



BFW. Praxisinformation

Unser Boden – wertvoll, vielfältig und schützenswert



2015
Internationales
Jahr des Bodens

Bundesforschungszentrum für Wald

Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich
<http://bfw.ac.at>

MIT UNTERSTÜTZUNG VON BUND, LÄNDERN UND EUROPÄISCHER UNION



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH

LE 14-20
Erziehung für ein Leben im Wald

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raumes
Hier Investiert Europa in
eure landwirtschaftlichen Güter



Inhalt

ERNST LEITGEB Waldböden und deren nachhaltige Nutzung	3
NIKOLAUS NEMESTOTHY Bedeutung der Bodenverdichtung für Ertrag und Nachhaltigkeit	8
ROBERT JANDL, ERNST LEITGEB, KLEMENS SCHADAUER, ALEXANDRA FREUDENSCHUSS Internationales Boden-Reporting	14
MICHAEL ENGLISCH, SIGRID SCHWARZ Waldböden – nur etwas für Spezialisten? Wald-Boden-Weiterbildung am BFW	17
MICHAEL ENGLISCH, CECILIE FOLDAL, HELENE BERTHOLD, BARBARA BIRLI, SIGRID SCHWARZ Boden macht Schule	20
MICHAEL WANDL, GÜNTHER AUST, ANDREAS BAUMGARTEN Die digitale Bodenkarte	24
KARL GARTNER, MICHAEL ENGLISCH, EDUARD HOCHBICHLER, ROLAND KÖCK Wasserspeicherung und Trinkwasserproduktion in Österreichs Wäldern	28
ANDREAS SCHINDLBACHER, BARBARA KITZLER Bodenerwärmung – Klimamanipulationsversuch Achenkirch	33
VERONIKA LECHNER, GERHARD MARKART, FRANK PERZL, GÜNTHER BUNZA, KARL HAGEN, ANDREAS HUBER, KLAUS KLEBINDER Gefahrenorientierte Waldbewirtschaftung im Bereich steiler Grabeneinhänge	36

Impressum

ISSN 1815-3895

© November 2015

Nachdruck nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung seitens des Herausgebers gestattet.

Presserechtlich für den Inhalt verantwortlich:

Peter Mayer

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)

Seckendorff-Gudent-Weg 8,

1131 Wien, Österreich

Tel.: +43 1 87838 0

Fax: +43 1 87838 1250

http://bfw.ac.at

Redaktion: Christian Lackner,

Ernst Leitgeb,

Michael Englisch

Layout und Umschlag: Johanna Kohl

Titelbild: Anett Hofmann (Entwurf), Linas Domarackas (Aquarell)

Bezugsquelle: BFW-Bibliothek

Tel.: +43 1 87838 1216

E-Mail: bibliothek@bfw.gv.at



Das heurige „Internationale Jahr der Böden“ rückt das Bodenbewusstsein, also die Tatsache, dass unser Boden eine begrenzte natürliche Ressource ist, in den Vordergrund. Fruchtbarer Boden, der sich in Wechselwirkung mit der Vegetation im Laufe von Jahrtausenden langsam entwickelt, ist nicht beliebig vermehrt bzw. ersetzbar. Er ist als Pflanzenstandort die Basis unserer Ernährung und somit ein wertvolles, schützenswertes Gut. Auch bei der Bewirtschaftung unserer Wälder ist der Waldboden unsere wichtigste forstliche Ressource.

Waldböden sind das „Fundament“ unserer Wälder. Sie sind nicht nur für das Baumwachstum von zentraler Bedeutung, sondern erfüllen auch viele ökologische Funktionen. Durch ihre Filter- und Pufferwirkung sorgen sie für eine hohe Wasserqualität und ein effizientes Hochwasserrückhaltevermögen in bewaldeten Einzugsgebieten. Bei der Produktion von qualitativ hochwertigem Trinkwasser kommt auch der naturnahen forstlichen Bewirtschaftung, die ohne flächige Bodenbearbeitung und meist auch ohne Düngung auskommt, eine entscheidende Bedeutung zu. Diese Besonderheiten sowie lange Produktionsräume in der Waldwirtschaft sorgen für einen ungestörten Profilaufbau der Böden. Dieser bietet einen optimalen Lebensraum für viele Bodenorganismen, die eine komplex vernetzte Lebensgemeinschaft mit unseren Bäumen bilden. Sie tragen zur Biodiversität in unseren Wäldern bei, so beherbergt ein Hektar Waldboden bis zu 25 Tonnen Bodenorganismen. Das Bodenleben sorgt durch den Abbau des Bestandesabfalls für einen geschlossenen Nährstoffkreislauf in unseren Wäldern.

Auch in der aktuellen Klimawandeldiskussion zur Kohlenstoffspeicherung („carbon sequestration“) steht der Waldboden im Mittelpunkt. Der Wald ist der größte Kohlenstoffspeicher in der österreichischen Landschaft. Zwei Drittel des gesamten Kohlenstoffs sind dabei im Waldboden gespeichert. Waldböden weisen auch viel höhere Kohlenstoffvorräte als Böden anderer Landnutzungen auf.

Wälder wachsen auf den verschiedensten Standorten, dementsprechend unterschiedlich sind die Bodeneigenschaften, die es bei der Bewirtschaftung unserer Wälder zu berücksichtigen gilt. So steht zum Beispiel der Schutz des Bodens auf gering entwickelten, flachgründigen Böden im Vordergrund, während tiefgründigere, reifere Böden in der Regel mehr waldbaulichen Spielraum bei der Baumartenwahl und der Holzernte zulassen. Die Kenntnis der wichtigsten Bodentypen und deren grundlegenden Eigenschaften ist daher von zentraler Bedeutung bei der nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder.

Mit Einblicken in diese faszinierende „unterirdische Welt“ wollen wir mit diesem Heft das Interesse an unseren Waldböden wecken, zur Schaffung des Bodenbewusstseins beitragen und somit zu deren standortgerechten Nutzung und Erhaltung beitragen.

Dr. Peter Mayer

Leiter des BFW

DI Dr. Ernst Leitgeb

Leiter des Instituts für
Waldökologie und Boden des BFW

Waldböden und deren nachhaltige Nutzung

Waldböden haben einige Besonderheiten, die sie von Böden anderer Landnutzungen deutlich unterscheiden. Lange Produktionsräume und die naturnahe Bewirtschaftung im Wald erlauben dem Boden eine natürliche Entwicklung. Waldböden besitzen daher einen ungestörten Profilaufbau mit unterschiedlichen „Horizonten“ – Ausdruck langsam ablaufender Bodenbildungsprozesse.

Der organische Bestandesabfall, der sich an der Bodenoberfläche ansammelt und durch das Bodenleben wieder abgebaut wird, der „Auflagehumus“, gehört ebenfalls zum Waldboden. Er wird sehr stark von der Bestockung beeinflusst und ist ein wertvoller Indikator für den Nährstoffkreislauf im Wald. Im Gegensatz dazu fehlt der Auflagehumus meist bei landwirtschaftlich genutzten Böden.

Es gibt allerdings noch weitere Unterscheidungsmerkmale. Pflügen homogenisiert flächig den Oberboden, durch regelmäßiges Befahren sind Verdichtungen häufiger als im Wald und der Gehalt an organischer Substanz ist in landwirtschaftlich genutzten Böden deutlich geringer. Obwohl landwirtschaftliche Böden meist eine günstige Ausgangsposition in Bezug auf Nährstoffausstattung und Gründigkeit haben, müssen die Nährstoffverluste durch die Ernte mit Hilfe von Düngung kompensiert werden.

Die Aufteilung der Böden in die unterschiedlichen Nutzungsarten fand schon vor langer Zeit statt. Fruchtbare, gut zugängliche Böden wurden für Siedlungszwecke und Landwirtschaft genutzt, während Ungunstlagen, wie zum Beispiel Steillagen, flachgründige oder erosionsgefährdete Böden, dem Wald vorbehalten blieben.



