Die Aufnahme des Ausgangszustandes bzw. eines Ist - Zustandes ist in der Regel bereits im Rahmen eines UVP/PGV gefordert oder kann zum Beispiel für die Beweissicherung verlangt werden.

 Diese Massnahmen sind als Ergänzung, zu einer gesamthaft besseren Bewertung, als gängige Methode zur Beweissicherung oder als Vergleichsmöglichkeit empfehlenswert.

den“ (2) zu beachten. Der Bodenaushub ist bei Verdacht auf seine Schadstoffbelastung zu untersuchen. Liegt eine Belastung vor, entscheidet die kantonale Bodenschutzfachstelle über das weitere Vorgehen. Für Kategorie A ist diese Untersuchung Bestandteil der Erfassung des Ausgangszustandes.

## **Praktisches Vorgehen**

Die Beurteilung des Bodens in die Tiefe, die sog. Bodenansprache, erfolgt in der Regel mit einem Handbohrer (Edelman-Bohrer oder Hohlmeissel) bis in eine Tiefe von etwa einem Meter, sofern nicht Steine die Arbeit bereits in geringerer Tiefe behindern.

An den eigentlichen Aufschlüssen (Profil) wird die detaillierte Beschreibung in Form eines Profilblattes ausgefertigt.

### **Kategorie A**

In Linien (Transekt) wird je nach Gliederung der Landschaft und der zu erwartenden Unterschiede in der Bodenbildung in Abständen von 25-50 Metern eine Bohrprobe entnommen.

Die Farbe der Bodenhorizonte gibt erste Hinweise auf die Entwicklung, die Gründigkeit und die Durchlässigkeit des Bodens.

Mit der Fühlprobe wird die Korngrößenverteilung (Bodenart) bestimmt (3). Gleichzeitig können die Merkmale gestörten Wasser- und Lufthaushaltes festgestellt werden (Vernässung, Rostflecken, Graufärbung und Geruch).

Mit Salzsäure (HCl) kann Kalziumkarbonat festgestellt und mit flüssigem Reagenz oder Teststäbchen die Bodenazidität (pH) anhand einer Farbskala grob gemessen werden.

Auf einer Karte, gebräuchlicherweise im Massstab 1 : 5000, werden die ermittelten Bodentyphen flächig gruppiert als Einheiten festgehalten (4).

Innerhalb einer solchen Einheit wird ein Bodenprofil gegraben. Nur im Profil können Bodenstruktur, Skelettgehalt, Verlagerungsvorgänge und Chemismus, Durchwurzelung, biologische Aktivität (Würmer), Verwitterungstiefe und Horizontgrenzen zuverlässig erkannt, beurteilt und im Profilblatt eingetragen werden. Mischproben aus dem Profil werden für chemisch-physikalische Laboranalysen entnommen (4).

### **Kategorie B**

Für Linienbaustellen (z.B. Gasleitungsbau) werden etwas andere Anforderungen an die Kartierung gestellt. Sie sind in den entsprechenden Richtlinien festgehalten (5).

Als erstes werden bautechnisch relevante äußere Merkmale wie Längs- und Querneigung des Geländes, Rutsche, Wasseraustritte und lokale Vernässungen, auffälliger Skelettgehalt usw., ermittelt.

Mit dem Bohrer wird vor allem die Mächtigkeit des Oberbodens (Tiefe des Abtrages), der Wasserhaushalt (Durchlässigkeit und Abtrocknung), die Verwitterungstiefe (flach- oder tiefgründige Böden) und die Bodenart (Verdichtungsempfindlichkeit) angesprochen.

Die Merkmale werden auf der Streckenkarte abschnittsweise nach baurelevanten Kriterien, Bodenempfindlichkeit und den zu treffenden Schutzmassnahmen unterteilt beschrieben (4, 5).

### **Kategorie A und B**

Die Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit von Böden basiert auf Parametern, die im Rahmen der Bodenkartierung erhoben werden. Die Unterteilung in Empfindlichkeitskategorien sieht wie folgt aus:

**Teil 1**

<b>Bodentyp (vgl. Kap. 3 und 4)</b>	<b>Bodenverdichtungsempfindlichkeit</b>	<b>Belastbarkeit/Befahrbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• organische Böden</li> <li>• häufig bis zur Oberfläche vernässte Böden</li> <li>• selten bis zur Oberfläche porengesättigte, stauwassergeprägte bzw. ton- oder schluffreiche Böden</li> </ul>	extrem empfindlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dauernd verdichtungsgefährdet</li> <li>• schon geringe Auflasten können die Bodenstruktur irreversibel schädigen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• grund- oder hangwassergeprägte, jedoch selten bis zur Oberfläche porengesättigte Böden</li> <li>• stau-, hang- oder grundwasserbeeinflusste Schluffböden mit mehr als 50% Schluff und weniger als 10% Ton</li> </ul>	stark empfindlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nur beschränkt mechanisch belastbar, außer während längerer Trockenperioden</li> <li>• eingeschränkte Maschinenwahl</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• stau-, hang- oder grundwasserbeeinflusste Böden</li> <li>• Schluffböden mit mehr als 50% Schluff und weniger als 10% Ton mit ausgeglichenem Wasser- und Lufthaushalt</li> </ul>	normal empfindlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• während längerer Nassperioden sowie außerhalb der Vegetationszeit nur eingeschränkt mechanisch belastbar</li> <li>• Perioden mit abgetrocknetem Boden sind optimal zu nutzen</li> <li>• erhöhte Sorgfalt beim Befahren nötig</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Böden mit ausgeglichenem Luft- und Wasserhaushalt und stabilem Gefüge (ohne Schluffböden mit mehr als 50% Schluff und weniger als 10% Ton)</li> </ul>	schwach empfindlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nach entsprechender Abtrocknung im allgemeinen gut mechanisch belastbar</li> <li>• übliche Sorgfalt</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Böden mit Skelettanteil von mehr als 50%</li> <li>• kies-/steinreiche Sande, mit weniger als 50% Schluff und weniger als 10% Ton</li> </ul>	kaum empfindlich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaum druckempfindlich</li> <li>• im allgemeinen gut mechanisch belastbar</li> <li>• übliche Sorgfalt</li> </ul>

Tabellarische Darstellung der Bodenverdichtungsempfindlichkeit (4)

Sowohl die Beurteilung (Erfolgskontrolle) einer abgeschlossenen Rekultivierung (z.B. beim Kiesabbau), wie auch die Feststellung bestehender Störungen, etwa Bewirtschaftungsschäden, schlecht unterhaltene Drainagesysteme oder Schäden früherer Eingriffe (z.B. Leitungsbau), können im Sinne einer vorsorglichen Beweisaufnahme verlangt und in die Kartierarbeit einbezogen werden (6).

## **Schadstoffbelastung**

Gemäss VBBo vom 1. Juli 1998 müssen chemische und physikalische Belastungen des Bodens überwacht und beurteilt werden (7). Diese Verordnung stützt sich auf Artikel 29, 33, 35 und 36 des revidierten Bundesgesetzes über den Umweltschutz (USG) vom 7. Oktober 1983 (8).

Mit der Entsorgung des mineralischen Untergrundes (C-Horizont) befasst sich die Aushubrichtlinie (9).

Für die Beurteilung und Verwertung von Bodenaushub (A- und B-Horizont) gilt die BUWAL-Wegleitung "Verwertung von ausgehobenem Boden" (2). Sie ersetzt die bekannte Mitteilung Nr. 4 zur VSBo (1993), die der neuen Rechtslage angepasst werden musste. Die Wegleitung enthält Beurteilungswerte für Schadstoffbelastungen, legt fest, wann und wie Böden zu untersuchen sind und bestimmt, wie ausgehobener Boden verwertet oder abgelagert werden soll.

# **Bodenabtrag**

## **Einleitung**

### **Teil 2**

Das Abtragen von Boden muss rechtlich als tiefbaulicher Eingriff bewertet werden, weil damit Boden aus seiner natürlichen Lagerung herausgeholt wird. Damit kann die Fruchtbarkeit des Bodens erheblich beeinträchtigt werden, was dem Grundsatz des Zweckartikels des USG widerspricht (8).

Der Abtrag von Boden muss in diesem Sinne an eine Baubewilligung gebunden sein. Zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit gilt der Grundsatz, dass ohne Vorliegen einer rechtskräftigen Baubewilligung kein Oberboden

abgetragen werden darf und dass die Notwendigkeit dieser Massnahme, besonders bei kurzfristigen Eingriffen wie Leitungsbau, nachgewiesen werden muss.

Besteht der Verdacht, dass der auszuhebende Boden kontaminiert ist, so sind die abzutragenden Flächen zumindest stichprobenweise auf Schadstoffe hin zu untersuchen (siehe auch Teil 1).

Über die Verwertung von Bodenaushub gibt die BUWAL-Wegleitung "Verwertung von ausgehobenem Boden" Auskunft (2).

*Umgang mit Oberboden bei verschiedenen Bauvorhaben (6)*

<b>Bauvorhaben</b>	<b>Boden begrünen, nicht abtragen</b>	<b>Boden abtragen und direkt wiederanlegen</b>	<b>Boden abtragen und zwischenlagern</b>	<b>Boden abtragen und abführen</b>
Materialabbau nicht etappiert (Zwischenbegründung)		Nur auf zwischenbegrünten Unterboden anlegen.	Schüttlöcher gemäss Teil 3, nicht befahren, sofort begrünen.	
Materialabbau etappiert (Direktumschlag)		Auf fertige Etappe (Unterboden angelegt) auftragen und begrünen.		
Grossbaustellen: Strasse, Bahn etc.			Aushub- und Pistenbereich abhumusieren. Depotfläche nicht abhumusieren.	Von überbauten Flächen, soweit er überschüssig ist.
Aushubdeponien, Auffüllungen			Aushub- und Zufahrtsbereich abhumusieren, Depotfläche nicht abhumusieren.	
Erdverlegter Leitungsbau	Kein Abtrag, ausser im Grabenbereich.		Oberboden und Aushub direkt auf die Grasnarbe legen.	
Leitungsbau, Mastenbau	Piste direkt auf das Gras legen, punktueller Bodenabtrag im Bereich der Fundamente.			

