

# Arbeitshilfe zur Erfassung und Beurteilung von Bodenschadverdichtungen

## Einleitung

Die Arbeitshilfe fasst das BGS-Dokument 13 «Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen» zusammen. Sie enthält konkrete Vorschläge für Richt- und Massnahmenwerte sowie Empfehlungen zu den Messmethoden, um die Anwendung zu vereinheitlichen und zu erleichtern.

Verdichtungen des Bodens, welche seine Fruchtbarkeit langfristig beeinträchtigen, sind nach Umweltschutzgesetz (USG, SR 814.01) Artikel 33 und Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, SR 814.12) Artikel 6 zu vermeiden. Neben der Richtlinie zum Rohrleitungsbau existieren weitere Richtlinien, Merkblätter und Grundsätze zum Schutze des Bodens. Richt- und Massnahmenwerte zur Beurteilung der Bodenverdichtung fehlen jedoch bis heute, was bei der Anwendung unbefriedigend ist.

Die Möglichkeit einer Schädigung der Bodenqualität durch mechanische Beeinträchtigungen wurde bereits in der Mitte des letzten Jahrhunderts erkannt. Besonders die Auswirkungen des Baus der ersten Transitgasleitung in den 1970er Jahren führten zwei Jahrzehnte später zur Erkenntnis, dass der Boden durch unsachgemässes Handeln langfristig beeinträchtigt wird.

Der Oberboden regeneriert sich meist innerhalb einiger Jahre, der Unterboden hingegen auch längerfristig kaum. Grundsätzlich ist die mechanische Lockerung des Unterbodens möglich. Sie führt aber zu einem instabilen Bodengefüge, das äusserst anfällig auf neuerliche Verdichtung ist.

Der Schutz des Bodens vor Verdichtung ist nicht nur ein Anliegen bei Bauvorhaben, sondern bei jeglicher Nutzung des Bodens, sei es in der Land- und Forstwirtschaft, im Gartenbau oder bei Freizeitveranstaltungen.



## Richt- und Massnahmenwerte bei Bodenverdichtungen

### Gesetzliche Grundlagen und Begriffe

Das vorliegende Dokument befasst sich mit Methoden und Werten zur Bestimmung und Beurteilung der aktuellen Verdichtung von Böden.

Methoden und Werte zur Bestimmung und Beurteilung der Verdichtungs**empfindlichkeit** sind in anderen Dokumenten dargestellt und werden hier nicht behandelt (Bodenschutzrichtlinien, 1997; Empfindlichkeit der Baselbieter Böden gegenüber mechanischen Einwirkungen, 1998; Schweizer Norm SN 640 582, 1999)

Ist der Richtwert einer Messgrösse überschritten (bei Grobporen unterschritten), ist dies ein Anzeichen dafür, dass die Bodenfruchtbarkeit langfristig gefährdet ist. Die Ursache der Belastung wird durch die Kantone ermittelt (VBBo, Art. 8, Abs. 1). Bei Bedarf geben sie Empfehlungen zu bodenschonender Bewirtschaftung ab.

*Im BGS-Dokument 13 (2004) werden die Bezeichnungen Richtwerte und Prüfwerte verwendet. Gemäss VBBo Art. 2 geben Prüfwerte für bestimmte Nutzungsarten Belastungen des Bodens an, bei deren Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft und der Erfahrung Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet werden können. Bodenverdichtungen führen jedoch nicht zu einer nutzungsabhängigen Gefährdung von Menschen, Tieren und Pflanzen. Der Begriff Prüfwert ist somit auf Boden(schad)verdichtungen nicht anwendbar (Tschannen, 1999). Die aktuelle Verdichtung wird daher mit Hilfe von Richt- und Massnahmenwerten beurteilt. Sie gelten grundsätzlich für alle Böden gemäss USG Art. 7.*

Ist der Massnahmenwert einer Messgrösse überschritten (bei Grobporen unterschritten), so empfehlen die Kantone bodenschonende Bewirtschaftung und Nutzungseinschränkungen und bei Bedarf weitere Massnahmen wie Tiefenlockerung und Entwässerung.