◀ Landwirtschaftlich genutzter Boden, Waldboden

Empfehlungen zur Verbesserung von Waldböden bzw. Düngungsempfehlungen finden sich in der Broschüre „Waldbodensanierung“ des Fachbeirats für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (BMLFUW):

<http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=3782>

Historische Waldnutzungen

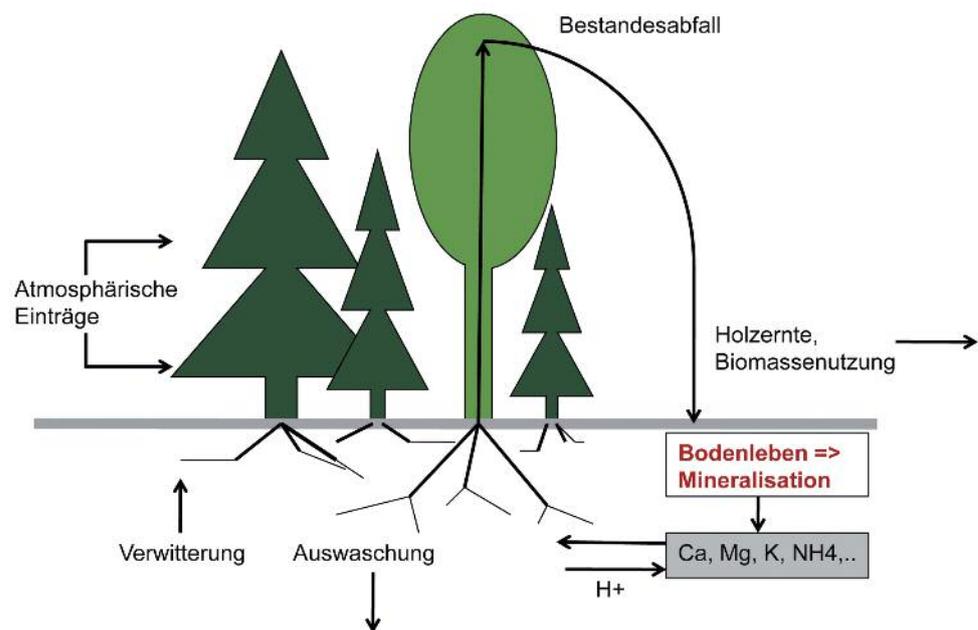
Historische Waldnutzungen, wie zum Beispiel Streurechen und Schneitelung, griffen gravierend in den Nährstoffhaushalt der Böden ein. Die Nährstoffe aus dem Wald, vor allem der Stickstoff, gingen in die landwirtschaftliche Produktion ein. Die negativen Folgen dieser heute nicht mehr praktizierten Nutzungsformen sind teilweise in unseren Wäldern noch zu finden.

Diese Verluste konnten durch die Freisetzung infolge der Verwitterung nicht ausgeglichen werden. Versauerung und Podsolierungsprozesse folgten, die degradierten Böden boten nur anspruchslosen Nadelbaumarten, wie zum Beispiel der Kiefer, Wachstumsmöglichkeiten. Im Zuge von Meliorationsmaßnahmen, also bei der Wiedereinbringung anspruchsvoller Baumarten auf Laub(misch)waldstandorten, ist meist Düngung oder Kalkung erforderlich. Auch selbst ankommende Pionierbaumarten, wie zum Beispiel die Eberesche, können durch die Erschließung tiefer Bodenhorizonte helfen, den Nährstoffkreislauf anzukurbeln.

Degradierete bodensaure Nadelwälder finden sich in Österreich in der Böhmisches Masse, in Teilen der Zentralalpen und im nördlichen und südlichen Alpenvorland auf Quarzschotter. Mit den atmosphärischen Schadstoffeinträgen in den 1980er Jahren wurden in Kompensations- oder auch Bodenschutzkalkungen vor allem in Deutschland propagiert und auch großflächig durchgeführt. In Österreich gab und gibt es kaum großflächige Düngungen.

Nährstoffkreislauf in Wäldern

Sieht man von Sanierungsmaßnahmen ab, kommt die forstliche Produktion in der Regel ohne Düngung aus. Der geschlossene Nährstoffkreislauf in Wäldern, verbunden mit langen Produktionszeiträumen, ermöglicht eine nachhaltige Holzproduktion ohne Nährstoffersatz. Ernteentzüge können mit Hilfe einer Nährstoffnachlieferung durch die Verwitterung und durch atmosphärische Einträge meist ausgeglichen werden. Auch Auswaschungsverluste können bei standortsangepasster Bewirtschaftung minimiert werden.



► Nährstoffkreislauf in Wäldern

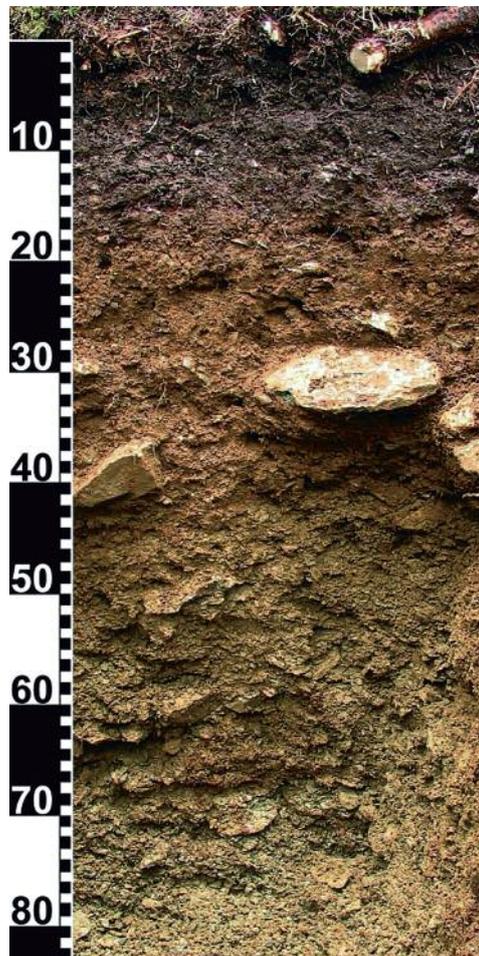
Zentrale Bedeutung hat das Bodenleben, das die Nährstoffe, die in der organischen Substanz gebunden sind, wieder pflanzenverfügbar macht. Je günstiger die Bedingungen für das Bodenleben, umso schneller werden die Nährstoffe im Kreislauf gehalten. Diese Nährstoffdynamik lässt sich anhand der Ausbildung des Auflagehumus (Humusform) im Gelände leicht erkennen. Im Idealfall ist der Bestandesabfall bereits im Folgejahr wieder mineralisiert, die im Boden gespeicherten Nährstoffe können von der Baumwurzel wieder aufgenommen werden. Was ist bei dieser nachhaltigen, „automatischen“ Produktion allerdings zu beachten?

Biomassenentzug

Wichtig ist die Anpassung des Biomassenentzuges an die standörtlichen Bedingungen. Bekanntermaßen sind die höchsten Nährstoffkonzentrationen in den Blättern/Nadeln, kleinen Ästen etc., also im „grünen“ Teil der Baumkrone, zu finden. Die größte Biomassenfraktion, nämlich das Holz, weist eine geringe Nährelementkonzentrationen auf. Die Holzentnahme hat also den geringsten Einfluss auf den Nährstoffhaushalt, der von jedem (entwickelten) Waldboden verkraftet werden kann.

Wie ökologisch verträglich ist die Vollbaumnutzung? Dies hängt vor allem vom Boden ab. Nährstoffarmes Grundgestein, flachgründige Böden, sandige Bodenart sind ungünstig für eine Vollbaumnutzung. Diese muss daher hier unterbleiben, wenn man das standörtliche Produktionspotenzial nachhaltig nutzen möchte. Neben den Bodeneigenschaften spielen auch das Klima, Relief und eventuelle Vorbelastungen durch historische Waldnutzungen eine bedeutende Rolle in der Entscheidungsfindung.

Der Einsatz von Holzasche zur Kompensation von Nährstoffentzügen im Wald wird in letzter Zeit immer wieder diskutiert. Holzasche, sofern sie gewisse Qualitätsanforderungen erfüllt, kann als



▲ Mullhumus zeigt einen günstigen Nährstoffumsatz an

◀ Nährstoffarmer Boden („Semipodsol“) – eine ungünstige Ausgangslage für eine Vollbaumnutzung

Fotos:
© 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; Leitgeb - Waldböden
ISBN: 978-3-527-32713-3

Richtlinie für den Einsatz von Pflanzenaschen vom Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (BMLFUW):

<http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=9191>

wertvoller Sekundärrohstoff bei der Düngerherstellung verwendet werden. Standortliche Beschränkungen lassen sich dadurch aber nicht umgehen. Auf den so genannten „sensibel“ zu bewirtschaftenden Böden (in Bezug auf Gründigkeit, Bodenart und Nährstoffausstattung) muss eine intensive Biomassennutzung auf jeden Fall unterbleiben. Auch der Einsatz der Holzasche ist, wie bei Düngung und Kalkung, nur standortsdifferenziert zielführend, auf sorptionschwachen Böden werden mangels Speicherung im Boden die mobilisierten Nährstoffe ausgewaschen. Rohasche mit extrem hohen pH-Werten wirkt sich äußerst negativ auf das Bodenleben aus und sollte daher keinesfalls im Wald ausgebracht werden.

Holzernte

Auch bei der Holzernte sind die Boden- und Standortverhältnisse zu beachten. Will man den Waldboden mit Erntemaschinen befahren, sind bei der Nutzungsplanung die Bodenverhältnisse zu berücksichtigen. Hier spielen die physikalischen Bodeneigenschaften und die Witterung zum Zeitpunkt der Holzernte eine wichtige Rolle.