Viele Kantone verfügen zudem über Merkblätter und Arbeitsrichtlinien mit weitergehenden und detaillierten Vorschriften über den Abtrag von Oberboden (siehe auch Literaturhinweise, S. 6).

## Abtrag als Eingriff

Durch das Entfernen des humushaltigen Oberbodens wird der Bodenkörper seiner wichtigsten Schutzhülle beraubt. Freigelegter Unterboden ist instabil und den Einflüssen der Witterung schutzlos ausgesetzt. Die biologische Aktivität im Boden konzentriert sich nämlich auf die oberflächennahen Schichten, welche in der Regel kurzzeitig auch ohne schützende Pflanzendecke stabil genug sind, um dem Abtrag (Erosion) durch Wasser und Wind zu widerstehen. In intensiv genutzten Ackerböden, namentlich den humusarmen Lössböden, ist die oberste Bodenschicht aber im unbedeckten Zustand ähnlich erosionsgefährdet wie blosdgelegter Unterboden.

Der Eingriff des Bodenabtrags wiegt schwerer, wenn Boden nicht direkt wieder angelegt und begrünt, sondern für kürzere oder längere Zeit zwischengelagert wird.

Dass freigelegter Unterboden den Einflüssen der Witterung schutzlos ausgesetzt ist, zeigt der Zerfallstest im Wasser:

In zwei Gläsern mit Wasser wird je ein etwa gleich grosser Brocken Erde aus dem Oberboden und aus dem Unterboden sorgfältig eingelegt. Nach kurzer Zeit beginnt der Brocken aus dem Unterboden zu zerfallen, während der Oberboden intakt bleibt.

## Wahl des Zeitpunkts

Wenn der Bodenabtrag unumgänglich ist, müssen zumindest alle Vorkehrungen getroffen werden, damit der belebte Boden keinen allzu grossen Schaden erleidet. Grundsätzlich soll der Boden beim Eingriff durchgehend trocken sein; nach Möglichkeit sollte er direkt wiederangelegt und in jedem Falle sofort begrünt werden. Nur bei sehr kurzen Eingriffen, wie etwa beim Leitungsbau, kann auf die Begrünung verzichtet werden. Aufwachsende Unkräuter sind vor Samenreife zu mähen (nicht abspritzen!).

Die Voraussetzungen für Arbeiten bei trockenem Boden und für rasches Begrünen sind nur während der Vegetationsperiode, welche in Tallagen länger dauert als im Gebirge, gegeben. Alle Arbeiten mit Kulturerde sind für die Sommermonate zu planen.

Der Boden ist im Spätherbst oft trockener als im Frühsommer, sodass auch im Oktober noch unter idealen Verhältnissen gearbeitet werden kann. Das Anlegen einer Dauerwiese hat vor Mitte August zu geschehen. Bei späteren Begrünungen muss notfalls ein Wintergetreide (Grünroggen etc.) eingesetzt werden.

## Bodenfeuchte

Oberboden (Humus) wie Unterboden dürfen keinesfalls in durchnästem Zustand befahren, abgetragen, verschoben, zwischengelagert und wiederangelegt werden. Die jeweils noch zulässige Bodenfeuchte ist abhängig von der Bodenart (Tongehalt) sowie von Gewicht und Flächendruck der zum Einsatz gelangenden Maschinen und Fahrzeuge. Als Messgrösse hat sich nicht der absolute Wassergehalt, sondern die Wasserspannung, auch Saugspannung genannt, als günstig erwiesen. Diese erlaubt es, festzustellen, welche Porenklassen jeweils noch mit Wasser gefüllt bzw. bereits entwässert sind.

## Teil 2

sert sind. Für die Wasserspannung (Kap. 7.2) ist im Tiefbau der pF-Wert geläufiger; im Feld wird die Spannung mit dem Tensiometer in Centibar gemessen. Nachfolgende Tabelle schafft die nötige Verbindung zu den wichtigsten Eckwerten.

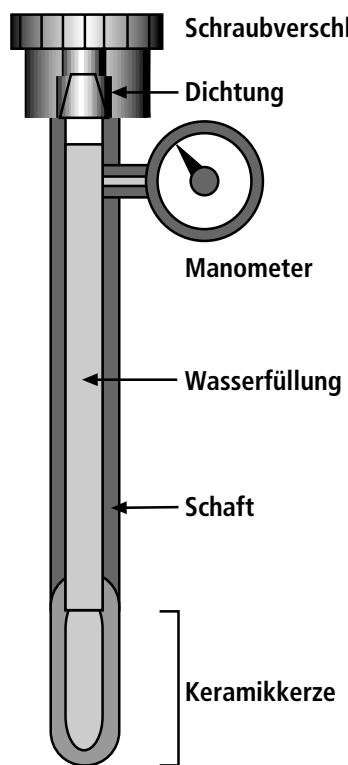
## Teil 2

pF	Cb	Entwässerung nach Poren
1,8	6,3	<b>Grobporenbereich entwässert (Gravitationswasser)</b>
2,0	10	<b>&gt; 30 <math>\mu\text{m}</math> Poren entwässern</b>
2,5	31,5	<b>&gt; 10 <math>\mu\text{m}</math> Poren entwässern</b>
2,7	50	<b>&gt; 06 <math>\mu\text{m}</math> Poren entwässern</b>
2,8	63	<b>&gt; 05 <math>\mu\text{m}</math> Poren entwässern</b>
2,9	80	<b>Messgrenze Tensiometer</b>
4,2	1500	<b>alle Mittelporen entwässert (permanenter Welkepunkt)</b>

Unterhalb Bereich pF 2 dürfen keine Baumaschinen mehr eingesetzt werden. Ab pF 2.5 sind mit den gebräuchlichen Baumaschinen (Raupenfahrwerke) in der Regel keine grösseren Schäden mehr zu erwarten. Ab pF 2.8 ist der Boden auch für schwere Maschinen tragfähig.

## Messen mit Tensiometern (vgl. Kapitel 8.2)

Die Messung der Saugspannung mit Tensiometern ist eine altbewährte Methode, die in der Praxis z.B. bei der Bewässerung von Kulturen eingesetzt wird. Tensiometer sind in den verschiedensten Ausführungen bis zum digitalen, elektronisch gesteuerten Gerät erhältlich. Für den Einsatz auf der Baustelle ist der einfache und robuste Manometerapparat geeignet. Er ist preisgünstig und arbeitet unabhängig von einer Stromquelle.



Schematische Darstellung eines Tensiometers und seiner Komponenten

## Installation

Für eine zuverlässige Messung müssen fünf Tensiometer pro Standort eingesetzt werden, da Bodenunterschiede grosse Streuungen bewirken können. Das Tensiometer wird in ein exakt vorgebohrtes Loch auf 35 cm Tiefe gesetzt. Damit ein guter Bodenkontakt entsteht, wird das ausgebohrte Erdmaterial mit etwas Wasser vermischt und ein wenig von diesem

Brei vor dem Einsetzen des Geräts in das Bohrloch gegeben. Nach dem Einsetzen des Tensiometers wird das Bohrloch an der Oberfläche noch mit etwas Tonpulver bestreut und angedrückt, damit kein Wasser entlang des Schafes einsickert und das Messresultat verfälscht. Auch eine gut schliessende Gummimanschette verhindert das Eindringen von Regenwasser.

### **Ableseung und Auswertung**

Nach einem Tag kann mit dem Ablesen der Saugspannung begonnen werden. Von den Resultaten einer Gruppe wird der Medianwert ermittelt. Abgelesen werden muss in täglichen oder zumindest gleichbleibenden längeren Abständen, immer zur gleichen Tageszeit, vorzugsweise am Morgen. Die gleichzeitige Messung der Niederschläge gehört dazu.

### **Wartung**

Der Innenraum des Tensiometers ist mit Wasser gefüllt. Bei einer Saugspannung von ca. 80 Cb kann die Saugspannung schlagartig zusammenfallen (sog. Abhängen).

Abgehängte Tensiometer müssen geöffnet und mit entlüftetem (am besten abgekochtem) Wasser wieder aufgefüllt werden. Verbleibende Luft im waagrechten Teil der Abzweigung zur Manometerdose muss mit einer Entlüftungspumpe abgesaugt werden, da durch die Luftkissenwirkung ein Teil der Saugspannung abgefедert und die Messgenauigkeit beeinträchtigt wird. Eingesetzte Tensiometer dürfen nie geschüttelt werden.

Für den Winterbetrieb muss dem Wasser im Tensiometer ein Frostschutzmittel beigelegt werden.

### **Lagerung**

Einmal benützte Tensiometer sollen nicht ein trocknen, weil die Poren der Saugkerze wegen der im Bodenwasser gelösten Salze verkrusten. Sie sollen an einem frostsicheren Ort in destilliertem bzw. entionisiertem Wasser (auch sauberes Regenwasser ist geeignet) bis zum nächsten Einsatz aufbewahrt werden. Schmutz und

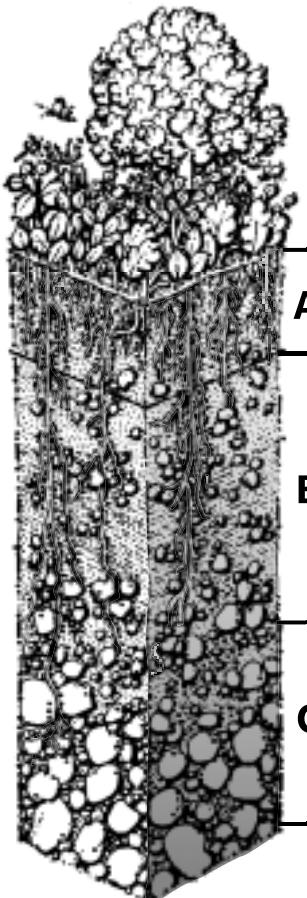
Algenbesatz sind vor dem Einlagern zu entfernen. Vor dem Wiedereinsetzen im nächsten Jahr ist eine sorgfältige Funktionskontrolle angezeigt.