Liegt eine Überschreitung (bei Grobporen Unterschreitung) des Richt- oder Massnahmenwertes aus natürlichen Gründen vor, kann die zuständige Behörde trotzdem Empfehlungen zur Bewirtschaftung abgeben.



## Theoretischer Hintergrund

Der Boden besteht aus den drei Phasen «fest» (Bodenmatrix), «flüssig» (Wasser) und «gasförmig» (Luft). Die bodenphysikalische Beschreibung ist auf drei verschiedenen Informationsebenen möglich:

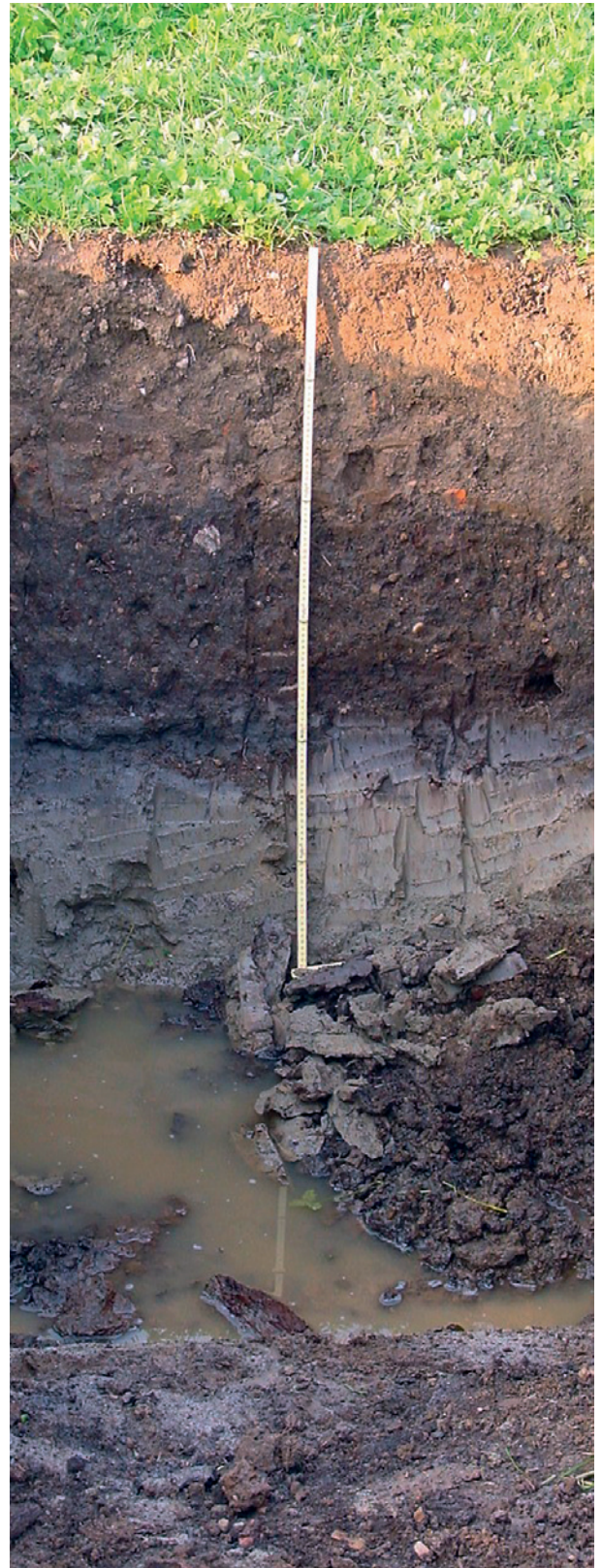
- 1) Phasenanteile (Lagerungsdichte, reelle Dichte, Wassergehalt, Porosität);
- 2) Grössenverteilung (Korngrössenverteilung, Porengrössenverteilung);
- 3) Räumliche Anordnung (Kontinuität, Uniformität und Tortuosität [Gewundenheit] der Poren).

