

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 161 (2010)

**Heft:** 12

**Artikel:** Bodenschutz im Wald : Annäherung an ein Wahrnehmungsproblem (Essay)

**Autor:** Borer, Franz

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097802>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Bodenschutz im Wald – Annäherung an ein Wahrnehmungsproblem (Essay)

Franz Borer Amt für Umwelt des Kantons Solothurn, Fachstelle Bodenschutz (CH)\*

## Soil protection in forests – approaching a problem of perception (essay)

Sustainable forest management is totally dependent on an intact production base such as the soil. Today's soil has been shaped by soil formation processes over hundreds and thousands of years in the context of various natural cycles. In contrast to these very slow soil formation processes, timber harvesting methods have evolved within a few decades from manual harvesting to high-tech harvesting with heavy machinery. The impact of these on the soil structure is comparable to that of the ice sheets during the last glaciation. The consequences of this development are not easily visible to the eye. But there is the threat of irreversible damages in the form of soil compaction. Now what about sustainability, this fundamental requirement that wood production can be maintained over many tree generations keeping the production base intact? What about the responsibility of forest owners and managers for future forest stands to the coming generations of people?

The knowledge exists about the soil processes and the possible damages caused by overstraining the natural limits of the soil system. There are also guidelines for careful forest management even with modern machinery. Rejecting wood harvesting techniques with integrated state-of-the-art soil protection measures purely on economic grounds is incompatible with sustainable thinking.

**Keywords:** soil protection, soil mapping, soil compaction, inherent system time, soil depth available to plants  
**doi:** 10.3188/szf.2010.0482

\* Holunderweg 1, CH-4552 Derendingen, E-Mail francobo@solnet.ch

Die teils knietiefen, meterbreiten, mit stehendem Wasser gefüllten Fahrspuren im Waldboden, die als Folge der Räumungsarbeiten in den durch den Sturm Lothar betroffenen Waldbeständen vor etwas mehr als zehn Jahren anzutreffen waren, liessen bei vielen Leuten, nicht nur bei aufgeschreckten Laien, die Frage aufkommen, wie weit eine solche Holzerntepraxis akzeptabel sei und wie weit sie sich mit der Nachhaltigkeit, einer originär forstlichen Idee, noch in Übereinstimmung bringen lasse (Abbildung 1).

Die Forschung, allen voran die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), nahm diesen Ball auf. Sie betreibt seither ein intensives und langfristig angelegtes Untersuchungsprogramm<sup>1</sup> mit einem Schwerpunkt auf der Erforschung der Auswirkungen von Bodenbeeinträchtigungen und -schäden auf das Ökosystem Wald und daraus abzuleitender Massnahmen. Fast nichts von alledem war dann den Medien zu entnehmen, als man sich um Weihnachten 2009 an das zehn Jahre zurückliegende Ereignis erinnerte. «Lothar war eine Chance für den Wald!», stellt ein Förster, Bewirt-

schafter eines damals stark vom Sturm betroffenen Waldes, fest. Einzig die Vorschriften bei der Holzernte hätten wohl nicht immer buchstabengetreu eingehalten werden können, aber ein Unternehmen müsse ja bekanntlich auch rentieren...<sup>2</sup> Auch die für den Wald Verantwortlichen des Bundesamts für Umwelt (Bafu) schrieben, dass die Natur von Lothar profitiert habe, dies vor allem in Form einer stark zunehmenden Artenvielfalt dank mehr Licht in den Sturmholzflächen.<sup>3</sup> Sowohl in dieser umfangreichen Pressemitteilung wie auch in vielen Medienberichten zu diesem damals als Katastrophe bezeichneten Sturmschaden fehlte allerdings konsequent ein kurzes Wort, ein Wort mit nur fünf Buchstaben: *Boden!*

1 [www.wsl.ch/fe/boden/schwerpunkte/soil\\_protection/index\\_DE](http://www.wsl.ch/fe/boden/schwerpunkte/soil_protection/index_DE) (29.9.2010)

2 Swissinfo vom 22. Dezember 2009 ([www.swissinfo.ch/ger/wissen\\_und\\_technik/index/Lothar\\_hat\\_den\\_Wald\\_stabiler\\_gemacht.html?cid=7906868](http://www.swissinfo.ch/ger/wissen_und_technik/index/Lothar_hat_den_Wald_stabiler_gemacht.html?cid=7906868) [29.9.2010])

3 Medienmitteilung vom 2. Dezember 2009 ([www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=30489](http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=30489) [29.9.2010])



**Abb 1** Tiefe Fahrspuren als Folge der Aufräumarbeiten nach Lothar.

Foto: Roland von Arx

Boden gibt es zehn Jahre nach Lothar in der Wahrnehmung der weiten Öffentlichkeit, ja selbst bei vereinzelt Förs tern nicht mehr. Die dramatischen Bilder der tiefen Fahrspuren von damals sind ganz offensichtlich in den Köpfen nicht haften geblieben, Bodenschäden sind kein Thema. Offenbar ist alles halb so schlimm. Gäbe es nicht die diesbezüglich eindeutigen Ergebnisse des dritten Landesforstinventars (Schwyzer & Keller 2009), müsste man annehmen, dass vor etwas mehr als zehn Jahren alle einer optischen Täuschung aufgesessen waren.