## **Abtragsmächtigkeit**

**Teil 2**

Der gut entwickelte Boden teilt sich im Profil grob gesehen in drei "Schichten", sog. Horizonte (A, B und C) auf. Diese Horizonte sind durch fliessende Übergänge oder klaren Schichtverlauf getrennt und deshalb als solche auch mehr oder weniger gut erkennbar. Je nach Ausgangsmaterial und Bodentyp hilft

auch eine deutliche farbliche Abgrenzung mit, die Horizontierung festzustellen.



*Schema eines Bodenprofils mit Oberboden (A), Unterboden (B) und Ausgangsmaterial (C). In Rohböden (AC-Böden) liegt der humushaltige und belebte Oberboden direkt auf dem unverwitterten Ausgangsmaterial auf. Dieses kann sowohl aus festem Gestein (Fels), als auch aus Lockersediment (Ton, Lehm, Silt, Sand, Kies) bestehen.*

## **Oberboden**

Der A-Horizont kann durch seine dunkle Farbe im Profil klar erkannt werden. Er ist biologisch aktiv und weist, verglichen mit dem Unterboden, einen hohen Anteil an Humus auf. Er ist in der Regel dicht mit Wurzeln durchsetzt, von Wurmäpfchen durchzogen und dadurch ziemlich locker gelagert. Im Ackerbaugebiet entspricht der A-Horizont etwa der gepflügten Tiefe.

## **Unterboden**

Der darunterliegende B-Horizont besteht aus verwittertem mineralischem Material und weist einen deutlich geringeren Humusanteil auf. Deshalb ist er auch weniger dunkel gefärbt. Zumindest in der oberen Ausdehnung ist er noch gut durchwurzelt und biologisch aktiv. Nach unten geht er, mehr oder weniger deutlich, in den unverwitterten C-Horizont über; bei Fels und Kies ist der Übergang besser erkennbar als in skelettfreien Lehmen und in Löss.

## **Materialeignung**

Neben den beschriebenen bodenkundlichen Kriterien spielt auch die Eignung des abgetragenen Materials eine wichtige Rolle. Die Eignungskriterien sind in Teil 1 beschrieben. Im Sinne des Bodenschutzes ist darauf zu achten, dass geeignetes Material aller Kategorien sinnvoll verwertet werden kann.

## **Verfahren und Maschineneinsatz**

Die negativen Auswirkungen tiefbaulicher Eingriffe auf den Boden, vor allem die Bodenverdichtung, lassen sich mit der Auswahl und dem Einsatz von Maschinen und mit zweckmässigen Arbeitsabläufen stark beeinflussen.

Geeignet für den Abtrag sind Bagger (ev. Dragline), Dozer und leichte Schürfkübelraupen, wobei Lage, Form und Grösse des Einsatzgebiets und die Umlagerungsdistanz eine wichtige Rolle spielen.

Ungeeignet sind hingegen wegen der schlechten Gewichtsverteilung, des hohen Auflagedruckes (Punktbelastung) oder der schlechten Effizienz, alle Pneu- und Raupenlader, Frontlader an Traktoren und Bobcats sowie Radschäper.

## **Einsatzgrenzen**

Die zulässige Saugspannung für den bodenschonenden Maschineneinsatz kann für jede Maschine individuell berechnet werden. Sie gibt die Saugspannung an, bei welcher ein Boden befahren werden kann, ohne dass nachhaltige Schäden erwartet werden müssen.

Unter 10 Centibar Saugspannung dürfen keine Baumaschinen eingesetzt werden.

Die Messung der Bodenfeuchte findet dort statt, wo der Boden nach dem Abhumusieren befahren wird, d.h. auf 35 cm Tiefe. Auch wenn der Oberboden abgetrocknet ist, kann der Unterboden noch stark feucht sein.

## **Einfluss der Bodenart**

Wichtig ist auch die Berücksichtigung der Bodenart. Bei Böden mit hohem Tongehalt (> 30 %) muss zur zulässigen Saugspannung ein Zuschlag von 10% gemacht werden.

## **Mehrfachbelastung**

Wenn an einer Stelle mehrere Durchfahrten zu erwarten sind, nimmt der Verdichtungseffekt mit abnehmender Saugspannung schneller zu. Solche Arbeiten und Abläufe (schiebende und schürfende Geräte, rollender Transport) sind in Grenzsituationen einzustellen.

**Teil 2**

## **Berechnung der zulässigen Saugspannung**

Die zulässige Saugspannung kann für jede mit Flachfahrwerk (Raupe) ausgerüsteten Maschine individuell berechnet werden, wenn das Gewicht (beladen) und die Flächenpressung (beladen) bekannt sind (siehe auch Kapitel 7).

### **Formel für die Berechnung der zulässigen Saugspannung in Centibar:**

Gewicht (Tonnen) x Flächenpressung (bar) x 1.25

Für Radfahrzeuge ist diese Formel **nicht** anwendbar. Die entsprechenden Angaben zur Bodenverträglichkeit von Pneufahrzeugen finden sich in Kapitel 7.

# Zwischenlagerung

## Vorschriften

In einigen Kantonen bestehen Vorschriften über die Zwischenlagerung von Bodenmaterial, speziell von Oberboden. Diese Vorschriften bezeichnen die maximale Schütt Höhe (meist zwischen 1,5 m - 2,5 m), wobei zwischen dem lose geschütteten und dem abgesetzten Zustand noch Unterschiede werden müsste. Sie verlangen in der Regel das Anschütten rückwärts, d.h. ohne Befahren des deponierten Materials. Weitere Richtlinien wurden vom VSS (Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, vgl. untenstehende Tabelle), vom FSK (Schweizerischer Fachverband für Sand und Kies) und von der BGS

(Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz) erarbeitet, die sich im gleichen Sinne zur Zwischenlagerung von Oberboden äussern.

Für anschliessende Rekultivierungen muss nicht nur Oberboden, sondern auch geeignetes Unterbodenmaterial vorhanden sein. Die Vorgaben zur Zwischenlagerung von Ober- und Unterboden können untenstehender Tabelle entnommen werden.

Der vorliegende Teil 3 soll bereits bestehende Vorschriften sinnvoll ergänzen. Bei der Suche nach optimalen Möglichkeiten und unter Berücksichtigung der Bodenart und ihrer spezifischen Eigenschaften sind gewisse Abweichungen durchaus möglich.

Art des Bodenaushubes	Lose Schütt Höhe des Zwischen-lagers:	Zulässige Saugspan-nungen bei Abtrag/ Schüttung:	Allgemein gültige Massnahmen:
Oberboden für kurzfristi-ge Zwischenlagerung (< 1 Jahr)	≤ 2,5 m	sandig: > 25 Centibar tonig: > 35 Centibar	- Ober-/Unterboden im-mer getrennt abtragen und zwischenlagern.
Oberboden für langfri-ge Zwischenlagerung (> 1 Jahr)	≤ 1,5 m	sandig: > 25 Centibar tonig: > 35 Centibar	- Zwischenlager auf gut durchlässiger, nicht verdichtungsgefährdeter Unterlage anlegen. Lagerflächen nicht ab-humusieren.
Unterboden, stark bis extrem verdichtungs-empfindlich (4)	≤ 1,5 m	> 35 Centibar	- Zwischenlager nie mit Baumaschinen befahren und nie mit Rindern beweidet. Zwischen-lager mit Tiefwurzeln begrünen.
Unterboden, normal bis schwach verdichtungs-empfindlich (4)	≤ 2,5 m	> 25 Centibar	
Unterboden, kaum ver-dichtungsempfindlich (4)	> 2,5 m	> 15 Centibar	

Schütt Höhen und Saugspannungen bei der Zwischenlagerung von Bodenaushub (6)

## Auswirkungen der Zwischenlagerung

Die oberflächennahe, gut durchlüftete Bodenschicht ist durch eine rege biologische Tätigkeit entstanden. Der chemische Stoffwechsel dieser Bodenschicht läuft unter aeroben Bedingungen ab. Die Bildung von Humus und wichtigen Ton-Humuskomplexen sind charakteristische Eigenschaften dieser sauerstofffreien Zone.

Pflanzenwurzeln, Regenwürmer und andere Bodentiere erschliessen unterhalb dieser Schicht immer tiefere Horizonte. Die Porosität, der Humusgehalt und die biologische Aktivität nehmen aber mit zunehmender Tiefe deutlich ab.

Wird nun solcher Boden an ein Depot geschüttet, so treten vorerst im am weitesten von der Außenluft entfernten Depotkern "Erstickungsscheinungen" auf. Unter anaeroben Bedingungen "erstickt" das Bodenleben, Fäulnisvorgänge setzen ein und es entstehen Faulgas oder Methan. Wird das Depot wieder abgetragen, so können Graufärbung und oft deutlicher Faulgeruch des Bodens festgestellt werden (Klärschlammgeruch).

Mit der trapezförmigen Schüttung der Zwischenlager wird, zusammen mit einer Höhenbegrenzung, versucht, die anaerobe Kernzone des Depots möglichst klein zu halten oder zu vermeiden.

Durch das Eigengewicht werden tieferliegende Schichten innerhalb des Depots verpresst. Dabei gehen als erstes die grossen, luftführenden Grobporen verloren. Unter dem Zwischenlager wird der Boden ebenfalls leicht verdichtet und damit abgesenkt, so dass sich hier Wasser sammelt, welches kapillar im Depot aufsteigt und dieses stark vernässen kann.