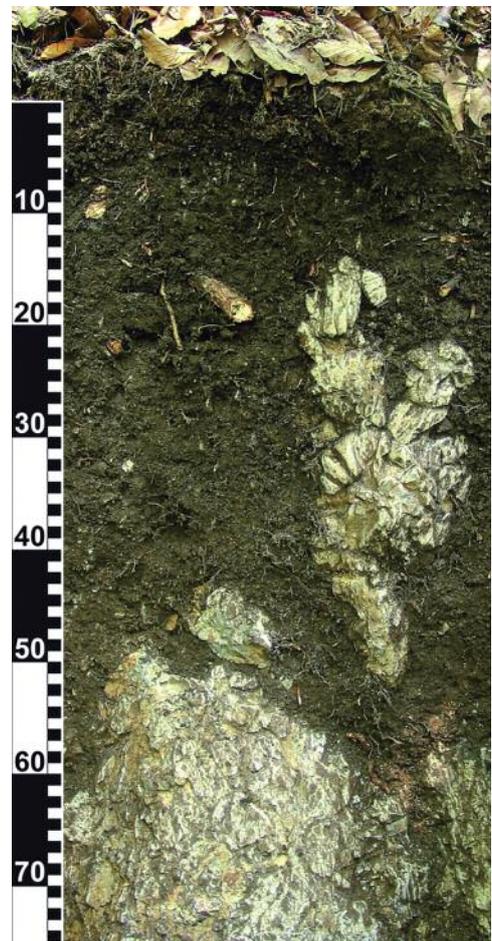
Die Holzernte greift jedoch auch in den Nährstoffkreislauf ein, vor allem bei großflächigen Nutzungen. Auf Kahlschlägen kommt vermehrt Licht und Wärme an der Bodenoberfläche, dies regt die bodenbiologische Aktivität an und dadurch wird der Humus verstärkt abgebaut.

Diesen ökologischen Effekt kann man auch bei Durchforstungen beobachten. Durchforstete Bestände weisen nach dem Eingriff eine günstigere, meist geringmächtigere Humusform auf. Anders als bei Kahlschlägen werden diese freigegebenen Nährstoffe im Waldökosystem gehalten, da sie von den übrig gebliebenen Bäumen wieder aufgenommen werden können.

Wird der Nährstoffkreislauf durch einen Kahlschlag unterbrochen, kommt es

zu Nährstoffausträgen mit dem Sickerwasser, wenn der Boden nicht genügend Nährstoffe speichern kann. In steilen Lagen ist der humose Oberboden zusätzlich von Erosion bedroht. Die Nährstoffdynamik auf Kahlschlägen wird rasch sichtbar: Nährstoffe werden von der sich einstellenden Schlagvegetation aufgenommen, die damit einen temporären Nährstoffspeicher darstellt.

Inwieweit die unvermeidlichen Nährstoffverluste bei einer großflächigen Nutzung die standörtliche Nachhaltigkeit gefährden, hängt von der Speicherkapazität des Bodens ab. Nährstoffe werden im Boden hauptsächlich an den Humusteilchen und Tonmineralen austauschbar gebunden. Daher sind flachgründige, skelettreiche Böden sowie Böden mit einer leichten Bodenart, wie zum Beispiel Sand, besonders anfällig für Nährstoffausträge auf Kahlschlägen.



► Moder-Rendzina („A/C Boden“). Dieser Boden lässt nur kleinflächige Nutzungen zu

Foto:
© 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; Leitgeb - Waldböden
ISBN: 978-3-527-32713-3

Auf Böden, bei denen der humose Oberboden (A-Horizont) bereits am Ausgangsmaterial für die Bodenbildung (C-Horizont) aufliegt, besteht – je nach Geländeneigung – hohe Erosionsgefahr. Auf Böden mit initialer Bodenbildung dominiert der Bodenschutz, hier scheidet jegliche flächige Nutzung aus, die Erhaltung der Bestockung steht im Vordergrund.

Auch der Wasserhaushalt gewisser Bodentypen kann die Nutzungsform beeinflussen. Bäume können im Zuge ihrer Transpiration täglich bis zu 40.000 Liter Wasser pro Hektar aus dem Boden pumpen. Da bei flächiger Nutzung des Bestandes dessen Pumpwirkung ausfällt, steigt auf Standorten, die zur Vernässung neigen, der Wasserspiegel im Boden an, der im Extremfall bis an die Oberfläche reichen kann. Stark vernässte Standorte lassen sich nur mehr äußerst schwierig wieder bestocken, die Bestockung kommt über ein langandauerndes Pionierstadium oft kaum hinaus.

Baumartenwahl

Bei der Baumartenwahl bzw. zur Beurteilung der „Standortstauglichkeit“ spielt der Boden ebenfalls eine große Rolle. Die Nährstoffsituation muss dann abgeschätzt werden, wenn anspruchsvolle (Laub-)Baumarten auf geeigneten Standorten in nadelholzdominierte Bestände (wieder) eingebracht werden. Für Fragen, wie unsere Baumarten Böden unterschiedlicher Eigenschaften durchwurzeln können, sind einfache bodenphysikalische Kenntnisse notwendig. So stellen schwere, tonreiche Böden ein großes Hindernis für die Durchwurzelung dar. Nur wenige Spezialisten, wie etwa Eiche und in höheren Lagen die Tanne, schaffen es, tiefere Bodenschichten zu erschließen. Dieses Bodenkompartment bleibt Flachwurzeln, wie zum Beispiel der Fichte, verwehrt.

Wie gehen Bäume mit Trockenstress um? Hier stehen die Wasserspeicherfähigkeit der Böden, die im Wesent-

lichen durch die Gründigkeit und die Bodenart bestimmt wird, und das Niederschlagsregime im Vordergrund der waldbaulichen Planung.

Auf den Boden und den Standort kommt es an

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die wichtigsten bodenkundlichen Eigenschaften sehr leicht im Gelände beurteilen lassen, sofern diese nicht schon aus der Standortskarte herausgelesen werden können. Die Vegetation (Zeigerpflanzen) gibt weitere wertvolle Hinweise.

Anhand einer „Spatenprobe“, dabei wird ein Bodenziegel ausgestochen, lässt sich Auflagehumus und humoser Oberboden leicht ansprechen. Geringmächtiger Auflagehumus mit einem mächtigen, schwarz gefärbten obersten Mineralbodenhorizont, der krümelige Struktur infolge hoher biologischer Aktivität aufweist, ist ein Zeichen von Nährstoffreichtum und von geringer Versauerung.

Das Reiben des Mineralbodens zwischen den Fingern (Fingerprobe) lässt Rückschlüsse auf die Bodenart und damit auf den Wasserhaushalt zu. Sandiges Material rieselt, während tonreicher Boden sehr bindig – und damit formbar ist. Weganschnitte an Böschungen und Wurzelteller geben ebenfalls willkommene Einblicke in das Bodenprofil (Gründigkeit, Skelettgehalt). Diese Geländebefunde sind für die Beurteilung der meisten praktischen Fragestellungen ausreichend.

Mehr zu Waldböden und Baumartenwahl:

www.waldwissen.net/wald/boden/bfw_boden_baumart/index_DE

Literatur:

Leitgeb, E., Reiter, R., Englisch, M., Lüscher, P., Schad, P., Feger, K. H. (Hrsg.): Waldböden. Ein Bildatlas der wichtigsten Bodentypen aus Österreich, Deutschland und der Schweiz. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim 2013, ISBN 978-3-527-32713-3.

Dr. Ernst Leitgeb,
Institut für Waldökologie und Boden,
Bundesforschungszentrum für Wald,
Seckendorff-Gudent-Weg 8,
1131 Wien, ernst.leitgeb@bfw.gv.at



Bedeutung der Bodenverdichtung für Ertrag und Nachhaltigkeit

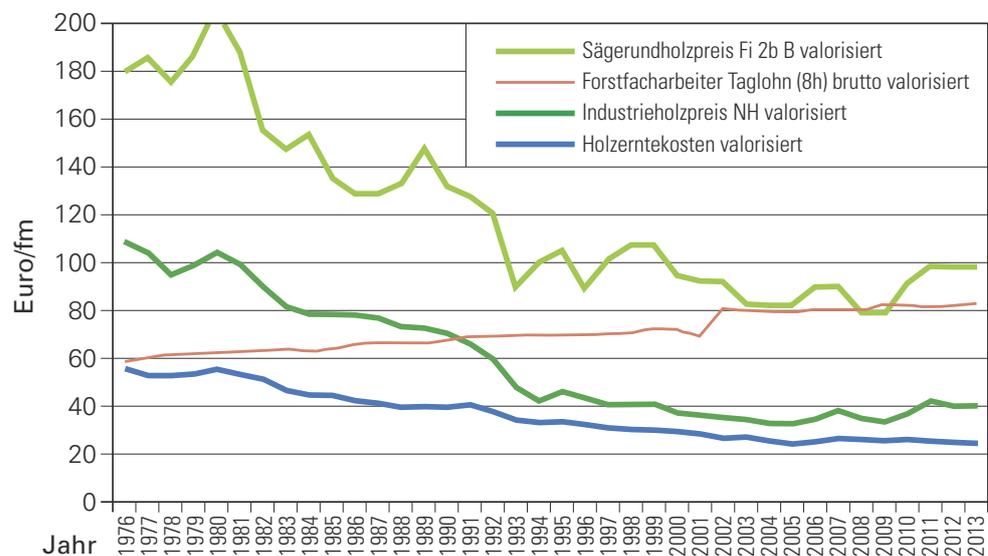
Sichtbare Fahrspuren und Bodenzerstörung nach der Holzernte werden von der Gesellschaft sehr kritisch wahrgenommen. In Wäldern mit erhöhter Erosionsgefährdung können solche Schäden auch tatsächlich Ursache für gravierenden Bodenabtrag sein. Nicht zu sehen sind hingegen die Verdichtungsschäden, die durch das Befahren mit mehr oder weniger schweren Maschinen immer entstehen.