Kein Wunder also, dass auch das Wort Bodenschutz kaum zu lesen oder zu hören ist. Es wächst ja alles so gut! Und bitte schön: Nicht noch einmal ein Kommunikationsdesaster à la «Waldsterben». Nur das nicht! Kurz: Die Verunsicherung ist gross.

### Nachhaltiges Denken

Forstleute werden geschult im langen Zurückblicken und im langen Vorausschauen, auch dies eine Form von Nachhaltigkeit. Sie wissen natürlich auch, dass der Baum im Boden wurzelt und die spezifischen Bodeneigenschaften, nebst den örtlichen klimatischen Bedingungen, massgeblich darüber entscheiden, was mit dem Lebensraum Wald im Zeitenlauf passiert. Wissen sie aber auch etwas mehr als das Grundsätzliche?

Diese Frage ist keine rein rhetorische. Erfahrungen im Kontakt mit Forstleuten unterschiedli-

cher Ausbildungsgänge und Funktionen deuten darauf hin, dass der forstliche Blick zunehmend nur noch auf den sichtbaren Teil des Baumes fokussiert ist und der unsichtbare Teil, die Welt der Wurzeln im Boden, an Beachtung verliert. Woran mag das liegen? Es gibt hierzu sicher nicht einfach die eine und allein gültige Erklärung, dies wäre wohl zu spekulativ und anmassend. Gleichwohl soll versucht werden, dem einen oder anderen Hinweis auf die Spur zu kommen und einen Ansporn für ein genaueres Hinschauen zu geben. Beispielhafte Instrumente bietet hierzu das Projekt «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald» (NaiS; Frehner et al 2005).

### Systemgrenzen

Als Forstleute bewegen wir uns im Wald in einem System, dessen Grenzen mit unseren eigenen menschlichen Systemgrenzen, sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Hinsicht, nicht übereinstimmen. Die meisten Bäume werden unter natürlichen Bedingungen bedeutend älter als wir Menschen, und die Reproduktionszyklen sind in aller Regel auch länger. Dies ist dem im Wald tätigen Menschen meist, zumindest unbewusst, bekannt. Konkrete Auswirkungen dieser natürlichen Unterschiede werden jedoch oft nicht beachtet. Umweltschutzfachleute begegnen diesem Problem mit dem Prinzip der «inhärenten Systemzeit» als wichtiger kennzeichnender Grösse eines Systems (Enquête-Kommission

1994). Darunter ist eine dem jeweiligen System (z.B. dem Wald) zugeordnete Zeitskala zu verstehen, die sich daran orientiert, wie lange es dauert, bis sich das System reproduziert, respektive wie lange es dauert, bis dieses System auf Störungen sichtbar oder messbar reagiert. Um eine realistische Prognose über die Entwicklung eines natürlichen Systems nach Vorliegen ökologischer Risiken geben zu können, wird vorgeschlagen, einen Beobachtungszeitraum von mindestens drei inhärenten Systemzeiten zu beachten. Beim Wald führt dies dazu, dass die Beurteilung der auf ihn einwirkenden Störungen wohl erst nach einigen Menschengenerationen zuverlässig möglich sein wird. Diese Erkenntnis und die daraus abgeleitete Verhaltensweise sind eigentlich schon lange bekannt unter dem im Umweltschutz zentralen Begriff des Vorsorgeprinzips. Also auch das nichts Neues! Alles schon bekannt? Aber was machen wir damit?

Eine zweite Systemgrenze, die Mühe bereitet, erkannt zu werden, ist diejenige des Raumes: Der Lebensraum des Baumes ist mit demjenigen des Menschen nicht kongruent. Wir Menschen nutzen – wie auch die Bäume – gasförmige Elemente der Atmosphäre, ebenso das Wasser; wir sind aber mit dem Boden nur indirekt verbunden (nämlich durch dessen Nutzung als Pflanzenstandort), dies im Gegensatz zu den Bäumen, die auf den Boden als eine der primären Produktionsgrundlagen direkt und auf Ge-  
deih und Verderb angewiesen sind.

Selbst wenn diese unabdingbare Funktion des Bodens für das Wachstum des Baumes durch den Menschen erkannt wird, kommt eine weitere erschwerende Bedingung dazu: Boden ist in seiner dreidimensionalen Erscheinung den menschlichen Sinnesorganen, vor allem dem Auge, nicht direkt zugänglich und noch viel weniger bezüglich der Erfassung seiner spezifischen und vielfältigen Eigenschaften. Boden muss aufwendig erschlossen werden, damit man ihn kennenlernen kann. Und erschliessen heisst graben, bohren und schmutzige – eben «erdige» – Hände bekommen. Das virtuelle, modellierte Bodenprofil am Computerbildschirm zeigt vieles, aber es bildet kaum die drei- oder gar vierdimensionale Wirklichkeit des Bodens ab.