Deshalb muss ein Konzept zum Schutz des Zwischenlagers gefunden werden. Je länger dieses liegen bleibt, desto wichtiger ist die Ein-

haltung dieses Konzepts. Für den einzelnen Fall geht es darum, innerhalb der gegebenen Möglichkeiten jene Variante zu finden, welche die grösstmögliche Anzahl positiv wirkender Faktoren vereinigt.

## Anlegen der Zwischenlager

Den unterschiedlichen Bedürfnissen entsprechend haben Depots unterschiedlichen zeitlichen Bestand und verschiedene Formen:

### Kurzzeitiges Depot

(Kategorie A)

Kommt z.B. beim Rohrleitungsbau, Wegebau, Kanalisationsbau etc. vor, wo die Bauzeit und damit die Zeit der Zwischenlagerung ein Jahr nicht überschreitet.

### Längerfristiges Depot

(Kategorie B)

Bleibt in der Regel über mehrere Jahre bestehen, wie dies etwa bei Grossbaustellen, beim Kies- oder Felsabbau, bei Sand- und Tongruben sowie bei offenen Deponien der Fall ist.

### Form und Gestaltung

Bei den Formen kann zwischen der trapezförmig-länglichen, nicht bewirtschafteten Miete und dem flächig angelegten, landwirtschaftlich genutzten Depot unterschieden werden.

Die nachfolgenden Grundsätze zum Schutz des Bodens sind für die Kategorie B zwingend. Für Kategorie A sind Abweichungen eher tolerierbar.

## **Wasserabfluss**

Das Depot soll so angelegt sein, dass Oberflächenwasser ungehindert abfliessen kann und sich kein Einstau am Depotfuß bildet (Kuppenlage, eventuell Kiesunterlage).

Keinesfalls soll das Depot in Muldenlage oder auf undurchlässigem Boden angelegt werden.

## **Teil 3**

### **Durchlüftung**

Das Depot soll in seinem ganzen Volumen gut durchlüftet sein. Es muss deshalb möglichst trocken geschüttet und darf nicht befahren werden. Der Abstand des Depotkerns zur Oberfläche soll möglichst klein sein (steile Trapezform). Bei Flächendepots ist die Schütt Höhe zu reduzieren.

### **Gefälle**

Die Oberfläche des flächigen Depots ist mit Gefälle zu versehen, so dass sich überschüssiges Wasser nicht ansammelt und einsickert, sondern abfliesst. Dieses Gefälle sollte wenn möglich > 5 % sein.

### **Begrünung**

Das Depot ist unmittelbar nach seiner Anlage, bei grösseren Objekten auch etappenweise, zu begrünen. Dazu ist eine ausdauernde, tiefwurzelnde Luzerne-Kleegramsmischung anzusäen. Die Wurzeln halten den Boden aktiv. Die Gründcke verdunstet im Sommer bis 5 Liter Wasser pro m<sup>2</sup> und Tag und hält das Depot trocken.

### **Unterboden**

Für Unterbodenzwischenlager gelten, mit Ausnahme der Depotform und der Schütt Höhe, weitgehend die gleichen Grundsätze. Aufgrund seiner strukturbedingten Durchlässigkeit kann kiesig-sandiges, rein mineralisches

Unterbodenmaterial an sich hoch geschüttet werden, jedoch wird der darunterliegende Boden von zu hoher Auflast verpresst. Durchlässiges Material ist für den Wiederaufbau von Böden in unseren niederschlagsreichen Gebieten besonders geeignet. Wenig geeignet sind stark tonige Böden oder Unterböden mit hohen organischen Anteilen. Der Einfluss der Bodenart auf die Schütteigenschaften gilt sinngemäss auch für Unterbodenmaterial (vgl. Tabelle Seite 22).

### **Bodenart und Schütt Höhe**

Der Zusammenhang zwischen der Bodenart und den physikalischen Eigenschaften eines Bodens sind im Grundlagenteil weiter hinten ausführlich erläutert. Die zulässigen Schütt Höhen gehen aus der Tabelle von Seite 22 her vor. Grösser als der Einfluss der Bodenart ist der Einfluss der Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Umlagerung. Zu feucht umgelagert, reagieren vor allem tonige Böden sehr empfindlich bezüglich Verdichtung. Bei organischem Bodenmaterial ist die Erstickungsgefahr mit zunehmender Feuchte grösser. Schluffige Böden sind erosionsgefährdet. Auf ein sofortiges Begrünen (Stabilisieren der Oberfläche) ist hier besonders zu achten. Mitentscheidend für die zulässige Schütt Höhe ist die Form der Schüttung. Ebenso bestehen Unterschiede zwischen der frisch angeschütteten und der abgesetzten Menge.

### **Flächige Schüttungen**

Mittel- bis längerfristige, voraussichtlich mehrere Jahre dauernde Zwischenlagerung von Oberboden über durchlässigem Untergrund (z.B. Kiesgrubenboden), erlaubt eine Schütt Höhe von max. 1.5 m, wenn tiefwurzelnde Pflanzen (Luzerne-Kleegramsmischung) die Bodenaktivität aufrecht erhalten.

Kurzfristige, landwirtschaftlich bewirtschaftete Flächenlager, beispielsweise die Bodenbörse einer Grossbaustelle, können unter günstigen Voraussetzungen (kurze Lagerdauer, geeignete Bodenart, niederschlagsarme Gegend) bis auf max. 2.5 m Höhe angelegt werden.

## Wallförmige Depots

Solche Depots werden in der Regel nicht bewirtschaftet, sondern lediglich bei Bedarf (z.B. Verunkrautung) gemäht. Sie sind auch seitlich bis in eine gewisse Tiefe durchlüftet und durchwurzelt. Versuche haben gezeigt, dass sich in höher geschüttetem Bodenmaterial in den ersten zwei Jahren eine von unten her wachsende Erstickungszone bildet, die sich aber mit zunehmender Restrukturierung, vor allem durch Wurzelwachstum und Wurmtätigkeit, deutlich zurückbildet. Im Dreieckprofil wird der Auflagedruck des zusätzlich geschütteten Materials halbiert. Trockener Boden kann bis max. 2,5 m lose gemessene Höhe angeschüttet werden.

## Maschinen und Verfahren

Entsprechend dem Vorhaben wird der Boden mit derselben Maschine in einem Arbeitsgang ausgehoben und seitlich deponiert (beispielsweise beim Grabenaushub). Bei grösseren Distanzen hingegen wird er auf Lastwagen oder Dumper verladen und angekippt. Mit Bagger oder Dragline direkt umgesetzt wird beispielsweise bei grösseren Geländekorrekturen und Sanierungsarbeiten.

In jedem Falle muss der Boden locker angeschüttet sein und darf nicht befahren werden. Deshalb können Dozer und Schürfraupen notfalls für den Transport, nicht aber für das Anlegen der Bodendepots selber eingesetzt werden.

Für das Ausgleichen flächig geschütteter Depots dürfen nur leichte Planieraupen unter 15 Tonnen Gewicht in Moorausführung (Flächenpressung < 200 g/cm<sup>2</sup>) verwendet werden.

## Allgemeine Grundsätze

Beim Anlegen von mietenförmigen und flächigen Zwischenlagern von Bodenaushub gelten, ähnlich wie bei der Rekultivierung, folgende Grundsätze:

- Im Gefälle muss immer von oben nach unten gearbeitet werden, damit in keiner Phase der Arbeiten ein Wassereinstau entsteht.
- Es darf nie auf bereits vernässtem Untergrund angeschüttet werden. Senkungen der Rohplanie, in denen sich Wasser ansammeln kann, sind mit durchlässigem Unterbodenmaterial auszugleichen.
- Direkt angekippte Schüttungen dürfen nur im Streifenverfahren, d.h. ohne Befahren des geschütteten Materials, durchgeführt werden.
- Die Einsaat einer Luzerne-Kleegramsmischung muss ohne Verzögerung, wenn nötig in Etappen, erfolgen. Eine locker angeschüttete Schicht darf niemals brach liegengelassen werden.

## Zusatzmassnahmen

Grundsätzlich soll so gearbeitet werden, dass Zusatzmassnahmen überflüssig sind. In Ausnahmefällen helfen diese aber mit, boden- und umweltverträgliche Lösungen zu finden. Einige erprobte Möglichkeiten sind nachstehend dargestellt. Sie betreffen vor allem die längerfristige Zwischenlagerung von Bodenaushub.

## Entwässerung

In ungünstigen Lagen, besonders am Hang, wo das Risiko der Vernässung besteht, ist der Einbau einer Sickerhilfe zu empfehlen. Das Abfangen des Oberflächenwassers oberhalb des Depots ist wirksamer als aufwendiges Vorverlegen einer flächigen Kiesunterlage, die in der Regel noch mit einem Trennvlies vor Verschlammung geschützt werden muss.

**Belüftung**

Wenn das Zwischenlager höher als vorgesehen geschüttet werden muss, können Belüftungsrohre in den Depotkörper eingelegt werden. Diese sollen, vor allem im unteren Bereich, von beiden Seiten her überschneidend verlegt werden, so dass auch dem Kern des Depots Luft zugeführt wird.

**Teil 3****Rutschsicherung**

Muss das Depot aus Platzgründen steil ange schüttet werden, z.B. für eine längerfristige Zwischenlagerung von geeignetem Unter bodenmaterial bei einer Kiesgrube, kann der Depotabschluss mit starkwurzelnden Pionier sträuchern befestigt und rutschsicher gemacht werden. Je nach Standort geschieht dies mit grünen, direkt vernagelten Weiden-, Erlen oder Haselstecklingen, mit bewurzelten Jung pflanzen von Sanddorn, Schwarzdorn, Weissdorn und anderen Arten, als Direktpflan zung oder in Form von Buschlagen.