Böden haben ein „Gedächtnis“: Auch wenn die Fahrspuren relativ rasch von der Vegetation überwachsen werden, die Bodenverdichtung bleibt und kann sich nach wissenschaftlichen Erkenntnissen über mehrere Jahrzehnte auf das Baumwachstum auswirken. Da der Boden der wichtigste Produktionsfaktor für die Waldbewirtschaftung ist, sind Waldbesitzerinnen und -besitzer sowie Forstleute auf Bodenschäden sensibilisiert.

Die Rahmenbedingungen für die Bewirtschaftung der Wälder – Halbierung des realen Holzpreises binnen 30 Jahren bei laufend steigenden Kosten – erzeugen einen ständigen Rationalisierungsdruck. Der Sparstift wurde entsprechend der betriebswirtschaftlichen Logik bei den Produktionsfaktoren mit den größten Kostenanteilen, den Verwaltungs- und den Holzerntekosten, angesetzt. Die nötigen Sparziele für die weitere Bewirtschaftung der Wälder sowie Erhaltung der Waldfunktionen (Rohstoffversorgung, Arbeitsplätze, Schutz vor Naturgefahren etc.) konnten durch den technischen Fortschritt und die damit verbundene Produktivitätssteigerung erreicht werden. Bezüglich forstlicher Ideale mussten aber Kompromisse gemacht werden.

Die Kostensenkung in der Holzernte wurde durch zunehmende Mechanisierung erreicht. Mit der Entwicklung leistungsfähiger Schlepper und Mast-

► **Holzpreisentwicklung 1976 bis 2013, nominal und real**
 Quelle: Löhne – Arbeitgeberverband, ProGE, Lohn tafel für Privatforste
 Holzerntekosten – Auswertung der Testbetriebe, Land&Forstbetriebe Österreich
 Holzpreise lt. Statistik Austria, Holzpreisstatistik der Landwirtschaftskammer Österreich



Seilgeräte wurde zunächst die hochmechanisierte Holzernte im Baumverfahren etabliert und damit der erste große Schritt zur Reduktion der manuellen Arbeit in der Holzernte gesetzt. Die Aufarbeitung der Bäume erfolgte nun an der Straße, zunächst mit eigenen Prozessoren, die einen ganzen LKW-Zug füllten.

Bald aber mit der Entwicklung leichter Kranprozessoren kamen die Kombimaschinen (Gebirgs Harvester), bei welchen Seilgerät und Aufarbeitungseinheit auf einer Maschine vereint wurden. Der gravierende Nachteil des Baumverfahrens, der Humus- und Nährstoffabbau durch die Entnahme des nährstoffreichen Astmaterials, führte zu heftigen Diskussionen in Fachkreisen, blieb aber angesichts der wirtschaftlichen, ergonomischen und sicherheitstechnischen Vorteile des neuen Verfahrens von den Holzernteverantwortlichen weitgehend unbeachtet.

Das Bemühen um Rationalisierung der Holzernte gipfelte schließlich in der vollmechanisierten Ernte mit Harvester und Forwarder. 1990 wurde der erste Harvester in Österreich eingesetzt. 2008 waren bereits rund 260 Harvester im Einsatz. Die weitere Entwicklung bis heute zeigt bei gleichbleibender Zahl eine deutliche Tendenz zu immer leistungsfähigeren und schwereren Maschinen, die auch in der Endnutzung und speziell bei Sturmholz eingesetzt werden können. Waren die Maschinen zunächst nur im flacheren Gelände einsetzbar, wird ihr Einsatzspektrum durch die Verwendung von Traktionshilfswinden immer weiter in das steile Gelände (bis 60 Prozent und mehr) ausgeweitet.

Bei diesen leistungsfähigen Maschinen werden durchschnittlich 20 bis 30 Tonnen Einsatzgewicht auf vier bis acht Räder bzw. zwei bis vier Raupenkette verteilt. Durch Gewichtsverlagerung bei der Arbeit mit dem Harvesteraggregat kann aber das Mehrfache des Maschinengewichtes auf einer Seite auf den Waldboden wirken.

Aber nicht nur Harvester und Forwarder, auch die bei der teilmechanisierten Holzernte - häufig ohne Rückegassensystem - eingesetzten, immer schwereren Traktoren mit Rückezange oder Winde drücken ordentlich auf den Boden. Schon ein mittlerer Forstraktor mit Seilwinde oder Rückezange und angehobener Last drückt mit 6 bis 7 Tonnen auf die Hinterachse. Bei land- und forstwirtschaftlichem Mischeinsatz wird diese Last oft über nicht besonders breite Reifen auf den Boden übertragen.

Die Universität Göttingen (Abteilung Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie) hat einen Druck-Kalkulator („PrAllCon“) entwickelt, mit dem man in Form eines einfach zu bedienenden Excel-Files den Druck der Reifen auf den Boden abschätzen kann. Ein Wert $> 0,5$ bar wird oft als kritisch für den Boden gesehen, manche Experten halten aber auch diesen Wert für zu hoch.

Im nachfolgenden Beispiel wird die Bodenbelastung durch einen Forstraktor mit dem Kalkulator berechnet: Bei einer Belastung mit 7000 kg auf der Hinterachse eines Steyr Forstraktors mit Tigerwinde erreicht der mittlere Druck an der Oberfläche 3,6 bar und der max. Druck unter 20 cm Sand (!) immer noch 3,3 bar!

Druck-Kalkulator
(„PrAllCon“):

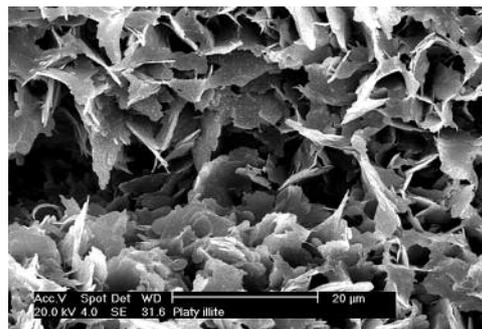
www.uni-forst.gwdg.de/forst/iwvf/prallcon.html

▼
Bodendruck unter Hinterrädern eines Steyr Traktors 4095 mit Tiger 6 t Winde



Sensible Waldböden mit tausendjähriger Geschichte

Ein für Bodeneigenschaften und Pflanzenernährung entscheidendes Produkt der Jahrtausende dauernden Bodenentwicklung sind Tonminerale - plättchenartige, schichtweise aufgebaute Minerale. Bei entsprechendem Wassergehalt sind Tone plastisch und werden unter mechanischer Beanspruchung verdichtet. Die Poren zwischen den 0,002 mm großen Tonplättchen enthalten bis zu 60 % Luft, die für die Durchwurzelung und das Bodenleben entscheidend ist. Im Falle der Verdichtung trifft es stets den Luftanteil. Die Folge: die biologische Aktivität wird beeinträchtigt und der Zuwachs fällt geringer aus.



► Mikroskopische Darstellung von Tonmineralen

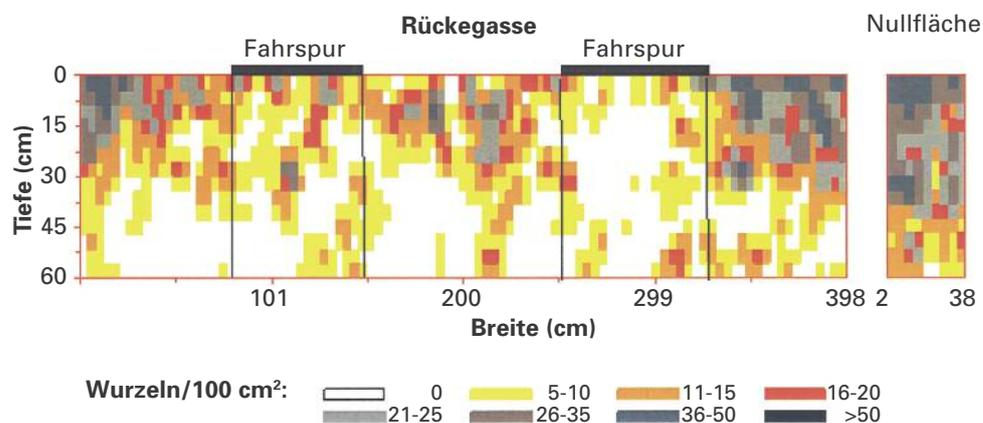
„Einmal ist keinmal“

Dies gilt nicht für die Befahrung von Waldböden. Untersuchungen haben gezeigt, dass bei tiefgründigen Böden (also guten Standorten) bei der ersten Über-