Die bodenphysikalischen Messgrössen Lagerungsdichte, Grobporenvolumen und gesättigte Wasserleitfähigkeit gehören, in dieser Reihenfolge, zu den obgenannten Ebenen. Der Messaufwand, aber auch die Aussagekraft der Messgrösse nimmt in dieser Reihenfolge zu. Da zur Beurteilung der Durchwurzelbarkeit neben der Lagerungsdichte auch der Tongehalt wichtig ist, wird anstelle der Lagerungsdichte die mit dem Tongehalt korrigierte Lagerungsdichte, die effektive Lagerungsdichte verwendet.

Als weitere Messgrösse zur Lokalisierung verdichteter Horizonte oder zur eigenständigen Beurteilung verdichteter Böden dient der Eindringwiderstand. Der Eindringwiderstand ist eine bodenmechanische Messgrösse und lässt sich nicht in das Schema der drei andern bodenphysikalischen Grössen einordnen.

### Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte gibt die Masse Festsubstanz pro Volumen Boden an ( $\text{kg m}^{-3}$ ). Bei bekannter Dichte der Festsubstanz (entspricht der reellen Dichte) lässt sich aus der Lagerungsdichte das Porenvolumen berechnen. Das Porenvolumen setzt sich zusammen aus primären Poren (Textur), abhängig von der Grösse und der Form der Partikel der Festsubstanz, und aus sekundären Poren (Struktur), entstanden z.B. durch Frostrisse, Trockenrisse, Wurzelkanäle und Wurmloch. Wird der Boden verdichtet, werden zuerst die grossen Poren zerstört, also meistens die sekundären Poren. Die Lagerungsdichte nimmt entsprechend zu. Sie ist daher ein Mass dafür, wie stark er verdichtet wurde. Je grösser der Tongehalt eines Bodens ist, desto kleiner sind die primären Poren und desto wichtiger sind die sekundären Poren. Daher wird die Lagerungsdichte mit dem Tongehalt korrigiert und als effektive Lagerungsdichte bezeichnet.





Mangels Daten für die Schweiz wird die in Deutschland übliche Berechnung übernommen. Böden mit einem Gehalt an organischer Substanz grösser als 10% bis in eine Bodentiefe von mehr als 30 cm können mit diesem Ansatz nicht beurteilt werden.

### **Grobporenvolumen**

Boden saugt Wasser auf wie ein Schwamm. Je kleiner die Poren sind, desto stärker wird das Wasser im Boden festgehalten. Die Grösse der Poren und die Rückhaltekraft sind umgekehrt proportional zueinander. Diese Rückhaltekraft wird als Saugspannung bezeichnet. Es ist diejenige Kraft, welche die Pflanze aufbringen muss, um dem Boden Wasser zu entziehen. Als Einheit dient das Pascal ( $\text{N m}^{-2}$ ). Häufig werden hPa (1 Hektopascal = 1 mbar  $\approx$  1 cm Wassersäule) oder cbar (1 Centibar = 0.01 bar = 1 kPa) verwendet.

In einer gesättigten Bodenprobe sind fast alle Poren mit Wasser gefüllt und der Luftgehalt ist minimal. Mit Unterdruck oder Überdruck lässt sich dem Boden Wasser entnehmen. Wird die Menge des ausgeflossenen Wassers gegen den zunehmenden Unterdruck aufgezeichnet, ergibt sich eine Desorptionskurve. Je grösser der Anteil der feinen Poren, desto weniger Wasser wird dem Boden bis zu einem bestimmten Druck entnommen.

Wird ein Boden verdichtet, nimmt der Anteil der groben Poren ab und umgekehrt derjenige der feinen Poren zu. Der Boden enthält bei einer bestimmten Saugspannung mehr wasser- und damit weniger luftführende Poren als ein lockerer Boden. Die Bodenverdichtung lässt sich an einem geringeren Wasserverlust im Bereich nahe der Sättigung erkennen. Üblicherweise wird der Wasserverlust zwischen Sättigung und einer kleinen Saugspannung bestimmt.

### **Gesättigte Wasserleitfähigkeit**

Für das Pflanzenwachstum ausserordentlich wichtig ist die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu transportieren. Die Wasserleitfähigkeit, gesättigt wie ungesättigt, ist abhängig von der Textur (Ton-, Silt-, Sand- und Skelettgehalt) und der Struktur des Bodens.