### **Das System Boden als Grenzschicht zwischen Erde und Atmosphäre**

Wie bereits bei der «Waldsterben»-Diskussion in den 1980er-Jahren, wo die Wahrnehmung auf die sichtbaren Veränderungen in den Baumkronen gerichtet war und die weit bedeutungsvolleren chemischen Veränderungen im Waldboden von der Praxis kaum beachtet wurden, droht nun, wie dies am Beispiel der physikalischen Belastungen des Bodens in den weiteren Ausführungen dieses Artikels ge-

zeigt werden soll, erneut eine fehlgeleitete Fokussierung hinsichtlich der tatsächlichen Bedrohungslage. Um hier weiter vordringen zu können, bedarf es aber einer Vertiefung des Wissens um das System Boden:

Boden ist ein Festsubstanz-Hohlraum-System aus verwittertem mineralischem Material, der Matrix, zum Teil mit organischen Beimischungen sowie insgesamt rund 50 Volumenprozent Porenraum. Die Bausteine dieser Matrix sind oft unter Beihilfe von Bodenlebewesen (z.B. Regenwürmern) gebildet worden, und deren Oberflächenstabilität wird durch biologische Festiger (Bakterienbeläge, Pilzhyphen, Absonderungen der Bodentiere etc.) stark erhöht. Als Beispiel eines typischen, in sich stabilen Bodenbausteins gilt der Krümel (Abbildung 2).

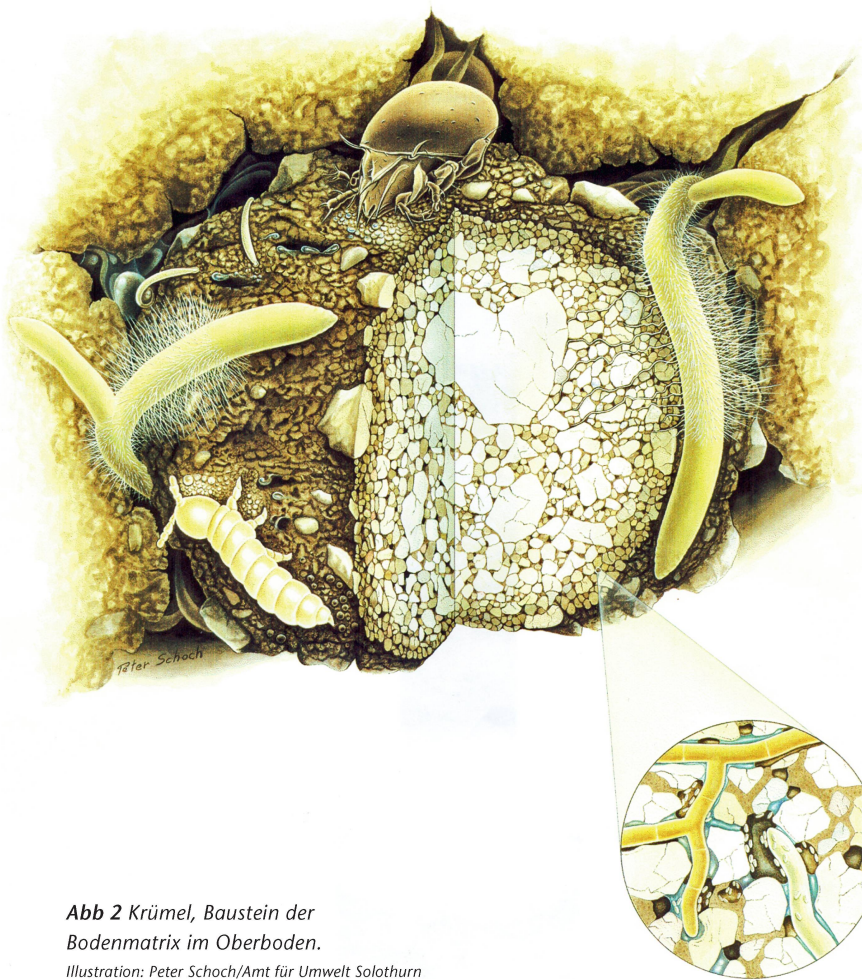
Kann die Matrix über kürzere Zeiträume, dies im Sinne der oben eingeführten inhärenten Systemzeit, als konstantes Element betrachtet werden, so ist der dazwischenliegende Porenraum der Ort der beiden variablen Elemente Luft und Wasser, wobei der Luftgehalt komplementär zum Wassergehalt steht: Wasser verdrängt in einer Bewässerungsphase nach Niederschlägen die Luft aus dem Boden und erlaubt dieser nach der Wasseraufnahme durch die Pflanzenwurzeln oder nach gravitativer Entwässerung wieder in die Poren zurückzukehren. Wenn also die Bodenoberfläche von unserem Auge als weitgehend statischer Teil der Erdoberfläche wahrgenommen wird, so verbirgt sich darunter ein durch den Wasserhaushalt geprägtes, sehr dynamisches System.