# Wiederherstellung

## Umfang und Anwendung

Dieser Teil beschreibt die Wiederherstellung von Kulturland nach länger dauernden Eingriffen. Er kommt dort zur Anwendung,

wo Ober- und Unterboden abgetragen und zwischengelagert wurden und neu angelegt und als Kulturlandfläche "reaktiviert" werden müssen. Das Vorgehen hierfür sieht in der Regel wie folgt aus:

<p><b>1. Vereinbarung mit Bewirtschafter/Eigentümer.</b></p> <p><b>2. Erstellen der Rohplanie.</b></p> <p><b>3. Entwässerung der Rohplanie:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestaltung der Gefälle.</li> <li>- Einbau von Sickerhilfen.</li> <li>- Einbau eines Entwässerungssystems.</li> </ul> <p><b>4. Wiederherstellung mit angepassten Maschinen und unter trockenen Bedingungen.</b></p> <p>Für neuangelegte, tiefgründige landwirtschaftliche Böden gilt in der Regel:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einbau des Unterbodens mit mindestens 80 cm Mächtigkeit.</li> <li>- Zwischenbegrünung, falls der Unterboden über längere Zeiträume (&gt; 1 Jahr) hinweg zwischengelagert wurde.</li> </ul>	<p><b>5. Zwischenabnahme zur Mängelbehebung (Werkabnahme)</b> unter Anwesenheit der bodenkundlichen Baubegleitung, von Vertretern der Unternehmung, Bauherrschaft und Landeigentümer/Bewirtschafter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abnahmeprotokoll (6).</li> <li>- Spatenprobe (Teil 5).</li> <li>- Verbindliche Festlegung von Art und Dauer der Folgebewirtschaftung/Folgenutzung mit Landeigentümer und Bewirtschafter.</li> </ul> <p><b>6. Im Bedarfsfall Reparatur bestehender und störender Spuren des Eingriffs</b> (z. B. mittels Tiefenlockerung, Drainage oder Entsteinung).</p> <p><b>7. Für alle neuangelegten Böden</b> muss eine extensive, schonende Folgebewirtschaftung/Folgenutzung erfolgen (Teil 5).</p>	<p><b>8. Schlussabnahme/Beurteilung</b> (analog Ziffer 5):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abnahmeprotokoll der Rekultivierung.</li> <li>- Beurteilung des Erreichten, ev. Vergleich mit dem Ausgangszustand (4): Spatenprobe, ev. Messung von Eindringwiderstand, Grobporenvolumen, Infiltrationsrate und/oder gesättigter Wasserleitfähigkeit (Kapitel 8).</li> <li>- Ev. Bezug der kantonalen Bodenschutzfachstelle.</li> </ul> <p><b>9. Ev. Schadensbehebung/Reparatur</b> (analog Ziffer 6).</p> <p><b>10. Rückgabe des Bodens</b> zur normalen Nutzung.</p> <p>Im konkreten Fall kann auf einzelne Schritte verzichtet werden!</p>
--	--	---

## Teil 4

*Wiederherstellung und Abnahme temporär beanspruchter Böden (6)*

Eine Rekultivierung kann auch mit frisch abgetragenem Boden vorgenommen werden. Das ist zum Beispiel im Kiesabbau oft der Fall, wenn die abgeschlossene Verfüllung eines Grubenteils direkt wieder mit dem Ober- und Unterboden einer neuen Abbauetappe rekultiviert wird.

## **Vermeiden des Abtrages**

### **Teil 4**

Wo Boden abgetragen wird, besteht meist eine Rekultivierungs- bzw. Wiederherstellungs-pflicht. Es ist deshalb besser, vorgängig zu prüfen, wieweit der Boden bei einem tiefbaulichen Eingriff überhaupt entfernt werden muss.

Für Linienbaustellen bedeutet das bisher praktizierte Abhumusieren der Arbeits- und Transportpiste einen Mehraufwand bei der Rekultivierung, der sich nur in begründeten Ausnahmefällen rechtfertigen lässt.

Nicht direkt vom Eingriff betroffene Flächen sollen also nicht abhumusiert werden. Deshalb sind bei der Planung der Linienführung schwierige Böden zu meiden und verbleibende kritische Abschnitte mit geeigneten Hilfsmitteln, z.B. Baggermatten oder Kiespisten, vor unzulässiger Verpressung zu schützen. Wenn die Fläche schon vor dem Eingriff Wiesland war, kann sie sich in den meisten Fällen wieder selber regenerieren. Ansonsten muss sie neu begrünt werden. Auf weitere Massnahmen kann in der Regel verzichtet werden.

## **Direktes Wiederanlegen**

Wenn ein Boden aus seiner natürlichen Lage herausgeholt und direkt wieder angelegt wird, sind seine Eigenschaften weniger verändert, als wenn er vom mehrjährigen Depot genommen und aufgetragen wird. Die schichtweise biologische Voraktivierung kann des-

halb entfallen, d.h. eine Zwischenbegrünung des Unterbodens vor dem Auftragen des Oberbodens ist nicht nötig. Es ist zu prüfen, ob ein direktes Anlegen des abgetragenen Ober- und Unterbodens, also die definitive Wiederherstellung des Kulturlandes an einem anderen Ort, ohne Zwischenlagerung des Bodenmaterials möglich ist. Der zusätzliche Auf- und Abladeprozess bedeutet für den Boden nämlich eine zusätzliche mechanische Belastung. Dazu kommt der finanzielle Mehraufwand.

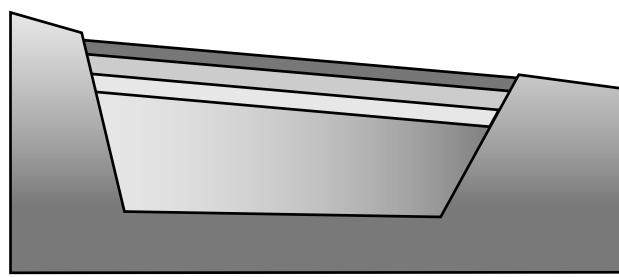
## **Zweiphasensystem**

Es stellt das zweistufige Vorgehen mit der Zwischenbegrünung des Unterbodens vor dem Auftrag des Oberbodens dar. Dieses Vorgehen ist dort anzuwenden, wo der Unterboden ab Depot angelegt wird und vor dem Auftragen des Oberbodens mit stark wurzelnden Pionierpflanzen erschlossen und aktiviert werden muss. Eine Zwischenbegrünung ist auch angezeigt auf Flächen, auf denen der gewachsene Unterboden freigelegt (abhumusiert) und unbedeckt oder mit Auflage eines Kieskoffers als temporäre Bau- oder Fahrpiste benutzt wurde. Sinngemäß ist die Zwischenbegrünung auch anzuwenden bei der Renaturierung von Straßen, Wegen und befestigten Plätzen. Dieses Vorgehen bedeutet ein Jahr zusätzliche Wartezeit bis zur definitiven Rekultivierung des Bodens, weil sich nur in seltenen Fällen eine Zwischenbegrünung, der Oberbodenauftrag und die Wiederbegrünung in derselben Vegetationsperiode bewerkstelligen lassen.

Nachstehend sind die einzelnen Abschnitte einer vollumfänglichen Rekultivierung, wie sie z.B. nach Kiesabbau ansteht, dargestellt.

## Rohplanie

Ein guter Boden kann sich nur über einer waserdurchlässigen Unterlage entwickeln und erhalten. Auch im natürlichen Zustand ist ein Boden, der unter Stauwassereinfluss steht, in seiner Eigenschaft als Pflanzenstandort und damit auch in seiner Nutzungsmöglichkeit, immer mehr oder weniger eingeschränkt. Nach Kiesabbau wiederherzustellende Böden lagen ursprünglich über durchlässiger Unterlage und haben sich dort meist zu fruchtbaren Parabraunerden (Kap. 3) entwickeln können. Deshalb ist die adäquate Rekultivierung in diesen Fällen äusserst schwierig.



	Oberboden		Auffüllung (Rohplanie)
	Unterboden		
	Sickerschicht		Kieskörper

*Schematische Darstellung des Bodenaufbaus einer Auffüllung und Rekultivierung, wie sie heute in verschiedenen Richtlinien zu finden ist.*

Es wird versucht, mittels flächigen Einbaus einer Sickerschicht aus sauberem Kies, das einsickernde Wasser in gleichmässig angelegtem Gefälle über der Rohplanie in die noch bestehende, durchlässige Kieswand abzuleiten. Die vorgeschriebene Mindestdicke dieser Schicht, in der Regel 15 cm, genügt nicht, wenn:

- die zu überwindende Strecke zu lange (Fliesswiderstand),
- die Rohplanie nicht absolut gleichmässig (Fliessunterbruch),
- das aufgebrachte Bodenmaterial instabil (Verschlammung) ist.

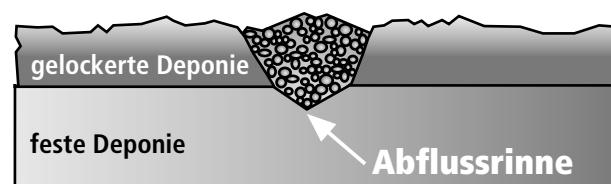
Zudem wird diese Sickerschicht meist mit grobem und gewaschenem Material (Sickerkies) ausgeführt. In diesem Kies kann das Wasser zwar gut abfliessen. Da der Kieskoffer aber keine feinen Poren enthält, kann das Wasser nicht aus dem darüberliegenden Bodenkörper einfliessen. Es bleibt wegen der Kapillarkraft hängen (Vernässungssaum über dem Porensprung).

Als erstes muss geprüft werden, ob die Rohplanie dicht ist und dicht bleiben muss (geschlossene Abfalldeponie), oder ob sie vor der Anschüttung des Unterbodens eventuell aufgelockert und genügend durchlässig gemacht werden kann (Versickerungsversuche).