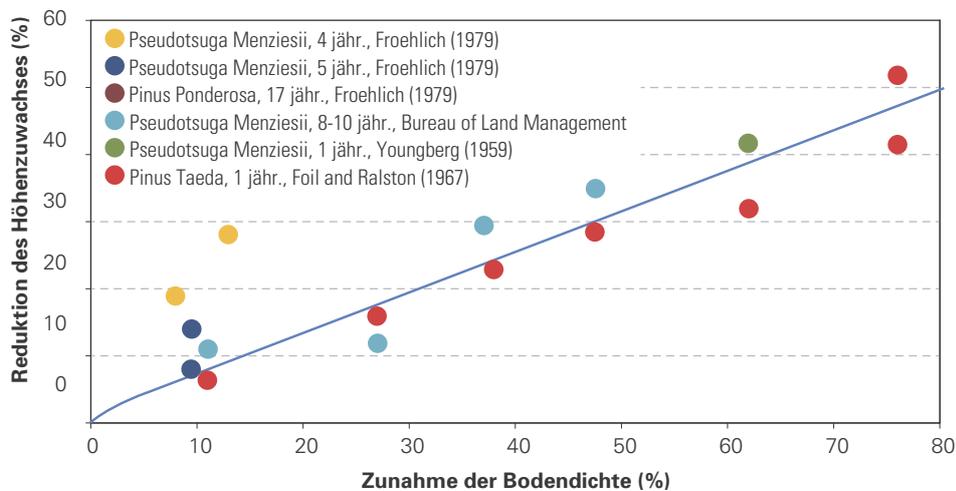
fahrt der Boden so verdichtet wird, dass bei Wiederholung der Befahrung auf der gleichen Fahrspur nicht weiter verdichtet wird. Es ist alles bereits passiert! (Schäffer, J. 2002). Die Untersuchung einer Waldfläche, mehr als 25 Jahre nach unregelmäßiger Befahrung im Zuge einer Windwurfaufarbeitung, hat unter den Fahrspuren immer noch eine deutliche Beeinträchtigung des Wurzelwachstums ergeben. (Schäffer, 2003).

Ertragsrückgang durch Bodenverdichtung zu erwarten

Mehrere Untersuchungen aus den Jahren 1970 bis 1990 in Douglasien- und *Pinus Ponderosa*-Beständen belegen, dass Zuwachsverluste je nach Verdichtungsgrad von 13 bis 69 % des Volumenzuwachses zu erwarten sind, wenn mehr als 10 % des Durchwurzelungsbereiches Verdichtungseffekte aufweisen. (MARGANNE, M.A., 1997). Besonders beachtenswert ist, dass bei allen publizierten Untersuchungen bereits ab einer geringfügigen Verdichtung des Bodens - Zunahme der Bodendichte um ca. 10 % - ein signifikanter Rückgang des Zuwachses feststellbar war. Es ist anzunehmen, dass unsere flach wurzelnde Hauptbaumart Fichte ähnlich reagiert. Untersuchungen zum Zusammenhang Bodenverdichtung/Zuwachs an mitteleuropäischen Hauptbaumarten bzw. Untersuchungen jüngerer Datums fehlen.



► Rückgang der Bewurzelungsintensität in der Fahrspur (SCHÄFFER, 2003)



◀ Zuwachsverlust in Relation zum Grad der Bodenverdichtung nach Marganne (1997) aus Froehlich und McNabb 1983 (Quellen: Foil and Ralston (1967), Youngberg (1959), Bureau of Land Management, Froehlich (1979))

Maschinengewicht entscheidend für Bodenverdichtung

Für die Eignung einer Maschine für einen bestimmten Einsatz sind Steigfähigkeit, Reichweite, Hubmoment sowie Fäll- und Aufarbeitungsdurchmesser von Bedeutung. Für die Beeinträchtigung des Bodens hingegen sind Breite, Gewicht und Art des Fahrwerkes bestimmend. Geringes Gewicht, auf möglichst große Kontaktfläche verteilt, wäre für den Boden ideal. Für hohe Leistung und Reichweite braucht die Maschine aber ein Gewicht, um das entstehende Hubmoment bei der Bearbeitung eines schweren Baumes ausgleichen zu können. Durch die Gewichtsverlagerung beim Heben beträgt der Druck auf einer Seite der Maschine oft das Mehrfache des Maschinengewichtes.

Die Übertragung dieses Druckes auf den Boden erfolgt über Räder bzw. Kettenlaufwerke. Je größer die Kontaktfläche, desto geringer der Druck/cm². Die Druckspitze in der Mitte der Kontaktfläche nimmt hingegen mit dem Reifeninnendruck und der Auflast zu (Jacke, Ebel, 2006).

Wie kann man Bodenverdichtung vermeiden?

Anlässlich eines Workshops des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) zum Thema Bodenschutz wurde

festgehalten:

- Der Einsatz von Rad- und Raupenmaschinen ist wirtschaftlich notwendig – Bodenbelastungen durch Forstmaschinen sind daher unvermeidbar.
- Flächiges Befahren ist eine potenzielle Gefahr für die nachhaltige Gewährleistung der Waldfunktionen – auch und vor allem der Ertragsfunktion.
- Befahrung muss daher strikt auf Feinerschließungslinien beschränkt bleiben – auch bei Kahlschlag oder Windwurfauflastung.
- Feuchtstandorte, zur Verdichtung neigende Böden und steilere Lagen (Gefahr des Bodenabtrages) sollten mit Seilgeräten bodenschonend bearbeitet werden.

Feinerschließung

Die vordringlichste Maßnahme zum Bodenschutz ist die Festlegung der Befahrung auf Rückelinien.

Für die vollmechanisierte Holzernte werden Fahrgassen im Abstand von 20 m mit einer Gassenbreite von 4 m empfohlen. Größere Gassenabstände machen die Holzernte teurer und steigern durch das erforderliche Vorrücken das Risiko der Bestandsschäden. 4 m-Gassen im Abstand von 20 m bedeuten einen Flächeneinsatz von 20 %. Bei kon-

sequenter Einhaltung der Gassen – auch bei Windwurfaufarbeitung und Kahlhieb – bleiben auf diese Weise aber 80 % der Fläche frei von jeglicher Bodenverdichtung. Zudem wird ein Teil der Gassen von den Randbäumen auch noch als Wurzel- und Kronenraum genutzt. Die Befahrbarkeit der Gassen muss aufrecht erhalten werden, um zusätzliche Flächenverluste (durch Ausweichen) zu vermeiden.

Merkblatt zur Beurteilung des Bodens:

www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb-22-bodenschutz.pdf

Nützliche Reisigauflage

Eine Reisigauflage in der Rückegasse verringert zwar nur gering die Druckbelastung, kann aber einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Befahrbarkeit der Rückegassen leisten und Wurzelverletzungen sowie unschöne Bodenverwundungen verhindern.

Traktionshilfen richtig einsetzen

Die Verwendung von Traktionshilfen bei ungünstigen Gelände- oder Wetterbedingungen führt oft zu schweren Bodenschäden. Davon sind auch Bogiebänder nicht auszunehmen, die nur bei guter Bodentragfähigkeit die ihnen nachgesagte positive Wirkung durch Vergrößerung der Auflagefläche entfalten können.

Kenntnis der Waldstandorte

Sensible Standorte, auf die bei der Planung der Holzernte besonderes zu achten ist, können aus der Standortskarte abgelesen werden. Auch einfache boden-

kundliche Ansprachen vor Ort, wie zum Beispiel die Bestimmung der Bodenart („Fingerprobe“), der Gründigkeit und des Skelettanteils sind wichtige Planungsgrundlagen. Der Oberboden kann mit Hilfe eines Spatens („Spatenprobe“) relativ einfach beurteilt werden. Auch Hanganschnitte bei Forststraßen oder Zeigerpflanzen (Verdichtungszeiger) geben oft gute Einblicke in die Bodenverhältnisse.

Generell sinkt mit zunehmender Bodenfeuchtigkeit und abnehmendem Grobskelettanteil die Haltekraft des Bodens. Die Differenz zwischen Antriebskraft und Haltevermögen des Bodens erzeugt den Schlupf der Antriebsräder oder Raupen beim Vortrieb. Je größer der Schlupf, desto deutlicher graben sich die Räder in den Oberboden. Damit beginnt die Gleisbildung und in der Folge kann die Gasse unbefahrbar werden.

Zur Vermeidung solcher Gleisbildung empfiehlt die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) unmittelbar vor dem Befahren einen einfachen Test durchzuführen, indem ein aus dem zu befahrenden Bodenmaterial geformtes Kügelchen mit mäßigem Schwung an eine glatte Oberfläche geworfen wird. Das Erscheinungsbild des Kügelchens nach dem Wurf gibt einen Hinweis auf die Befahrbarkeit des Bodens.

Wo liegt die Grenze der Hangneigung für die Befahrbarkeit?