In einem gut durchlässigen Boden beträgt die Wasserleitfähigkeit im gesättigten Zustand 1 mm/s und mehr, in einem schlecht durchlässigen Boden Bruchteile von 1  $\mu\text{m/s}$ . Infolge

der Inhomogenität des Bodens variiert die Wasserleitfähigkeit am gleichen Standort in erheblichem Masse. Die Bestimmung eines repräsentativen Wertes für die gesättigte Wasserleitfähigkeit ist in einem schlecht durchlässigen Boden, der einzelne Makroporen enthält, besonders schwierig.

Die Wasserleitfähigkeiten lassen sich im Feld und im Labor bestimmen. Im Feld sind die Randbedingungen schwierig zu erfassen und zu beeinflussen, dafür wird der Boden in seiner natürlichen Lagerung mit ungestörtem Porensystem untersucht. Im Labor hingegen sind die Randbedingungen eindeutig, dafür ist der Einfluss der Probenahme, der Probenlänge (Zylinderlänge) und des Wasserflusses zwischen Probe und Zylinder auf den Messwert schwierig zu quantifizieren.

Die Wasserleitfähigkeit hängt von der Porengrößenverteilung (Desorptionskurve, Grobporen) ab und von der Anordnung der Poren (Tortuosität, Uniformität, Kontinuität).

Während die Lagerungsdichte die Veränderung des gesamten Porenvolumens erfasst, das bei Verdichtung nicht immer abnimmt, erfasst die Bestimmung des Anteils der Grobporen die Veränderung desjenigen Porenvolumens, das bei Verdichtung immer abnimmt.

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit reagiert schliesslich nicht nur auf den Verlust grober Poren, sondern auch auf die Zerstörung der Kontinuität der Poren und damit von den drei Messwerten am empfindlichsten auf Veränderungen des Bodengefüges durch Bodenverdichtung.

### **Eindringwiderstand**

Die Bestimmung des Eindringwiderstandes ist eine effiziente Methode zur Ermittlung der räumlichen Ausdehnung verdichteter Horizonte, sowohl in der Tiefe wie auch in der Fläche. Sie dient im Rahmen dieser Arbeitshilfe als Methode zur Lokalisierung verdichteter Horizonte oder als eigenständige Methode zur Beurteilung verdichteter Böden.

Der Eindringwiderstand wird mit einem Penetrometer bestimmt. Sein Grundprinzip basiert darauf, dass eine Kegelspitze an einem Sondiergestänge mit Hammer schlägen in den Boden gerammt wird. Die Berechnung des Eindringwiderstandes (MPa) erfolgt durch die Bestimmung der Schlagenergie und der Eindringtiefe des Gestänges bei

bekannter Kegelspitzenoberfläche und bekannter Masse der beweglichen Teile inklusive des Hammers. Die maximale Sondiertiefe ist von der Beschaffenheit des Untergrundes und vom Typ des Penetrometers abhängig. Für die Bestimmung der Bodenverdichtung reichen üblicherweise 60 cm Eindringtiefe.

Die Evaluation der PANDA-Sonde, eines tragbaren Penetrometers, zeigte, dass die damit erhobenen Messwerte in skelettarmen Böden annähernd normalverteilt sind. Gestört wird diese Verteilung durch Steine. Werden für die Lokalisierung verdichteter Bereiche weniger als 10 Rammsondierungen gemacht, ist daher der Median dem arithmetischen Mittelwert vorzuziehen. Bei der Verwendung der PANDA-Sonde als eigenständige Methode zur Erfassung von Bodenschadverdichtungen mit mehr als 10 Rammsondierungen kann auch der Mittelwert verwendet werden. Der Einfluss der Bodenfeuchte auf die Messwerte der PANDA-Sonde ist im Gegensatz zu andern Penetrometern im Saugspannungsbereich von 150 bis 550 hPa gering. Die PANDA-Sonde erlaubt die zeit- und kostensparende Durchführung von Sondierungen mit hoher Auflösung. Das Gerät ermöglicht auch die Unterscheidung natürlich gewachsener Böden von Aufschüttungen.