Ist sie nicht durchlässig, so muss festgestellt werden, wohin anfallendes Sickerwasser abgeleitet und weiterversickert oder durch eine offene Vorflut abgeleitet werden kann. Diesen Abflussmöglichkeiten muss die Oberflächengestaltung von Rohplanie und zukünftiger Kulturlandfläche Rechnung tragen.

Oberflächlich angelegte Abflusspfade (offene Gräben) und Auffangbecken für überschüssiges Wasser können als bereichernde Elemente in diese Planung einbezogen sein. Sie lassen sich als ökologische Ausgleichsflächen in die zu gestaltende neue Kulturlandschaft einfügen.

## Kiesdamm



*Sicker- und Abflusshilfen können beispielsweise auch so gestaltet werden. Bei diesem System kann viel kostbares Rohmaterial eingespart und trotzdem eine gute Entwässerungswirkung erreicht werden.*

## Auftrag des Unterbodens

Je nach Verfahren und Transportdistanz wird der Unterboden mit Lastwagen, Dumper oder Schürfkübelraupe herangeführt und mit dem Bagger oder dem Moordozer verteilt. Bei günstigen Verhältnissen (absolut trockener Untergrund, trockener Unterboden, geeignete, leichte Maschinen und erfahrene Maschinisten) kann Unterboden direkt mit der Schürfkübelraupe geschüttet werden.

### Teil 4

Fremdes Unterbodenmaterial darf nur eingebaut werden, wenn es die geeignete Qualität aufweist. Stark toniger oder torfiger Boden darf nicht verwendet werden.

## Zwischenbegrünung

Der locker geschüttete Unterboden wird mit landwirtschaftlichen Geräten vorbereitet und angesät. Das Saatbeet sollte nicht zu fein bearbeitet werden, weil Unterboden ohnehin stark zum Zerfallen und zur Verschlämzung neigt. Die nachfolgende Krustenbildung verhindert dann oft das Aufkommen der Saat. Im grob bearbeiteten Saatbeet gehen die Samenkörner teilweise verloren, weil sie zu tief zwischen die Schollen versinken. Deshalb muss für die Saat auf Unterboden die empfohlene Normalsaatmenge um ca. 50 % erhöht werden.

Über die Menge und die Zusammensetzung einer allfälligen Grunddüngung geben Proben und Nährstoffanalysen Aufschluss. Auch beim Ausbringen von organischen Düngemitteln wie Mist und Kompost muss vorsichtig dosiert werden, da die für den Abbauprozess verantwortlichen Organismen im wenig belebten

Unterboden kaum vorhanden sind. Flach eingearbeitetes, aktives, organisches Material wie aerob verrotteter Mist und Kompost können aber die Startbedingungen merklich verbessern. Gülle und Klärschlamm sind hingegen ungeeignet.

## Wahl der Kultur

Verschiedene Richtlinien empfehlen die Verwendung von Ölrettich, Gelbsenf und Rübsen als tiefwurzelnde Pflanzen. Diese können ihre positive Wirkung jedoch nicht in jedem Boden voll entfalten. Je nach Bodenart, pH und Klima entwickeln sich andere Pionierpflanzen ebensogut. Diese Saatmischungen sind in mancher Beziehung sicherer als Reinsäaten. Andererseits vertragen gewisse Pflanzen aber die Konkurrenz anderer nicht und kommen in Mischungen nicht auf. Als Reinsaat könnten sie sich hingegen stark und schnell entwickeln.

## Oberboden auftrag

Der Oberboden wird im Jahr nach der Zwischenbegrünung (bei gut abgetrocknetem Boden eventuell noch im gleichen Jahr), spätestens anfangs August aufgetragen. Wenn die Zwischenbegrünung stark entwickelt ist, muss sie vor dem Überschütten geschnitten und zerkleinert liegengelassen werden (Schlegelmäher, Mulchmäher).

Abgefrorene, nicht winterharte Pflanzen (Sorghum, Sonnenblume, Buchweizen, Ölrettich) müssen in der Regel nicht zerkleinert werden.

Auf das Abführen des Pflanzenmaterials kann verzichtet werden, wenn die Saatbeetzubereitung in Form einer tiefen Durchlüftung (Spatenpflug, MM100 Grubber) geschieht. Anhäufungen von Pflanzenmaterial sind vor dem Oberboden auftrag gut zu verteilen (Vermeiden sog. Matrzenbildung).

Der Oberboden kann auf verschiedene Art angeführt und geschüttet werden. Der voraktivierte und durch Wurzeln bereits erschlossene Unterboden soll dabei möglichst wenig und nur im absolut trockenen Zustand befahren werden.

## **Bearbeitung und Saat**

Die lose Schüttmächtigkeit muss mindestens 25 - 30 % höher sein als die Mächtigkeit im abgesetzten Zustand. Es ist wenig sinnvoll, humushaltigen Oberboden mehr als 40 cm dick aufzutragen (Ausnahme: Bodenbörse). Die aufgetragene Oberbodenschicht soll Luft bis zum organisch aktivierten Unterboden vordringen lassen. Eine Tieflockerung zur Saatbeetvorbereitung kann diese Bedingungen notfalls schaffen.

Das so vorbereitete Saatbeet wird mit einer mehrjährigen Kleegras-Luzernemischung (Luzerne vorher mit Bakterienpräparat impfen) besät und mindestens drei Jahre schonend bewirtschaftet (siehe Teil 5).

**Teil 4**

# Folgebewirtschaftung

## Vorschriften

Die Dauer und Minderwertsentschädigung der Folgebewirtschaftung wird bei UVP-pflichtigen Projekten vertraglich mit den betroffenen Eigentümern geregelt.

Die Folgebewirtschaftung hat zum Ziel, in geschädigten, im labilen Zustand befindlichen Böden eine biologische Aktivität aufzubauen, welche die dauerhafte Stabilisierung und Restrukturierung der Böden einleitet und unterstützt.

## Teil 5

### Kurzfristige Grünphase

Die Folgebewirtschaftung ist überall dort angezeigt, wo Boden in seiner natürlichen Lagerung stark verdichtet wurde und mit Tieflockerung behandelt werden musste (z.B. Leitungsbau ohne Abhumusieren des Fahr- und Arbeitsstreifens). Hier genügt in der Regel eine

Restrukturierungsphase in Form einer extensiven Grünlandnutzung während eines Jahres, bevor wieder zum normalen Fruchtwechsel übergegangen werden kann.

### Normale Folgebewirtschaftung

In allen Fällen, in denen der Boden aus seiner natürlichen Lage herausgenommen wurde und deshalb eine Zwischenbegrünung des Unterbodens stattgefunden hat, muss die Dauer der Folgebewirtschaftung verlängert werden (z.B. Rekultivierungen nach Kiesabbau, Leitungsbau mit abhumusiertem Fahrstreifen). Eine Vegetationsperiode genügt nicht, um die Gleichgewichtsverhältnisse im frisch angelegten Boden wieder herzustellen und zu stabilisieren. Als Minimum sind dafür drei volle Jahre nötig. Erfahrungen in wenig begünstigten Lagen mit schwierigen Böden zeigen, dass in vielen Fällen fünf Jahre, in Einzelfällen zehn Jahre nicht ausreichen, um die gewünschte Konsolidierung im Boden zu erreichen.

**Nachstehende Massnahmen sind Empfehlungen für die mehrjährige Folgebewirtschaftung frisch angelegter landwirtschaftlicher Böden (nach erfolgter Zwischenabnahme). Sie ermöglichen eine erfolgreiche Restrukturierung des Bodens**

(Rekultivierung vor der Schlussabnahme und vor der Rückgabe zur normalen Nutzung):

- Nur im trockenen Zustand und mit leichten Maschinen befahren
- Keinerlei Bodenbearbeitung
- Anbau von Tiefwurzern (Luzerne/Rotklee)
- Dürrfutternutzung

- Keine Stickstoffdüngung, keine Gülle und kein Herbizideinsatz
- Kein tiefer und kein früher Schnitt
- Keine Beweidung
- Genügende Entwicklungsdauer (mindestens 4 Jahre, von Werkabnahme bis Rückgabe zur normalen Nutzung)

*Empfohlene Massnahmen während mehrjähriger Folgebewirtschaftung (6)*

## Wirkungsweise

Die sorgfältige Folgebewirtschaftung hat zum Ziel, in einem wiederhergestellten Boden die für die Bodenfruchtbarkeit notwendigen Eigenschaften herbeizuführen. Dies sind vor allem:

- Befestigung der labilen Bodenstruktur durch Lebendverbau mit Wurzelwerk. Damit wird die Tragfähigkeit und Befahrbarkeit des Bodens verbessert.
- Verdunstung überschüssigen Wassers: Eine Wiese verdunstet an einem einzigen Sommertag bis zu fünf Liter Wasser pro m<sup>2</sup>.
- Biologische Erschliessung inaktiver, verdichteter Schollen durch Feinwurzeln: Durch Wurzelbakterien der Luzerne werden pro ha und Jahr bis zu 170 kg reiner Stickstoff aus der Luft fixiert.
- Förderung der Bodentiere, vor allem der Regenwürmer, welche nebst dem Graben von Grobporen vor allem auch für die Bildung der Ton-Humuskomplexe (Krümel) im Boden wichtig sind.

Damit diese Ziele erreicht werden, ist es notwendig, den Bewirtschafter davon zu überzeugen, dass während der Folgenutzungsphase nicht die Maximierung des Ertrages, sondern die Optimierung der Lebensbedingungen für Pflanzen und Bodentiere absoluten Vorrang hat. Es ist deshalb sinnvoll, Fragen der Folgebewirtschaftung und der Ertragsausfallentschädigung im Voraus zu regeln.

## Düngung

Die Düngung richtet sich grundsätzlich nach dem standortspezifischen Nährstoffangebot, das vorgängig durch eine Bodenanalyse ermittelt wird. Die Probenahme erfolgt an mindestens 15 Punkten, welche gleichmäßig über die zu beprobende Fläche verteilt sind.