Grundsätzlich begrenzt der Schlupf der Antriebsräder die Befahrbarkeit. HITTENBECK (2010) definierte für eine Untersuchung mit Radmaschinen die ökologische Grenze der Befahrbarkeit bei maximal 25 % Schlupf. Radmaschinen ohne Traktionshilfe (Bänder, Ketten) erreichten diesen Wert bei mittleren Bodenverhältnissen bei 25 bis 35 % Hangneigung (Streuung 17 bis 46 %). Mit Bändern oder Ketten konnten bei mittleren Bodenverhältnissen Hangneigungen von 40 bis 50 % (Streuung 31 bis 60 %) mit vertretbarem Schlupf bewältigt werden.

▼
Typische Gleisbildung bei zu geringer Tragfähigkeit des Bodens



Durch den Einsatz von Traktionswinden werden Maschinen zunehmend auch in „nicht befahrbaren“ Hängen eingesetzt. In der Praxis wird dabei leider sehr häufig die Grundregel missachtet, dass das Fahrzeug auch ohne Traktionswinde noch sicher manövrierbar sein muss. Die Grenzen für die Manövrierfähigkeit von Forwardern mit Traktionsbändern gibt HITTENBECK (2010) für die sehr seltene Situation mit trockenen, skelettreichen Böden bei etwa 79 % an. Dieser Wert sinkt aber mit steigender Bodenfeuchtigkeit und sinkendem Skelettanteil sehr schnell auf realistische Werte deutlich unter 60 %.

Zusammenfassung

Zunehmendes Maschinengewicht führt trotz technischer Vorkehrungen wie Breitreifen, Bogiebänder etc. zu großen Druckbelastungen für den Waldboden und damit zu irreversiblen Verdichtungsschäden. Zuwachsverluste und nachhaltige Schäden am Wald können die Folge sein.

Die einzige Möglichkeit, diese zu vermeiden, liegt in der Konzentration der Fahrbewegungen auf festgelegte Fahrlinien. Da die Verdichtung über Baum-

Dies entspricht der in der Literatur üblichen Unterscheidung von drei Hangneigungsklassen nach ihrer Befahrbarkeit:

Hangneigung <30 %	befahrbar	(ÖWI 1.362.000 ha, 40%)
Hangneigung 30–60%	eingeschränkt befahrbar	(ÖWI 1.276.000 ha, 38%)
Hangneigung >60 %	nicht befahrbar	(ÖWI 729.000 ha, 22%)

generationen wirkt, dürfen zur Vermeidung von Produktionsflächenverlusten einmal angelegte Fahrlinien nicht mehr verlassen werden.

Technische Vorkehrungen, wie Reisigauflagen können zur Erhaltung der Befahrbarkeit der Gassen beitragen, nicht jedoch Bodenverdichtungsschäden verhindern. Im steilen Gelände hat Sicherheit Vorrang. Harvester und Forwarder mit Traktionswinden müssen bei Seilriss sicher manövrierbar bleiben. Bei Anwendung des Baumverfahrens sollten der Bodenzustand und die Nährstoffversorgung des Standortes berücksichtigt werden. Im Zweifel wird eine Teilentastung bzw. das Abzopfen der Bäume empfohlen. Dabei spielen lokale standortkundliche Kenntnisse eine entscheidende Rolle bei der Planung der Holzernte.



Dipl.-Ing. Nikolaus Nemesothy,
Fachbereich Forsttechnik, Forstliche
Ausbildungsstätte Ort des BFW,
Johann Orth-Allee 16,
4810 Gmunden,
nikolaus.nemesothy@bfw.gv.at

Literatur

Borchert, H.; Blaschke, M.; Metan, M. (2008): Wurzelverletzungen unter Raupe und Rad, LWF aktuell 67/2008

Borchert, H.; Metan, M. (2008): Kein Luftdruck für alle Fälle, LWF aktuell 67/2008

Ebel, A. (2006): Druckverteilung auf Kontaktflächen unter Forstreifen, Dissertationsschrift an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg August-Universität Göttingen

Erler, J.; Güldner, O. (2002): Technologisch differenzierte Standorte - der Weg zu einem Vertragsbodenschutz?, AFZ-DerWald 2002

Froehlich, H.A. (1978): Soil compaction from low ground-pressure, torsion-suspension logging vehicles on three forest soils. Res.Pap. 36, For.Res.Lab. Oregon State University, Corvallis, 13 p.

Froehlich, H.A. (1979): Soil compaction from logging equipment: Effects on growth of young ponderosa Pine, Journal of Soil and Water Conservation, Vol 34, Number 6

Hittenbeck, J. (2010): Inclination Limits for high mechanized Harvesting, Department of Forest Work Science and Engineering (ifa) - Georg August University, Göttingen

Jacke, H. (2008): Radlos – wie viel Druck vertragen Mensch und Boden?, Forst & Technik 11/2008

Jacke, H.; Ebel, A. (2006): PrAllCon: Neues über Reifen im Forst, Teil 1 bis 3, Forst & Technik 1/2/3/2006

Jacke, H.; Sengpiel, A.; Brokmeier, H. (2008): Zur Druckverteilung unter Reisigmatten, Forst & Technik 10/2008

Kremer, J.; Wolf, B.; Matthies, D.; Borchert, H. (2007): Bodenschutz beim Forstmaschineneinsatz, LWF-Merkblatt 22

Schack-Kirchner, H.; Hildebrand, E.E. (1994): Bodenschäden beim Harvester- und Forwardereinsatz, Forst & Technik 2/1994

Marganne M.A. (1997): Soil Compaction and Disturbance Following a Thinning of Second-Growth Douglas-fir with a Cut-to-Length and a Skyline System in the Oregon Cascades, Professional Paper submitted to the Department of Forest Engineering, Oregon State University, Corvallis

Schäffer, J. (2002): Befahren von Waldböden – ein Kavaliersdelikt? Der Waldwirt 29 (12), 21-23

Weise, G. (2008): Entwicklung und Einsatz von Forstreifen, LWF aktuell 67/2008

Weiterführende, teilweise zitierte Literatur:
www.waldwissen.net

Internationales Boden-Reporting

Nationaler Report 2014 für Österreich:
www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REPO475.pdf

Österreichische Waldinventur:
www.waldinventur.at

BFW-Bericht 145, Biosoil - Datenband Österreich
www.bfw.ac.at/webshop

Simulationsmodell Yasso07:
www.syke.fi/projects/yasso

▼
Bodenanalytik:
Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes im Boden

Österreich berichtet seine jährlichen Emissionen von Treibhausgasen nach den Bestimmungen der Rahmenkonvention über den Klimawandel (UNFCCC) und dem Kyoto-Protokoll. Der Nationale Report für 2014 wurde von Umweltbundesamt zusammengestellt (Anderl et al., 2014)

Die Emissionsbilanz ist nach Wirtschaftssektoren gegliedert. Der Sektor Landnutzung umfasst Land- und Forstwirtschaft. Für die Forstwirtschaft wird die Veränderung der Waldfläche und der Baumbiomasse auf Grundlage der Daten der Österreichischen Waldinventur berichtet. Ein zweites Element ist die Veränderung des Kohlenstoff-Pools der Waldböden. Diese wird in Österreich mit dem Simulationsmodell Yasso07 durchgeführt; die Simulationsergebnisse werden mit Daten von Geländeerhebungen verifiziert.

Der Boden als Quelle und Senke von Treibhausgasen

Weltweit steigt der Partialdruck von Kohlendioxid in der Atmosphäre seit Jahrzehnten an. Dafür sind die Verbrennung von fossilen Energieträgern und die Abholzung tropischer Regenwälder als Quellen von Kohlendioxid verantwortlich.

Im österreichischen Wald sind etwa 800 Millionen Tonnen Kohlenstoff gebunden (Weiss et al. 2000). Vierzig Prozent davon sind in der lebenden Biomasse der Bäume, die durch die Zunahme der Waldfläche weiterhin ansteigt. Sechzig Prozent sind im Waldboden als Auflagehumus und im Mineralboden festgelegt. Aus den Daten des Europäischen Waldbodenmonitorings (Projekt BioSoil) wurde der Kohlenstoffvorrat in Österreichs Waldböden, getrennt nach der Geologie, berechnet. In karbonatbeeinflussten Böden ist aufgrund des meist mächtigeren humosen Oberbodens (0-20 cm Bodentiefe) mehr Kohlenstoff gespeichert.

Detaillierte Daten zu den Kohlenstoffvorräten in Böden anderer Nutzungen sowie Erläuterungen zu den Einfluss-



Mittlere Kohlenstoffvorräte österreichischer Waldböden (Daten aus: BioSoil, BFW).				
	Auflagehumus [t/ha]	Mineralboden 0-20 cm – [t/ha]	Mineralboden 20-80 cm – [t/ha]	gesamt Boden [t/ha]
karbonatbeeinflusste Böden	25	91	46	162
Silikatische Böden	26	60	49	135

faktoren und Anpassungsmöglichkeiten sind in der aktuellen Broschüre „Boden und Klima“ des Fachbeirates für Bodenschutz und Fruchtbarkeit des BMLFUW zusammengefasst.