## Messgrößen und ihre Anwendung

Der aktuelle Verdichtungszustand eines Bodens wird anhand der drei Messgrößen effektive Lagerungsdichte, Grobporenvolumen und gesättigte Wasserleitfähigkeit ermittelt. Alternativ kann die Beurteilung mit der Messgröße Eindringwiderstand allein erfolgen.

Die aufgeführten Richt- und Massnahmenwerte gelten für den mineralischen Ober- und Unterboden (A- und B-Horizont) bis in eine Tiefe von max. 60 cm. Sie gelten nicht für das Ausgangsmaterial (C-Horizont).

Der Horizontaufbau von Waldböden unterscheidet sich von demjenigen landwirtschaftlich genutzter Böden. Im Gegensatz zu den meisten landwirtschaftlich genutzten Böden bedeckt eine organische Auflage den obersten mineralischen Bodenhorizont. Zudem wird die Strukturbildung nicht regelmässig gestört. Schliesslich werden Waldböden bis heute weder alljährlich noch flächendeckend befahren. Sie sind folglich weniger dicht gelagert und nur lokal verdichtet. Für die Oberböden (A-Horizonte) im Wald kommen daher eigene Richt- und Massnahmenwerte zur Anwendung.

Besteht der Verdacht einer Bodenverdichtung, so werden die drei Messgrößen grundsätzlich entsprechend dem Flussdiagramm (siehe Seite 8) bestimmt. **Der Vergleich mit einem Boden an einem bodenkundlich vergleichbaren, wenn möglich unbeeinträchtigten Referenzstandort wird empfohlen.**

Grundsätzlich sind alle Messgrößen zusammen mit einem mittels Fehlerrechnung (siehe Beilage) ermittelten Fehlerwert anzugeben.

### 1) Effektive Lagerungsdichte

Effektive Lagerungsdichte = Lagerungsdichte [g/cm<sup>3</sup>] + 0.009 × Tongehalt [%]

<i>Richtwert:</i>	1.70 g/cm <sup>3</sup>	Ausnahme: A-Horizonte von Waldböden:	1.50 g/cm <sup>3</sup>
<i>Massnahmenwert:</i>	1.85 g/cm <sup>3</sup>	Ausnahme: A-Horizonte von Waldböden:	1.65 g/cm <sup>3</sup>

*Empfohlene Messmethoden* (Details siehe Einlageblätter):

- Die Lagerungsdichte wird mittels mindestens 100 ml, besser 300 ml grosser Zylinderproben (Verhältnis Höhe zu Durchmesser = 1±0.5) bestimmt. Bei skeletthaltigem Boden wird die Dichte der Feinerde (Korndurchmesser < 2 mm) berechnet. Dazu muss der Skelettgehalt gemessen oder geschätzt werden. Bei zu grossem Skelettgehalt erfolgt die Bestimmung der Lagerungsdichte mittels Feldmethode.
- Die Bestimmung des Tongehaltes erfolgt nach gängigen Laborvorschriften oder mit der Fühlprobe.
- Massgebend ist der Median der Messwerte von mindestens 3 mehr als 300 ml grossen Proben oder von mindestens 5 weniger als 300 ml grossen Proben pro Horizont.
- Böden, deren Gehalt an organischer Substanz bis in eine Tiefe von mehr als 30 cm grösser als 10% ist, können mit diesem Ansatz nicht beurteilt werden.

### 2) Grobporenvolumen

Mit 60 hPa (entsprechend pF 1.8) entwässerte Hohlräume mit einem Äquivalentdurchmesser von > 50 µm in Volumenprozent.

<i>Richtwert:</i>	7 Vol.-%	Ausnahme: A-Horizonte von Waldböden:	10 Vol.-%
<i>Massnahmenwert:</i>	5 Vol.-%	Ausnahme: A-Horizonte von Waldböden:	7 Vol.-%

*Empfohlene Messmethoden* (Details siehe Einlageblätter):

- Die Bestimmung im Labor erfolgt an mindestens 100 ml, besser 300 ml grossen Zylinderproben, entweder mittels Überdruck (Drucktopf) oder Unterdruck (hängende Wassersäule).
- Massgebend ist der Median der Messwerte von mindestens 3 mehr als 300 ml grossen Proben oder von mindestens 5 weniger als 300 ml grossen Proben pro Horizont.