Bestehen innerhalb der Parzelle flächige Unterschiede, so sind solche Abschnitte separat zu beproben und zu kennzeichnen. Es empfiehlt sich, eine umfassende Analyse durchzuführen und sowohl die wasserlöslichen Nährstoffe als auch den Nährstoffvorrat bestimmen zu lassen.

### **Kein Stickstoff**

Überdüngte Bestände entwickeln kein robustes Wurzelwerk, die tiefe Durchwurzelung entsteht dann, wenn die Pflanze ihre Nährstoffe und ihr Wasser im Boden suchen muss. Um den Bestand der Luzerne zu fördern, ist auf die Stickstoffdüngung zu verzichten.

### **Organische Dünger**

Organische Dünger in Form von gut verrottetem Mist oder Kompost sind in mässigen Gaben feinverteilt auszubringen. Sie werden von den Regenwürmern gut angenommen und fördern die Entwicklung des Wurmbestandes. Durch die Grab- und Fresätigkeit der Würmer wird die mineralische Feinerde mit der organischen Substanz im Verdauungstrakt der Bodentiere intensiv vermischt. Es werden wertvolle Ton-Humuskomplexe (Krümel) gebildet.

### **Keine Gülle**

Gülle schadet dem Wurmbestand, da gerade die wertvollen, tiefgrabenden Arten in ihren senkrechten Gängen nicht flüchten können und so verätzt werden. Ebenso fördert die Gülle den Graswuchs, welcher die Luzerne konkurrenziert und verschwinden lässt. Auf Gülle und Klärschlamm als Düngemittel ist während der Folgebewirtschaftungsphase zu verzichten. Schwache Gaben gut belüfteter, nicht ätzender Vollgülle sind ab dem zweiten Standjahr tolerierbar.

## Nutzung

Im Saatjahr ist bei Frühsaaten ein Herbstschnitt, bei späteren Saaten ein Säuberungschnitt angezeigt, bei dem das spärlich anfallende Mähgut breit liegengelassen wird. Luzerne nie zu früh und nicht zu tief mähen!

### Dürrfutter oder Silage

Ab dem zweiten Jahr wird eine regelmässige Dürrfutternutzung empfohlen. Damit ist das Risiko der Bodenverdichtung am geringsten. Wenn strikte auf trockene, tragfähige Böden geachtet wird, kann auch die Silage toleriert werden.

### Kein Eingrasen und kein Weidegang

Auf das Eingrasen und den Weidegang ist in dieser Phase zu verzichten. Häufiges Mähen schwächt den Luzerne- und Rotkleebestand und kann zudem zu Bodenverdichtung führen. Beim Weiden entstehen punktuelle Bodenverdichtungen. Ebenso verdrängt das Weiden Luzerne und Rotklee als wertvolle Tiefwurzler rasch.

### Erfolgskontrolle

Während der Folgebewirtschaftungszeit werden Mängel wie Staunässen, Erstickung etc. an Veränderungen des Pflanzenbestandes erkennbar. Normalerweise sollte sich ein Bestand nach sorgfältiger Rekultivierungsarbeit regelmässig entwickeln und mit zunehmender Dauer immer kräftiger und ausgeglichener werden. Starke Bestandesunterschiede zeigen Mängel an, die in aller Regel durch Zusatzmassnahmen wie Tieflockerung und Drainage korrigiert werden müssen.

## Kontrolle des Nährstoffhaushaltes

Unter ähnlichen Bedingungen wie zu Beginn soll nach etwa zwei bis drei Jahren Folgebewirtschaftung die Nährstoffversorgung durch Bodenanalysen erneut überprüft werden. Um die Vergleichbarkeit der Resultate zu gewährleisten, sind die Proben demselben Labor zur Untersuchung zuzuweisen. Zur Interpretation der Ergebnisse sollte ein versierter Pflanzenbauberater beigezogen werden.

## Spatenprobe

Mit der Spatenprobe wird an mehreren Stellen, auch unmittelbar ausserhalb der Rekultivierungsfläche, ein ca. 45 cm tiefes Loch graben und ein zusammenhängendes Stück Boden auf die volle Tiefe ausgehoben. Dieser Erdblock wird von oben nach unten sorgfältig untersucht. Die Feststellungen werden in Abschnitten von 5 cm protokolliert (vgl. nebenstehendes Formular).

Vor allem interessieren in diesem Zusammenhang:

- der Einstichwiderstand (Verdichtungsgrad),
- Regelmässigkeit und Tiefe der Durchwurzelung (Erschliessung),
- die Anwesenheit und Tätigkeit der Bodentiere (vor allem der Regenwürmer),
- die Form und Stabilität der Krümel,
- die Abbautätigkeit auch in tieferen Bereichen (sind keine Überreste der Zwischenbegrünung mehr zu finden?) und
- die Lagerungsdichte und Durchlüftung (sind Schollen gut brechbar, gibt es stickige und verfärbte Zonen?).

Die Spatenprobe bildet zumeist Bestandteil der Abnahme grösserer Rekultivierungen durch die zuständigen Aufsichtsstellen.

**Spatenprobe****Bodenart:**

Kriterien	Bodenart:							
	05	10	15	20	25	30	35	40
<b>Genereller Bodenzustand</b>								
locker, krümelig	<input type="checkbox"/>							
hart, zäh, verklumpt	<input type="checkbox"/>							
nicht abgebaute organische Substanz	<input type="checkbox"/>							
<b>Geruch</b>								
angenehm, erdig, frisch	<input type="checkbox"/>							
stinkend, klärschlammähnlich	<input type="checkbox"/>							
geruchlos	<input type="checkbox"/>							
<b>Farbe</b>								
warm, regelmässig	<input type="checkbox"/>							
fahl, fleckig	<input type="checkbox"/>							
<b>Feinstruktur</b>								
weichbrüchig, rundlich	<input type="checkbox"/>							
hart brechend, scharfkantig	<input type="checkbox"/>							
<b>Durchwurzelung</b>								
dicht, regelmässig	<input type="checkbox"/>							
auf Risse und Wurmgänge beschränkt	<input type="checkbox"/>							
keine	<input type="checkbox"/>							
<b>Würmer</b>								
sichtbar, aktiv	<input type="checkbox"/>							
keine Aktivität	<input type="checkbox"/>							

**Einfache Beprobung****Empfehlungen**

Bodenoberfläche	Massnahmen
<input type="checkbox"/> locker, gut aggregiert	<input type="checkbox"/> keine
<input type="checkbox"/> verschlämmt, verkrustet	<input type="checkbox"/> striegeln, lockern
<input type="checkbox"/> erodiert	<input type="checkbox"/> Einsaat
<b>Bodenfeuchte / Umschreibung</b>	
<input type="checkbox"/> trocken, hartschollig	<input type="checkbox"/> befahren, aber nicht fein bearbeiten
<input type="checkbox"/> erdfeucht, brüchig, gar	<input type="checkbox"/> bearbeiten, aber nicht befahren
<input type="checkbox"/> nass, breiig oder knetbar	<input type="checkbox"/> weder befahren noch bearbeiten
<b>Lufthaushalt, biologische Tätigkeit</b>	
<b>Geruch, Farbe, Abbau organischer Masse</b>	
<input type="checkbox"/> Graufärbung, stinkig	<input type="checkbox"/> Grünbrache, Kunstwiese anlegen
<input type="checkbox"/> Erntereste nicht abgebaut	<input type="checkbox"/> nicht nass bearbeiten, ev. pfluglos
<b>Weitere Angaben (Kultur, Bestand, Vernässung usw.)</b>	

**Datum:****Unterschrift:**

## **Übergang zur Fruchtfolge**

In drei Jahren Folgebewirtschaftung kann ein Boden niemals seine volle Strukturstabilität aufbauen. Dieser Tatsache muss bei der ackerbaulichen Wiederinkulturnahme Rechnung getragen werden. Auf den Anbau von boden-zehrenden Hackfrüchten wie Kartoffeln oder Feldgemüse, von spät zu erntenden Kulturen mit schwerlastigen Ernteverfahren wie Zuckerrüben oder Silomais, sollte in den ersten darauffolgenden Jahren unbedingt verzichtet werden. Eine getreidebetonte Fruchtfolge, mit möglichst früher Zwischenschaltung einer Kunstwiese, ist zu bevorzugen.

### **Teil 5**

Es ist wenig sinnvoll, Boden mit viel Aufwand locker anzulegen, um ihn nachher in Tiefen zu verdichten, die nicht oder nur mit grossem Aufwand wieder gelockert werden können. Tieflockerung ist kein Heilmittel gegen Bodenverdichtung. Es ist ein ziemlich grober Eingriff, der die Voraussetzungen für eine Restrukturierung des geschädigten Bodens schafft. Dieser Eingriff darf keinesfalls als beliebig oft wiederholbare Bodenbearbeitungsmassnahme angesehen werden.

# Befahren des Bodens

## Befahren des Bodens bei tiefbau-lichen Eingriffen

Für die Bewirtschaftung des Bodens, für die Ernte und für den Abtransport des Erntegutes muss natürlicher Boden in Feld und Wald befahren werden. Mit zunehmender Mechanisierung entstehen daraus bereits Probleme. Diese sind erkannt und müssen im Rahmen der neuen Artikel über den physikalischen Bodenschutz in der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, 7) angegangen werden.

Wenn Boden für tiefbauliche Zwecke befahren wird, herrschen meist andere Voraussetzungen. Die wichtigsten Unterschiede zur Bewirtschaftung bestehen in der Regel darin, dass:

- der Oberboden vorgängig grossflächig abgetragen und zwischengelagert wird (sog. Abhumusieren),
- die Bauarbeiten projektbedingt meist über das ganze Jahr verteilt ausgeführt werden,
- die Durchfahrten nicht einmalig, wie bei Bestellung und Ernte, sondern oft unzählige Male an derselben Stelle erfolgen,
- meist schwerere Maschinen und Fahrzeuge zum Einsatz kommen und
- immer schwergewichtige Materialien wie Aushub, Bauelemente, Kies und Beton verschoben werden.