Der Boden an der Grenzfläche zwischen Atmosphäre und Geosphäre ist also von einem Teil der Hydrosphäre in unterschiedlichem und ständig änderndem Ausmass durchdrungen und bildet dadurch ein kompliziertes Grenzschichtphänomen. Wer diese Grenzschicht nutzt, wie dies in der Forstwirtschaft in hohem Masse der Fall ist, muss diese Gegebenheiten wahrnehmen, sie verstehen und sie als Rahmenbedingungen der Waldbewirtschaftung auch akzeptieren.

### **Der Bodenwassergehalt und die Entstehung von irreversiblen physikalischen Bodenschäden**

Nach Niederschlagsereignissen wird der Boden mit Wasser gesättigt, je nach Intensität der Niederschläge hin bis zur totalen Sättigung. Dies sind, bezüglich des Befahrens des Waldbodens, die schlechtestmöglichen Bedingungen. Diese führen zu den unansehnlichen und auch für die Laien aufwühlenden Fahrspuren, die, direkt bildlich gesprochen, sehr tiefe Eindrücke hinterlassen.

Die Bodenteilchen sind bei diesen Bedingungen vollständig von Wasser umgeben, sie erhalten statischen Auftrieb, d.h., die Teilchen sind viel leicht-



**Abb 2** Krümel, Baustein der Bodenmatrix im Oberboden.

Illustration: Peter Schoch/Amt für Umwelt Solothurn

ter verschiebbar und folgen, vor allem bei einer zusätzlichen Auflast, der Tendenz zu dichterem Lagerung; dies einer der bekannten Prozesse, die unter dem Begriff «Verdichtung» zusammengefasst werden. Eine Verdichtung bedeutet in aller Regel auch eine Verringerung des Anteils der gröberen Poren und eine Zunahme mittel- und feinporigerer Anteile am Gesamtporenraum.

Sobald der maximale Sättigungszustand reduziert wird, geraten die Bodenteilchen unter den Einfluss der Saugspannung, d.h., das bei Teilsättigung vorhandene Porenwasser unterliegt den Kapillareffekten im Porenraum, die in Form von Unterdrücken ihre Wirkung entfalten. Die Saugspannungen haben für die Stabilität des ganzen Porensystems des Bodens positive Auswirkungen: Der Boden gewinnt mit zunehmender Saugspannung (d.h. mit zunehmendem Unterdruck) an mechanischer Widerstandskraft, und die Verdichtungsgefahr nimmt ab.

Diese Gesetzmässigkeiten sind die zentralen Einflussfaktoren, die über das Eintreten oder das Ausbleiben einer Bodenverdichtung entscheiden. Darum sollten sie allen Akteuren, die den Waldboden bewirtschaften, bekannt sein, und sie sollten vor allem verstanden werden. Es sind dies dem Auge nicht zugängliche Prozesse. Deshalb werden sie oftmals auch nicht wahrgenommen, obwohl sie in ih-

rem Ausmass und ihrer Konsequenz durchaus einem Hochwasser gleichgestellt werden können, das alle Aufmerksamkeit auf sich zieht und in der Folge zum schnellen Ergreifen von eindämmenden Massnahmen führt, da das Schadensbild einsichtig und gut wahrnehmbar ist.

## Der vergessene Unterboden

Ein weiteres Wahrnehmungsproblem entsteht durch die durch das Auge nicht erfassbare Reichweite der auf den Boden wirkenden Kräfte beim Befahren des Waldbodens. Für das Verständnis dieser Problematik ist von grosser Bedeutung, dass die auf den Boden einwirkende Last, zum Beispiel eines Rades, vor allem durch zwei Grössen beschrieben werden kann, nämlich durch die Kontaktfläche und die jeweilige Radlast. Die Kontaktfläche und damit die spezifische Bodenbelastung (Kraft pro Fläche) kann durch geschickte Reifenwahl und Optimierung des Reifendrucks direkt beeinflusst werden. Die Radlast muss aber über den Boden abgebaut werden. Welche Auswirkungen damit verbunden sind, ist von der Kräfteverteilung auf die Bodenteilchen abhängig. Je grösser die Last ist, desto tiefer wird der Boden für den Abbau der auf ihm lastenden Kräfte beansprucht werden. Wenn der Boden die Kräfte durch die kohäsiv ausreichend stark verbundenen Bodenteilchen (bei einer genügend hohen Saugspannung) vollständig aufnehmen kann, kommt es lediglich zu einer elastischen (reversiblen) Verformung der Bodenmatrix. Beim Überschreiten dieser Marke resultiert aber eine plastische Verformung und damit auch eine Verdichtung des Bodens. Je höher der Wassergehalt ist, desto kleiner sind die Saugspannung und auch der kohäsiv bedingte Widerstand des Bodens. Damit tritt auch umso schneller die irreversible plastische Verformung auf, und umso tiefer wirkt diese schädliche Veränderung in den Boden hinein. In der Praxis ist davon auszugehen, dass Radlasten von mehr als 3.5 bis 4 Tonnen, selbst bei Böden mit bereits wieder aufgebauter Saugspannung, auch im Unterboden schädliche Verdichtungen bewirken.