### 3) Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit wird als  $pk_{sat} = -\log k_{sat}$  angegeben, wobei als Einheit für  $k_{sat}$  m/s verwendet wird.

<i>Richtwert:</i>	$pk_{sat} = 6$ ( $k_{sat} = 10^{-6}$ m/s)	Ausnahme: A-Horizonte von Waldböden:	$pk_{sat} = 5$ ( $k_{sat} = 10^{-5}$ m/s)
<i>Massnahmenwert:</i>	$pk_{sat} = 7$ ( $k_{sat} = 10^{-7}$ m/s)	Ausnahme: A-Horizonte von Waldböden:	$pk_{sat} = 6$ ( $k_{sat} = 10^{-6}$ m/s)

*Empfohlene Messmethoden* (Details siehe Einlageblätter):

- Bestimmung im Feld mittels Bohrlochmethode bei konstanter Druckhöhe oder im Labor mit konstanter oder fallender Druckhöhe an 10 cm hohen Proben.
- Massgebend ist der Median der  $pk_{sat}$ -Werte oder der mit den Variationskoeffizienten der Einzelmessungen gewichtete arithmetische Mittelwert der  $pk_{sat}$ -Werte von mindestens drei Proben oder Bohrlöchern.

### 4) Eindringwiderstand

Als zusätzliche Methode zur Lokalisierung einer Bodenverdichtung oder alternativ als eigenständige Methode zur Beurteilung der Bodenverdichtung dient der Eindringwiderstand.

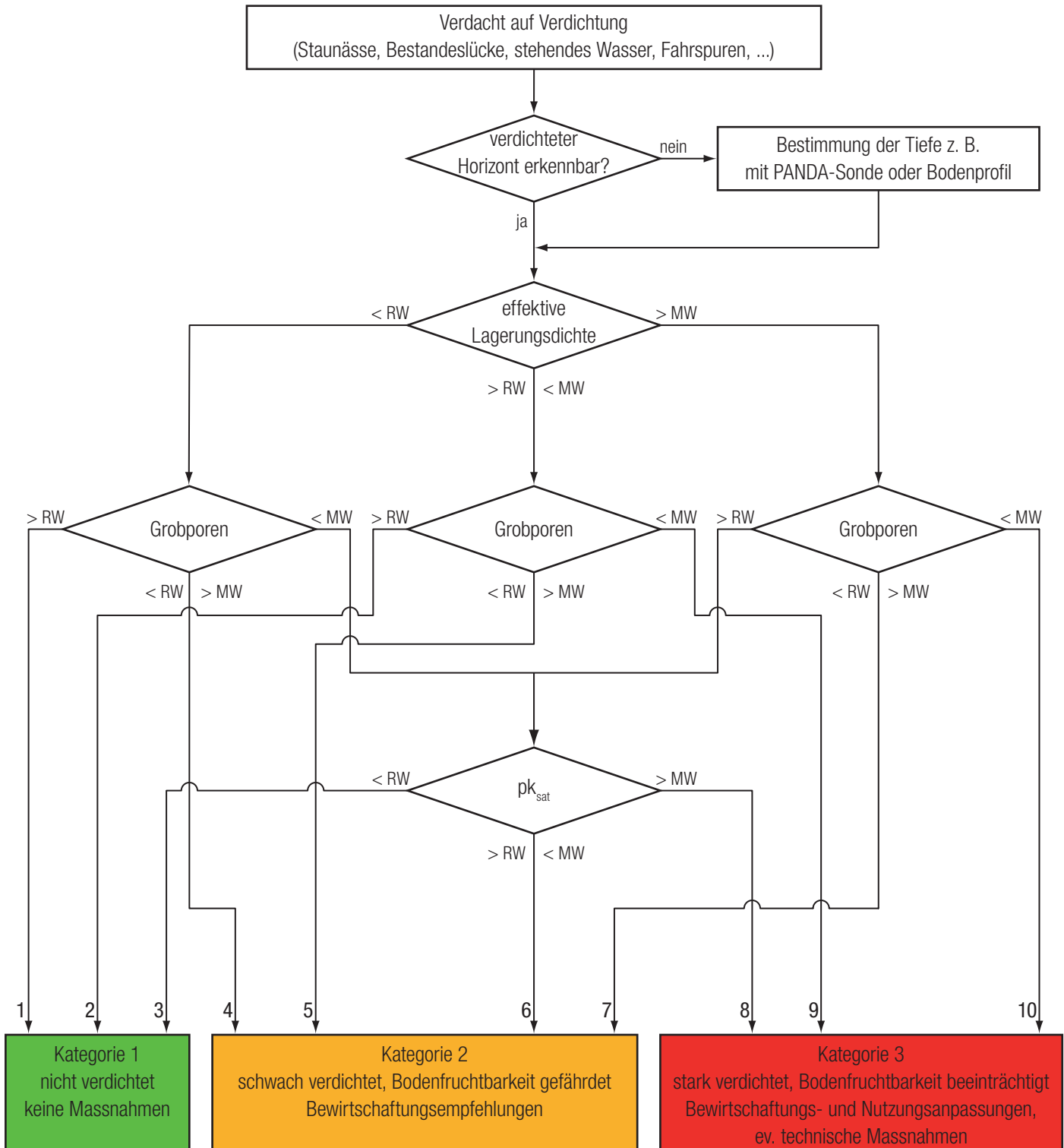
<i>Richtwert:</i>	2.0 MPa	Ausnahme: A-Horizonte von Waldböden:	1.5 MPa
<i>Massnahmenwert:</i>	3.5 MPa	Ausnahme: A-Horizonte von Waldböden:	3.0 MPa