Gewisse Tiefbauarbeiten, vor allem für den Verkehr und die Energieversorgung, werden auch in Zukunft grössere Kulturland- und Waldflächen temporär beanspruchen. Es geht darum, die Möglichkeiten des mechanischen Bodenschutzes aufzuzeigen, damit sie im Rahmen der Planung und Durchführung solcher Arbeiten optimal berücksichtigt werden.

## Bodenfruchtbarkeit erhalten

Allgemeines und oberstes Ziel ist die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (Definition im Kapitel 1 der Grundlagen). Es gilt zu verhindern, dass der Boden durch mechanische Einwirkungen seine natürlichen Qualitäten als Pflanzenstandort einbüsst. Das Gleichgewicht des natürlich gewachsenen Bodens muss geschont und jede unnötige Bodenverdichtung oder Störung der natürlichen Horizontierung (Schichtung) vermieden werden.

Dieses Ziel kann durch folgende Massnahmen erreicht werden:

- Boden nur im gut abgetrockneten, genügend tragfähigen Zustand befahren,
- nur geeignete Maschinen und Verfahren einsetzen,
- unnötige Fahrten vermeiden,
- Fläche des Eingriffes möglichst klein halten,
- jede unnötige Umlagerung von Boden, insbesondere Abhumusieren, vermeiden und
- Boden nie unbepflanzt, d.h. brach und somit ungeschützt, liegen lassen.

Diese Massnahmen müssen zwingend Bestandteil des Vorprojekts, des Hauptprojekts und dessen Zeitplan sowie der entsprechenden Ausschreibung sein und in der Realisierungsphase kontrolliert umgesetzt werden. Dies bedingt in der Regel den Bezug einer bodenkundlichen Baubegleitung durch ausgewiesene Fachpersonen (siehe Teil 0).

Die Umsetzung einzelner Massnahmen in die Praxis ist nachstehend in obiger Reihenfolge kurz erläutert. Detaillierte Angaben

zu den einzelnen Punkten sind in den folgenden «Erläuterungen zum Thema Boden» behandelt.

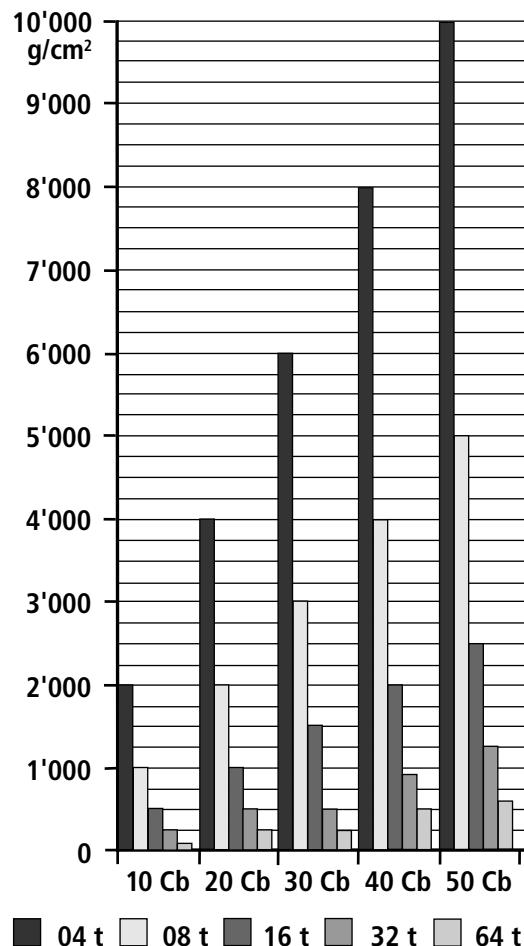
### Trockener Boden

Trockener Boden ist tragfähig. Als Mass für die Befahrbarkeit gilt die Saugspannung, die mit dem Tensiometer gemessen wird. Eine Messeinheit setzt sich aus fünf Tensiometern zusammen. Gültiger Wert ist der Median aus den abgelesenen Einzelwerten. Bei Saugspannungen unter 10 Centibar dürfen Böden nicht befahren werden.

### Geeignete Maschinen

Geeignet sind Maschinen mit möglichst geringem Gewicht und guter Gewichtsverteilung bzw. kleiner Flächenpressung. Breite und lange Fahrwerke ergeben eine geringere Flächenpressung. Optimal ausgerüstete Maschinen können leicht doppelt so lange Einsatzzeiten erreichen wie normale, besonders in Bauphasen mit relativ feuchtem Boden.

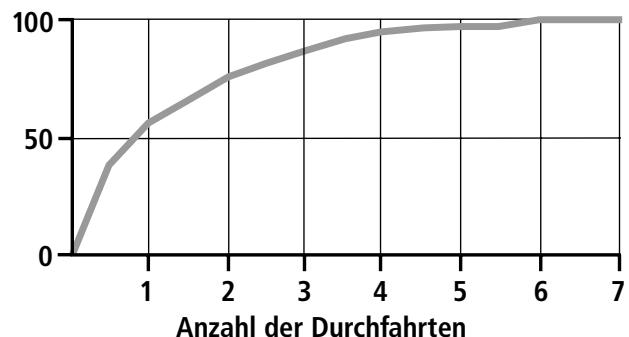
*Die Grafik zeigt die zulässige Flächenpressung in  $\text{g}/\text{cm}^2$  (links) und das Maschinengewicht in Tonnen (t) bei einer bestimmten Saugspannung in Centibar (Cb, unten). Es zeigt sich beispielsweise, dass ein Bagger mit 16 t Gewicht und einer Flächenpressung von 1000  $\text{g}/\text{cm}^2$  bei Verdoppelung der Auflagefläche schon ab 10 statt erst ab 20 Cb eingesetzt werden darf.*



### Weniger Fahrten

Die einzelnen Arbeiten sind so zu planen, dass sie mit möglichst wenig Fahrten realisiert werden können. Häufiges Befahren ist eine Hauptursache der Verdichtung.

### Verdichtungsgrad



Vor allem schwere Pneufahrzeuge (LKW, Pneulader) weisen sehr hohe Verdichtungskapazitäten auf. Auf ihren Einsatz im Kulturland

sollte daher verzichtet werden. Für mehrmaliges Befahren sind Saugspannungen unter 20 Cb in tonreichen Böden (Tongehalt > 30 %) generell nicht zulässig, da sich der beeinflusste Bodenbereich im Zustand plastischer Verformbarkeit befindet. Wo ein mehrfaches Befahren des gleichen Abschnittes unvermeidlich ist, muss für Transportfahrten vor Arbeitsbeginn eine Piste (z.B. Baggermatrizen oder Kiespiste) ausgelegt werden.

## Kleine Arbeitsflächen

Die beanspruchten Flächen sind immer möglichst klein zu halten und einzugrenzen. Für Grossbaustellen, wie beispielsweise den Pipelinebau, muss das Verfahren in geeigneter Form angepasst werden. Bei Geländeauffüllungen und Rekultivierungen sind Zufahrten so anzulegen, dass sie vor dem Auftrag des Unter- und Oberbodens auf ihrer ganzen Fläche ge- lockert werden können.

## Kein Abhumusieren

Das saubere Abstossen der Oberbodenschicht vor dem tiefbaulichen Eingriff ins Gelände hat zwar Tradition. Selbst viele Landeigentümer sind von der Zweckmässigkeit dieser Massnahme überzeugt (Argument: weniger Humusverlust). Aus bodenschützerischer Sicht aber ist Abhumusieren allenfalls bei sehr flachgründigen Böden vertretbar.

Besonders dort, wo es darum geht, den Boden nur für wenige Durchfahrten zu benützen, ist es aber besser, den Oberboden als Schutzschicht liegen zu lassen. Dieser hat aufgrund seiner biologischen Aktivität ein wesentlich besseres Regenerationsvermögen als der darunterliegende Unterboden.

Im verdichteten Unterboden ist eine Restrukturierung kaum mehr möglich. Die Sanierung verdichteter Unterböden ist kostspielig und zeitaufwendig.

Auch wenn Aushub nur kurzzeitig zwischengelagert wird, ist es besser, ihn auf dem Oberboden anzulegen. Zwar ist u.U. eine lokale "Erstickung" des Bodens möglich (erkennbar am Faulgeruch beim Wiedereinfüllen des Aushubes). Die biologische Aktivität stellt sich aber bei oberflächlichem Auflockern und Belüften rasch wieder ein.

Wenn im Oberboden bei gleichem Maschinen- gewicht viel tiefere Spuren als im Unterboden entstehen, so ist dies auf die Verpressung der Grobporen zurückzuführen. Weil Unterboden weniger Grobporen enthält, sind Verpressun-

gen dort weniger augenfällig, bedeuten aber in den meisten Fällen einen fast vollständigen Verlust der Grobporen. Ohne aufwendige Sanierungsmassnahmen können solche Schäden nicht mehr behoben werden.

## Boden immer begrünen

Begrünter Boden ist bedeutend tragfähiger als Ackerboden. Fünf Liter Wasser pro Tag und m<sup>2</sup> werden im Sommer dem Boden einer Wiese problemlos entzogen, bzw. verdunstet. Die Begrünung der beanspruchten Flächen muss möglichst früh, am besten schon ein oder zwei Jahre vor dem Eingriff erfolgen, damit sich die Wiese voll entwickeln kann. Nach dem Befahren erholt sich die Wiese in der Regel rasch. Nur in schweren Fällen muss sie neu angelegt werden. Meist genügt ein Aufrauhen mit Übersaat.