Diese Verdichtungen sind deshalb besonders schädlich, weil der Unterboden eine deutlich kleinere Regenerationsfähigkeit besitzt als der Oberboden, der viel intensiver biologisch erschlossen ist. Die Wiederherstellung einer besseren Porenstruktur wird damit im Oberboden viel eher möglich sein als im deutlich weniger stark erschlossenen Unterboden. Dieser ist jedoch sowohl für die Erschliessung durch die Wurzeln als auch für den Wasser- und Lufthaushalt ebenso wichtig wie der Oberboden. Die gerade noch zuträglichen Belastungsschwellenwerte sind daher auf den Unterboden auszurichten. Aus diesem Grund wird schon seit mindestens zwei Jahrzehnten beim Befahren des Bodens in der Bauwirt-

schaft die verbindlich einzuhaltende Saugspannung an der oberen Grenze des Unterbodens (in ca. 35 cm Tiefe) gemessen (Häusler & Salm 2001).

## Bodeninformationen aus dem Kellergeschoss

Diese Erkenntnisse bedeuten aber auch, dass die Bodeneigenschaften des Unterbodens bekannt sein müssen, um eine planerische Vorgabe für die Befahrbarkeit von Waldböden erarbeiten zu können. Dies bedingt die Erkundung der Waldböden bis in den Unterboden hinein, da durch die pflanzensoziologische Ansprache, die schwerpunktmässig den Oberboden beschreibt, die notwendigen Informationen nicht ausreichend gewonnen werden können. Dies ist umso wichtiger, als der Unterboden bezüglich der Bodenart (Textur) und der Struktur oft empfindlicher (da oftmals tonreicher) auf Belastungen reagiert und damit auch über heiklere Wasserhaushaltsverhältnisse verfügt. Beides, Textur und Struktur, sind Parameter, welche die Verdichtungsempfindlichkeit stark beeinflussen. Umgekehrt können aber durch höhere Skelettanteile im Unterboden auch bessere Bedingungen bezüglich Befahrbarkeit geschaffen werden. Diese Eigenschaften müssen jedoch bekannt sein, was durch detaillierte Bodenkartierungen bewerkstelligt wird, wie dies in einigen Kantonen in unterschiedlicher Form schon der Fall ist.<sup>4</sup>

Auf Bodenkartierungsdaten basierend kann als praktisch anwendbares Planungsinstrument eine Hinweiskarte der Verdichtungsempfindlichkeit generiert werden, wie dies in Abbildung 3 gezeigt wird. Damit hält der forstliche Planer ein Instrument in

der Hand, das ihm ermöglicht, im Rahmen der mittelfristigen Planung die potenziell verdichtungsempfindlicheren von den unempfindlicheren Böden zu trennen und grundsätzliche Überlegungen zu Holzernterverfahren und zu den einzusetzenden Maschinen anzustellen. Für den konkreten Fall eines jeden Holzschlags, d.h. in der kurzfristigen Planung, ist der aktuelle Wassergehaltszustand zwingend zu berücksichtigen, der durch entsprechende Messungen im Feld oder durch die Ansprache der Spurtypen (Lüscher et al 2009) zu erfolgen hat.

## Die Rolle der pflanzennutzbaren Gründigkeit für das Baumwachstum

Die wichtige Rolle des Bodens als Wurzelraum ist bekannt, nur ist oft nicht bezifferbar, wie gross dieser Raum denn nun wirklich ist. Eine etwas verwirrende Aussage, die aber sehr wohl der Realität der Wahrnehmung entspricht. Es ist erstaunlich, wie schlecht sich aus nur oberflächlicher Ansicht die durch die Pflanzenwurzeln erschliessbare Bodentiefe abschätzen lässt. Auch erfahrene Forstleute scheitern immer wieder an dieser Frage. Die räumliche Erschliessung des Bodens durch die Baumwurzeln hat eine genetisch fixierte Komponente, vereinfacht festgeschrieben als Pfahl-, Herz- oder Flachwurzler. Dazu kommt aber auch noch eine sehr individuelle Komponente, nämlich die effektiv mögliche Entwicklung des Wurzelwerks in unmittelbarer Abhängigkeit von den jeweiligen konkreten Bodenverhältnissen. Die sogenannte «pflanzennutzbare Gründigkeit» ist eine physiologisch orientierte Dimension, die den vertikal möglichen Erschliessungsgrad des Bodens durch die Wurzeln angibt, reduziert um die für die Wurzeln nicht nutzbaren Anteile des Wurzelraums, in erster Linie durch Steinanteile, durch das sogenannte Skelett. Diese pflanzennutzbare Gründigkeit wird uns weiter begleiten bei unseren Überlegungen zur Leistungsfähigkeit, aber vor allem bei der Beurteilung einer möglichen Schädigung des Waldbodens als Baumstandort.