*Empfohlene Messmethoden* (Details siehe Einlageblätter):

- Mit einem dynamischen Rammpenetrometer (z.B. PANDA-Sonde) werden im Feld zehn Sondierungen im Abstand von mindestens 20 cm durchgeführt. Die Messungen erfolgen bei Saugspannungen im Bereich von 150 bis 550 hPa (entsprechend 15 bis 55 Centibar). Massgebend ist die Mediankurve.

**Anwendung der Messgrößen**

(Text siehe Seite 9)





Sofern der Eindringwiderstand als eigenständige Methode verwendet wird, entscheidet diese Messgrösse allein, ob ein Boden nicht (Eindringwiderstand kleiner als Richtwert), schwach (zwischen Richt- und Massnahmenwert) oder stark verdichtet ist (grösser als Massnahmenwert).

Sofern die drei Messgrössen effektive Lagerungsdichte, Grobporenvolumen und gesättigte Wasserleitfähigkeit zur Beurteilung einer Bodenverdichtung verwendet werden, gibt das Flussdiagramm den Ablauf der Beurteilung vor. Ziel ist es, mit **möglichst wenig** Aufwand **möglichst viel** Information zu erhalten. Daher wird grundsätzlich zuerst versucht, die Ausdehnung der Verdichtung möglichst genau zu lokalisieren. Dazu dienen die Spatenprobe, eine Sondierung mit der PANDA-Sonde oder ein (mehrere) Bodenprofil(e), an dem/denen verdichtete Horizonte z.B. mit einem Messer beziehungsweise einem Schraubenzieher eruiert werden können.

Danach werden die effektive Lagerungsdichte und das Grobporenvolumen bestimmt. Sofern die Richtwerte nicht verletzt werden (effektive Lagerungsdichte kleiner als der Richtwert und Grobporenvolumen grösser als der Richtwert) wird der Boden als nicht verdichtet beurteilt (Flussdiagramm Seite 8, Pfeil 1).

Wenn die effektive Lagerungsdichte zwischen Richtwert und Massnahmenwert liegt, wird der Boden anhand des Grobporenvolumens beurteilt (Pfeile 2, 5, 9).

Werden hingegen die Massnahmenwerte von der effektiven Lagerungsdichte und dem Grobporenvolumen verletzt, wird der Boden als stark verdichtet beurteilt (Pfeil 10).