Durch die Erwärmung wird die Bodenatmung erhöht und der Vorrat an Bodenkohlenstoff kann in der Folge des Klimawandels mittelfristig verringert werden, wenn vermehrt Bodenkohlenstoff als Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangt (Schindlbacher, 2015 – siehe Seite 33).

Methoden

Für das Reporting wird die Veränderung des Vorrats an Bodenkohlenstoff im Auflagehumus und Mineralboden zwischen zwei Zeitpunkten ermittelt. Wenn der Kohlenstoffvorrat größer geworden ist, waren die Waldböden im betrachteten Zeitraum eine Senke für Kohlendioxid, andernfalls eine Quelle. Die Veränderung des Bodenkohlenstoffpools durch wiederholte Bodenerhebungen und -analysen ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden, da der Kohlenstoffgehalt im Waldboden oft sehr starken kleinstandörtlichen Schwankungen unterworfen ist, die eine zeitlich bedingte Veränderung überlagern können. Diese hohe standörtliche Heterogenität erfordert eine sehr hohe Anzahl an Probepunkten.

Überdies werden Bodeninventuren nur in größeren und meist unregelmäßigen Zeitabständen durchgeführt und stehen für das jährliche Reporting nur in Ausnahmefällen zur Verfügung. Die Daten aus den Bodeninventuren stellen aber eine unentbehrliche Grundlage bei der Validierung von Bodenkohlenstoffmodellen dar.

Die Veränderung des Bodenkohlenstoffpools wird daher meist durch Simulation, also durch den Einsatz von Modellen, abgeschätzt. Das dazu verwendete Programm Yasso07 wird mit den Bestandesdaten der Österreichischen Waldinventur und den Klimadaten des Hydrographischen Dienstes parametrisiert. Die Gültigkeit der Simulationsergebnisse

wurde mit Bodeninventurdaten und mit den Resultaten eines Klima-Manipulationsexperimentes überprüft (Mutsch et al., 2013, Schindlbacher, 2015 – siehe Seite 33). Die Simulationsergebnisse haben für Österreich eine leichte, statistisch nicht-signifikante Abnahme des Kohlenstoffpools im Waldboden im Zeitraum 1992 bis 2009 gezeigt. Für die Veränderung sind mehrere Faktoren verantwortlich. Dabei spielt der Klimawandel genauso eine Rolle wie Veränderungen der Form der Waldbewirtschaftung.

Projekte

Das Institut für Waldökologie und Boden des BFW betreut das Österreichische Waldboden-Monitoring (FBVA 1992, Mutsch et al. 2013). Im von der EU kofinanzierten Projekt „BioSoil“ wurde ab 2005 eine Wiederholungsaufnahme des europäischen Waldboden-Monitorings, das Mitte der 90-er Jahre des vergangenen Jahrhunderts durchgeführt wurde, gestartet. Diese Daten wurden jeweils als Referenz für regionale Bodenerhebungen herangezogen und sind auch die Grundlage für das internationale Berichtswesen zu Waldböden (Anderl et al., 2014).



Broschüre

„Boden und Klima“,
Fachbeirat für Boden-
fruchtbarkeit und Boden-
schutz (BMLFUW):

www.bmlfuw.gv.at/publikationen/land/boden-klima.html



**Auflagehumus und
humoser Oberboden eines
Waldbodens**

Foto:

© 2013 Wiley-VCH Verlag GmbH
& Co. KGaA; Leitgeb - Waldböden
ISBN: 978-3-527-32713-3

►
**Probenahme des
Aufleghumus**

<http://bfw.ac.at/rz/bfw-cms.web?dok=9841>

<http://anrica.org/agency/singapore/>

Univ. Doz. DI. Dr. Robert Jandl,
DI Dr. Ernst Leitgeb,
Institut für Waldökologie und Boden,
Bundesforschungszentrum für Wald,
Seckendorff-Gudent-Weg 8,
1131 Wien,
robert.jandl@bfw.gv.at

DI. Dr. Klemens Schadauer,
DI. Alexandra Freudenschuß,
Institut für Waldinventur,
Bundesforschungszentrum für Wald,
Seckendorff-Gudent-Weg 8,
1131 Wien,
klemens.schadauer@bfw.gv.at
alexandra.freudenschuss@bfw.gv.at



In einer Studie zu mehreren Szenarien der österreichischen Waldbewirtschaftung im nächsten Jahrhundert wurde ebenfalls der Kohlenstoffpool der Waldböden simuliert (Ledermann, Jandl, Schadauer 2015). Demnach wird sich die leichte Abnahme des Vorrates fortsetzen, außer wenn erhebliche Teile des Waldes außer Nutzung gestellt werden und somit mehr Kohlenstoff als organische Substanz am Standort zurückbleibt.

Auch am internationalen Reporting ist das BFW beteiligt. Ein österreichisches Konsortium, bestehend aus dem BFW,

dem Umweltbundesamt und dem Joanneum Research, koordiniert von der Österreichischen Agentur für Waldentwicklung, Waldbewirtschaftung und internationale Kooperation (ANRICA), entwickelt ein Monitoring- und Reportingsystem für den Landnutzungssektor in Singapur, das den Vorgaben des Weltklimarates der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) entspricht. Die Regierung Singapurs setzt sich als eines der ersten asiatischen Länder, die das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen unterzeichneten, ambitionierte Ziele zum Treibhausgas-Monitoring.

Ziel der Zusammenarbeit ist auch der Aufbau der erforderlichen Expertise in Singapur, so dass nach Ablauf des Projekts Institutionen in Singapur das aufgebaute Reportingsystem weiterführen können. Das BFW ist für die Abschätzung der Kohlenstoffveränderungen in der oberirdischen Biomasse und im Boden verantwortlich.



Weiterführende Literatur

Anderl, M.; Freudenschuß, A.; Haider, S.; Jobstmann, H.; Köther, T.; Kriech, M.; Lampert, C.; Moosmann, L.; Pazdernik, K.; Pinterits, M.; Poupa, S.; Schmid, C.; Stranner, G.; Kohlbach, M.; Schwaiger, E.; Schwarzl, B.; Weiss, P.; Zechmeister, A. (2014): Austria's National Inventory Report 2014. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Umweltbundesamt 0475

FBVA 1992: Österreichische Waldbodenzustandsinventur. Mitteilungen der FBVA 168/ I,II.

Ledermann, T.; Jandl, R.; Schadauer, K. (2015): Treibhausgasbilanz im österreichischen Wald. BFW-Praxisinformation 38, 4-9

Mutsch, F.; Leitgeb, E.; Hacker, R. †; Amann, Ch.; Aust, G.; Herzberger, E.; Pock, H.; Reiter, R. (2013): Projekt BioSoil – Europäisches Waldboden-Monitoring (2006/07). Datenband Österreich. BFW-Berichte 145/I,II

Weiss, P.; Schieler, K.; Schadauer, K.; Radunsky, K.; Englisch, M. (2000): Die Kohlenstoffbilanz des österreichischen Waldes und Betrachtungen zum Kyoto-Protokoll. FBVA und Umweltbundesamt, Monographien Band 106

►
**Kohlenstoffinventur in
tropischen Wäldern und
deren Böden**



MICHAEL ENGLISCH, SIGRID SCHWARZ

Waldböden – nur etwas für Spezialisten? Wald-Boden-Weiterbildung am BFW

Das Institut für Waldökologie und Boden des BFW hat in den letzten Jahren zahlreiche Schwerpunkte gesetzt, um dieses für die Forstwirtschaft so wichtige Thema für Forstleute, aber auch für einen weit darüber hinaus gehenden Interessentenkreis aufzubereiten. Für Forstexpertinnen und –experten ist es selbstverständlich, dass der Boden das Produktionskapital des heimischen Waldes ist und durch die Bewirtschaftungsmethoden stark beeinflusst werden kann. Für fachferne Personen gilt es, die Aufmerksamkeit auf den Boden, seine Bedeutung für den Menschen, wichtige Stoffkreisläufe und seine Vielfalt zu lenken.

Speziell für Forstpraktiker entwickelt, gibt es ein- bis zweitägige Seminare zum Thema Waldstandort und Waldböden: Ziel ist es hier, genau jenes Wissen in kompakter Form weiter zu geben, das in der Praxis für Beratung und Bewirtschaftung benötigt wird. Anhand aktueller Themen wie zum Beispiel „Nährstoffmanagement am Standort und Ernte von Biomasse“ oder „Standortseignung der Douglasie“ werden wichtige Indikatoren zur Standortdiagnose vorgestellt: etwa das C/N-Verhältnis, das wichtige Aussagen zur Umsetzung der organischen Substanz liefert, oder die Basensättigung, welche Hinweise zur Pflanzenverfügbarkeit wichtiger Nährelemente gibt, oder der Carbonatgehalt des Bodens als wesentlicher Faktor für die Baumartenwahl.