## Wasser ist zum Wachsen da

Es ist, dies mit Blick auf die von Wissenschaftlern weltweit erarbeiteten Szenarien, mit grosser Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass sich das Klima relativ rasch ändern wird. Diesbezüglich hat die schweizerische Landwirtschaft bereits weit fortgeschrittene Überlegungen gemacht: *Aufgrund von Klimaszenarien für die Schweiz [...] werden die sommer-*

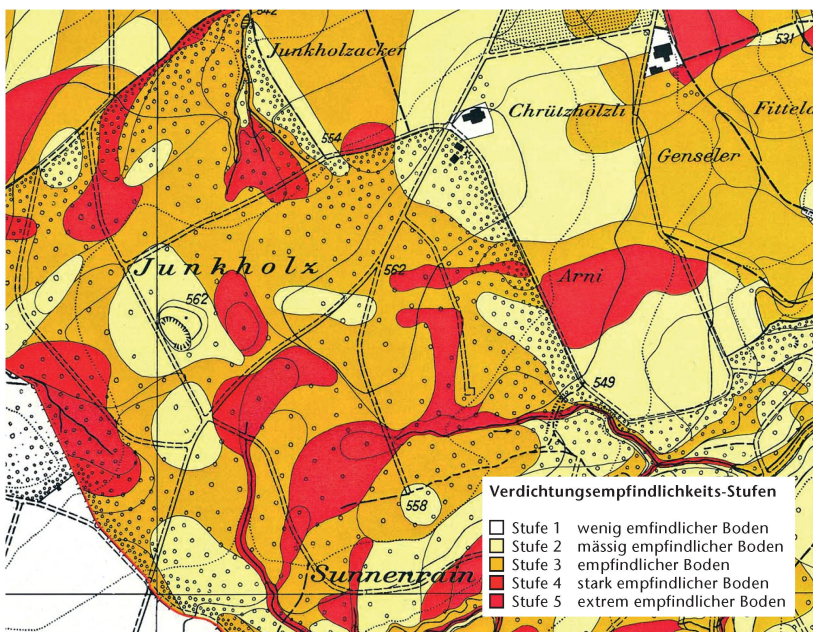


Abb 3 Ausschnitt aus der Hinweiskarte Verdichtungsempfindlichkeit der Bodenkartierung des Kantons Solothurn. © Amt für Umwelt Solothurn

4 Zum Beispiel Kanton Solothurn: [www.so.ch/departemente/bau-und-justiz/amt-fuer-umwelt/fachbereiche/bodenschutz/bodenkartierung.html](http://www.so.ch/departemente/bau-und-justiz/amt-fuer-umwelt/fachbereiche/bodenschutz/bodenkartierung.html) (29.9.2010)

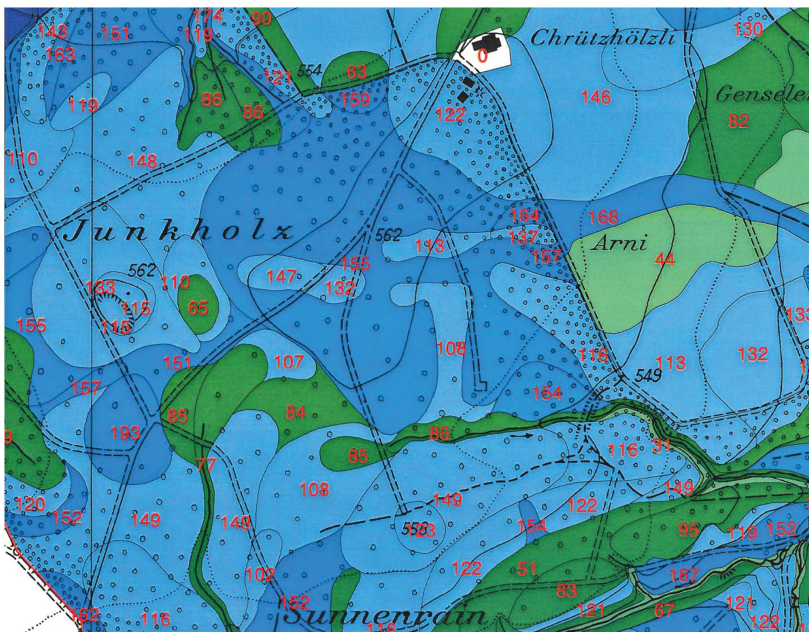


Abb 4 Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe): maximal verfügbares Wasser im effektiven Wurzelraum, ausgedrückt in mm Wasserhöhe (rote Zahlen).