Wenn die effektive Lagerungsdichte kleiner als der Richtwert oder grösser als der Massnahmenwert ist und das Grobporenvolumen zwischen Richtwert und Massnahmenwert liegt, wird der Boden als schwach verdichtet beurteilt (Pfeile 4 und 7), unabhängig von der effektiven Lagerungsdichte, da die Aussagekraft des Grobporenvolumens grösser ist und die beiden Grössen sich nur schwach widersprechen.

Sofern sich jedoch effektive Lagerungsdichte und Grobporenvolumen völlig widersprechen, wird auch noch  $pk_{sat}$  bestimmt. Je nach Resultat der aufwendigsten, aber aussagekräftigsten Messgrösse wird der Boden als nicht, schwach oder stark verdichtet beurteilt (Pfeile 3, 6 und 8).



## Empfohlene Labor- und Feldmethoden



Die Arbeitshilfe enthält Einlageblätter zu den empfohlenen Labor- und Feldmethoden. Die Methoden basieren auf dem BGS-Dokument 13 «Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen». Sie werden im Zuge der Revision der Schweizerischen Referenzmethoden der landwirtschaftlichen Forschungsanstalten in diese überführt.

Das Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden (BAFU, 2003) gibt Empfehlungen zur Anordnung der Probenahmestellen.

## Gesetzliche Grundlagen, Richtlinien und Normen, weitere Literatur

### Gesetze

Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG). SR 814.01.

Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo). SR 814.12.

### Richtlinien und Wegleitungen

Bodenschutzrichtlinien, 1997. Richtlinien zum Schutze des Bodens beim Bau unterirdisch verlegter Rohrleitungen. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.

Wegleitung über die Verwertung von ausgehobenem Boden (Wegleitung Bodenaushub), 2001. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Bodenschutz beim Bauen, 2001. Leitfaden Umwelt Nr. 10, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden, 2003. Handbuch Bodenprobenahme VBBo. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

### Normen

Schweizer Norm SN 640 581a, 1998. Erdbau, Boden, Grundlagen. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich.

Schweizer Norm SN 640 582, 1999. Erdbau, Boden, Erfassung des Ausgangszustandes, Triage des Bodenaushubes. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich.

Schweizer Norm SN 640 583, 2000. Erdbau, Boden, Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich.

Kulturland und Kiesabbau, Richtlinie für den fachgerechten Umgang mit Böden (FSK-Rekultivierungsrichtlinie), 2001. Schweiz. Fachverband für Sand und Kies (jetzt Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie, FSKB).

### Weitere Literatur

Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen, Positionspapier der BGS-Plattform Bodenschutz, 2004. Dokument 13 der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS), Zollikofen.

Empfindlichkeit der Baselbieter Böden gegenüber mechanischen Einwirkungen, 1998. Amt für Umweltschutz und Energie, Bau- und Umweltschutzdirektion Kanton Basel-Landschaft, Liestal.

Tschannen P., 1999. Kommentar zum Umweltschutzgesetz. Erläuterungen zum Bodenschutz (Art. 33–35). Hsg. Vereinigung für Umweltrecht und H. Keller, Zürich.

## Impressum



Arbeitshilfe der Bodenschutzfachstellen der Kantone AG, AI, AR, BE, BL, BS, FR, GE, GR, JU, LU, NE, NW, OW, SG, SH, SO, SZ, TG, TI, VD und ZG sowie des Fürstentums Liechtenstein

Mit Unterstützung der Sektion Boden und allgemeine Biologie des Bundesamtes für Umwelt.

Kostenloser Bezug: [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch);

Fachstellen Bodenschutz der beteiligten Kantone

Begleitgruppe: Françoise Okopnik, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt, Aargau

Guido Schmid, Amt für Umwelt und Energie, St. Gallen

Dr. Gérald Richner, Amt für Umwelt, Nidwalden

Pascal Boivin, Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève, site de Lullier

Autoren: Bernhard Buchter, Zürich

und Stephan Häusler, Bern

Herausgeber: Kantonale Bodenschutzfachstellen

Gestaltung: [aufdenpunkt.ch](http://aufdenpunkt.ch) – Urs W. Flück, Langendorf

Fotos: Autoren, Fachstellen Bodenschutz der beteiligten Kantone

**2009**