© Amt für Umwelt Solothurn

lichen Niederschläge bis ins Jahr 2050 um durchschnittlich gegen 20 Prozent abnehmen. Gleichzeitig fördern steigende Temperaturen von mehreren Graden [...] die potentielle Verdunstung. (Führer & Jasper 2009)

Dies gilt natürlich ebenso für den Wald! In der Landwirtschaft geht man davon aus, dass dadurch die Bewässerungsflächen und -intensitäten zunehmen werden, in der Annahme, dass genügend Wasser aus ober- und unterirdischen Vorräten zur Verfügung stehen werde. Diese Option steht dem Wald gar nicht zur Verfügung, daher sind durch die forstliche Wissenschaft andere Szenarien zu erarbeiten, um der Veränderung zu begegnen (z.B. Brang et al 2008). Der Forstpraktiker müsste jedenfalls, geschärfte Wahrnehmung für die sich anbahnenden Veränderungen vorausgesetzt, schon heute wichtige Entscheidungen treffen, dies vor allem bei der Bestandesbegründung hinsichtlich der Artenzusammensetzung. Im Zentrum steht sicher, bezogen auf die inhärente Systemzeit, der sich vermutlich rasch verändernde Wasserhaushalt im Jahresablauf. Die Kenntnis zweier Parameter wird entscheidend sein: der jeweiligen Wasserverfügbarkeit im Boden und der Evapotranspiration von Boden und Baum.

Für das Wachstum der Bäume ist das Wasserangebot im Boden mitentscheidend. Dieses schwankt sehr stark zwischen den beiden Schwellenwerten «Feldkapazität» (Wassergehalt nach Entleerung der Makro- und Grobporen bei vorheriger Sättigung) und dem «permanenten Welkepunkt». Die Spanne zwischen diesen beiden Eckpunkten, ausgedrückt als effektives quantitatives Wasserangebot an die Baumwurzeln, ist Basis für interessante Überlegungen zum Wasserhaushalt. Das Potenzial an pflanzenverfügbarem Bodenwasser kann, basierend auf den

bei der Bodenkartierung erhobenen Daten, berechnet werden. Es wird als «nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum» bezeichnet (ausgedrückt in mm Wasserhöhe) und entspricht dem maximal verfügbaren Wasser im effektiven Wurzelraum (Abbildung 4). Damit ist ein direkter Vergleich mit der Evapotranspirationsrate (ausgedrückt in mm/Tag) möglich. So können Berechnungen zur Versorgungslage der Bäume in Trockenperioden angestellt werden, vor allem zur Abschätzung der noch tolerierbaren Länge einer Trockenperiode, bevor Trockenschäden eintreten.

## Den Schwarzen Peter weitergeben gilt nicht!

Vielleicht taucht nun die Frage auf, was das alles mit dem Thema Bodenschutz zu tun habe. Die Antwort lautet: sehr viel!

Die vorgängig angestellten Überlegungen und die Berechnungsmöglichkeiten zum Wasserhaushalt gehen von einem weitgehend natürlichen, ungestörten und standorttypischen Bodenaufbau aus, d.h. auch von einem meist gut entwickelten Porenraum und einem grossen Gesamtporenvolumen. Die Holzertetechnik, die sich in den letzten 50 Jahren von der Handholzerei zur Vollmechanisierung entwickelt hat, lässt heute aber Kräfte auf den Boden einwirken, wie sie letztmals während der Eiszeiten vor Zehntausenden von Jahren durch Gletscherauflasten auftraten. Der Waldboden, der Produktionsstandort der Bäume, steht damit heute einer bedrohlichen Entwicklung gegenüber, die bei nicht ausreichendem Schutz zu irreversiblen Schäden an dieser Produktionsgrundlage führt. Konkret bedeutet dies, dass bei physikalisch induzierten Bodenbeeinträchtigungen vor allem die pflanzennutzbare Gründigkeit beeinträchtigt wird, die mit einer Verschlechterung des Wasserhaushalts einhergeht und damit einer zusätzlichen Verschärfung der sich anbahnenden Wasserversorgungsproblematik Vorschub leistet.

Vor dieser für den Wald existenziell wichtigen Frage sind rein ökonomisch begründete Abwehrlösungen gegen eine Holzertetechnik mit integrierten Bodenschutzmassnahmen gemäss Stand der Technik nicht zu akzeptieren. Etwas konkreter gesagt: Es muss für die verantwortlichen Bewirtschafter des Waldes, gleich welcher Stufe, eine lohnende Herausforderung werden, dass neben der Erfüllung der ökonomischen und waldbaulichen Vorgaben auch die potenziellen Gefährdungen des Bodens erkannt und alle notwendigen Massnahmen ergriffen werden, um unumkehrbare Bodenschäden zu verhindern.

In die Pflicht genommen werden müssen hierzu nebst den Waldfachleuten vor allem auch die Waldeigentümer. Dies ist allerdings nur Erfolg ver-

sprechend, wenn auch diese die akute Problemlage erkennen, was wiederum eine grosse Herausforderung für alle in der Waldwirtschaft tätigen Forschungs- und Fachkräfte hinsichtlich Informationsleistung und Überzeugungskraft bedeutet.

## Den Kreis schliessen

War «Lothar» eine Chance für den Wald? Für den Waldboden sicher nicht! Dieser hat Schäden erlitten, die auch noch nach Jahrzehnten negative Auswirkungen auf das Baumwachstum zeigen werden. Aber: Vielleicht war Lothar der Türöffner für eine umfassendere Wahrnehmung des Ökosystems Wald; eine Wahrnehmung, die sowohl zeitlich als auch räumlich über das unmittelbar Erkennbare hinausgehen muss. Es sollte aber auch Ansporn für die Forstleute sein, sich wieder vermehrt und intensiver dem Boden, dem weitgehend unbekanntem Wesen unter ihren Füessen, zuzuwenden. ■

*Eingereicht: 24. Februar 2010, akzeptiert (mit Review): 28. September 2010*

## Literatur

- BRANG P ET AL (2008) Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. *Schweiz Z Forstwes* 159: 362–373. doi: 10.3188/szf.2008.0362
- ENQUÊTE-KOMMISSION (1994) Die Industriegesellschaft gestalten: Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn: *Economica*. 765 p.
- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. *Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion*. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 564 p.
- FUHRER J, JASPER K (2009) Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *Agrarforschung* 16: 396–401.
- HÄUSLER S, SALM C (2001) Bodenschutz beim Bauen. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Leitfaden Umwelt 10. 85 p.
- LÜSCHER P, FRUTIG F, SCIACCA S, SPJEVAK S, THEES O (2009) Physikalischer Bodenschutz im Wald. *Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen*. Birmensdorf: Eidgenöss. Forschungsanstalt Wald Schnee Landschaft, Merkblatt Praxis 45. 12 p.
- SCHWYZER A, KELLER M (2009) Schäden im Schweizer Wald. *Wald Holz* 90 (11): 32–35.

## Bodenschutz im Wald – Annäherung an ein Wahrnehmungsproblem (Essay)

Eine nachhaltig produzierende Waldwirtschaft ist auf Gedeih und Verderb auf eine intakte Produktionsgrundlage angewiesen, wie sie der Boden in hervorragender Weise darstellt. Die Bodenbildung hat meist Hunderte bis Tausende von Jahren hinter sich und ist eingebunden in verschiedene natürliche Kreisläufe. Im Gegensatz zu den sehr langsamen Bodenbildungsprozessen hat sich die Holzerntetechnik innerhalb einiger weniger Jahrzehnte von der Handholzerei zur Vollmechanisierung mit schweren Holzerntemaschinen entwickelt. Damit wirken ähnlich grosse Kräfte auf den Boden ein, wie sie letztmals während der Eiszeiten durch Gletscherauflasten auftraten. Die Auswirkungen dieser Entwicklung bleiben dem Auge weitgehend verborgen. Aber unumkehrbare Schäden, Stichwort Bodenverdichtungen, drohen. Wie steht es um die Nachhaltigkeit, welche über viele Baumgenerationen hinweg die Holzproduktion unter Wahrung der Produktionsgrundlagen ermöglichen soll? Wie steht es um die Verantwortung der Waldeigentümer und der Bewirtschafter den kommenden Wald- und Menschengenerationen gegenüber?

Das Wissen um die Prozesse im Boden und die möglichen Schäden bei der Überbeanspruchung der natürlichen Grenzen des Systems Boden ist vorhanden. Auch gibt es Wegleitungen zu einer schonenderen Waldnutzung, selbst mit modernen Erntemaschinen. Eine nur ökonomisch begründete Abwehrhaltung gegenüber einer Holzerntetechnik mit integrierten Bodenschutzmassnahmen gemäss Stand der Technik widerspricht nachhaltigem Denken.

## Protection des sols en forêt – un problème de perception (essai)

Une exploitation forestière durable est intrinsèquement dépendante d'une base de production intacte, le sol en étant un exemple éloquent. Le sol tel que nous l'observons aujourd'hui est le résultat de centaines, voire de milliers d'années d'interactions avec différents cycles naturels. Contrairement aux processus très lents de la formation du sol, la technique utilisée pour l'exploitation forestière s'est développée en quelques décennies, passant de méthodes artisanales à une technicisation totale avec des machines de récolte lourdes. Ainsi, des forces importantes, similaires à celles exercées dans le passé par les glaciers, sont imposées au sol. Les conséquences de ce développement demeurent encore largement invisibles à l'œil nu. Mais des dégâts irréversibles comme le tassement des sols sont imminents. Dès lors se pose la question de la durabilité. Sera-t-il en effet possible d'exploiter de nombreuses générations d'arbres tout en conservant une base de production intacte? Les propriétaires et les exploitants des forêts assumeront-ils leurs responsabilités vis-à-vis des générations futures?

Les connaissances sur les processus à l'œuvre dans le sol et les dégâts potentiels en cas de dépassement des capacités naturelles du système sol sont disponibles. Les recommandations en vue d'une exploitation forestière respectueuse des sols, même avec des machines modernes, existent elles aussi. Vu l'état d'avancement technologique, un rejet des techniques intégrant des mesures de protection des sols, qui serait fondé sur des arguments purement économiques, irait donc à l'encontre de l'idée de durabilité.