Zu fundierter Standorteinschätzung anleiten

Praxisorientierte Informationen zur Bewertung von Analysewerten („Was bedeutet eine Basensättigung von 35 %“) vermitteln wichtige Kenntnisse über Baumarteneignung auf unterschiedlichen Standorten oder die Besonderheiten von Waldböden. Im Vordergrund steht bei den Seminaren aber, mit einfachen Methoden im Gelände und den verschiedenen vorliegenden Informationen selbstständig zu einer fundierten Einschätzung eines Standortes zu gelangen.

Sie bewirtschaften einen Wald und brauchen standortspezifische Beratung? Die Expertinnen und Experten des BFW bieten Ihnen Beratung am Waldstandort an. Mögliche Lösungsansätze für Ihre konkreten Fragestellungen, wie Baumartenwahl, Bestandesmelioration und weitere Fragen werden gemeinsam erarbeitet.

▼
Angewandtes Lernen vom Standort



Waldbodenlehrpfad-
Homepage:
www.bodenlehrpfad.at



▼
Der Waldbodenlehrpfad
Taferlklausur kann auch per
Audioguide erkundet
werden

Der Bestseller: Buch über Waldböden

Das unter der Federführung des BFW und unter Mitarbeit deutscher und schweizerischer Fachkollegen entstandene Buch „Waldböden: Ein Bildatlas der wichtigsten Bodentypen aus Österreich, Deutschland und der Schweiz“ richtet sich an ein naturwissenschaftlich interessiertes Publikum. Es werden die maßgeblichen Bodentypen anhand von Kurzportraits und mit umfassenden Daten zu über 40 Bodenmerkmalen vorgestellt, anschaulich aufbereitet und interpretiert. Zusammen mit Kommentaren zum Baumwachstum und zur Waldbewirtschaftung werden wertvolle Hinweise für die Praxis geliefert.

In Planung ist ein „Bodenfächer“, der nach dem Vorbild der erfolgreichen Raupen- und Baumpilzfächer das Bestimmen von Waldböden erlaubt und wichtige Eigenschaften in übersichtlicher Form darstellt.

Bei „Bruno Braunerde und die Bodentypen“, einem Konzept aus Schottland und der Schweiz, das von der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft für Österreich adaptiert wurde, wird dies über die Vermenschlichung unterschiedlicher Bodentypen versucht.

Wissensvermittlung mit unterschiedlichen Mitteln

Der Waldbodenlehrpfad Taferlklausur in Oberösterreich gilt als gelungenes Beispiel dafür, das Wissen über die Waldbö-

den und ihre Funktionen verschiedenen Gruppen zu vermitteln. Die zahlreichen Besucherinnen und Besucher mit sehr unterschiedlichem Zugang, wie Touristen, Tagesausflüglerinnen, Kindergruppen, an Natur Interessierte und Forstpraktikerinnen, beweisen dies: So findet etwa ein Teil der Vorbereitungsseminare zur forstlichen Staatsprüfungen für den leitenden Forstdienst am Bodenlehrpfad, Lehrausgänge bei der Ausbildung zum Forstwirtschaftsmeister und Exkursionen des Österreichischen Forstvereins statt.

Auch das Modul „Waldböden“ im Rahmen der Ausbildung zur Waldpädagogin oder zum Waldpädagogen, Führungen für Biologielehrer und fachwissenschaftliche Exkursionen bedienen sich des Waldbodenlehrpfades. Neben der „üblichen“ Ausstattung, nämlich Schautafeln und Bodenprofilen, steht eine Vielzahl von Medien zur Verfügung: An das Fachpublikum richtet sich eine Broschüre, die wissenschaftliche Beschreibungen der Standorte und der Bodenprofile sowie die Daten der chemischen Bodenanalysen enthält. Ein Audioführer, der über QR-Code auf mobile Geräte geladen werden kann, vermittelt in Form von Interviews mit Experten zusätzliche Informationen über Landschaft, Forstwirtschaft und Standorte. Auch ein virtueller Rundgang am Bodenlehrpfad ist mit Hilfe einer interaktiven DVD möglich. Abgerundet wird das Angebot durch eine Homepage, über die sämtliche Informationen zugänglich und her-



unterladbar sind und die über aktuelle Veranstaltungen am Bodenlehrpfad informiert. Der Waldbodenlehrpfad Taferlklausur wurde vom BFW in Zusammenarbeit mit dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Umweltschutz, dem Österreichischen Forstverein, den Österreichischen Bundesforsten und der österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft errichtet.

Boden begreifen

Im Bereich der Waldpädagogik wird im Rahmen des Ausbildungs-Moduls C der Workshop „Boden be-greifen“ angeboten, welcher zusammen mit Expertinnen und Experten der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft entwickelt wurde. Dieses Angebot ermöglicht es, Waldpädagoginnen und -pädagogen, sich Wissen über Waldböden, deren Funktionen und Eigenschaften anzueignen. Es wird ein Spektrum ganz unterschiedlicher interessanter Fragen beantwortet, zum Beispiel: Wie lange dauert es, bis ein Boden entsteht? Wie viel Wasser kann ein Boden speichern? Welche Tiere leben im Waldboden?

Besonders wichtig ist es auch, Methoden zu vermitteln, sodass das Wissen in Form von Experimenten und Spielen in den Verlauf von waldpädagogischen Führungen eingebaut werden kann. Gefragt ist hier sowohl die Bestimmung wichtiger Bodenlebewesen von den bekannten wie dem Maulwurf, den Regenwürmern oder den Asseln



ausgehend, zu den eher unbekannteren wie den Springschwänzen, dem Bärtierchen oder dem Pseudoskorpion. Dafür stehen Bestimmungsschlüssel zur Verfügung, die auch dem Nicht-Bodenzoologen eine sichere Bestimmung garantieren. Besonderen Spaß macht es, die Tiere pantomimisch darzustellen und dann über Fressketten „Wer frisst wen“ den Zugang zu Nahrungskreisläufen zu schaffen.

Bodenschwerpunkte bei PR-Veranstaltungen

An Schülerinnen und Schülern richten sich neben den Boden-Workshops („Boden macht Schule“, siehe Seite 20) auch zahlreiche andere Veranstaltungen zum Thema: Seit einigen Jahren gibt es im Rahmen des Tages der offenen Tür am BFW einen Bodenschwerpunkt: Hier können die Kinder nach Herzenslust im Boden wühlen und dabei Bodentiere und verschiedene Bodeneigenschaften entdecken. Es ist möglich, der Kreativität freien Lauf zu lassen, mit Boden zu formen und zu malen, oder aber als zukünftige Wissenschaftlerin die Bodeneigenschaften mit Unterstützung von Bodenexperten selbst zu erforschen. Eine bodenkundliche Schnitzeljagd, an deren Ende nach richtiger Beantwortung von Fragen über den Wald und über den Boden die Hebung eines vergrabenen Schatzes steht, bildet für viele einen Höhepunkt.

Ähnliche Programme bietet das BFW zusammen mit der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, dem Umweltbundesamt und der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) an: Jedes Jahr im Tiergarten Schönbrunn bei der Schulaktionswoche in der letzten Schulwoche und bei den Artenschutztagen in den Sommerferien, bei der Gartenbaumesse Tulln oder im Rahmen des Wiener Ferienspiels.



▲ Knifflig: das Schmetterlingsraupenquiz

◀ Boden be-greifen

Dr. Michael Englisch,
Institut für Waldökologie,
Bundesforschungszentrum für Wald,
Seckendorff-Gudent-Weg 8,
1131 Wien,
michael.englisch@bfw.gv.at

Dr. Sigrid Schwarz,
Umweltbundesamt,
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien

MICHAEL ENGLISCH, CECILIE FOLDAL, HELENE BERTHOLD, BARBARA BIRLI,
SIGRID SCHWARZ

Boden macht Schule

Boden macht Schule! Unter diesem Titel halten Expertinnen und Experten des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW), der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES), der Universität für Bodenkultur (BOKU), der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft (ÖBG) und des Umweltbundesamtes (UBA) Workshops in Schulen ab, mit dem Ziel möglichst vielen Schülerinnen und Schülern Wissen um den Boden und den Bodenschutz zu vermitteln. Unterstützt werden die Expertinnen und Experten von Studierenden der BOKU, die im Bereich der Bodenkunde und der Wissensvermittlung besonders motiviert sind.

Es gibt viele gute Gründe, um sich an der Schule mit dem Thema Boden auseinanderzusetzen: Böden sind die „lebende Haut“ unserer Erde. Durch die

Verwitterung im Laufe von Jahrtausenden entstanden, bilden sie eine unentbehrliche Lebensgrundlage für den Menschen und Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Wie die Luft zum Atmen und das Wasser zum Trinken braucht der Mensch den Boden zur Herstellung seiner Nahrung und als Lebensraum. Der weitaus überwiegende Teil unserer Wohnhäuser ist aus Bodenbestandteilen (Beton, Ziegel) oder Produkten des Bodens (Holz) gefertigt.

Darüber hinaus spielt der Boden als Puffer- und Speichermedium eine wichtige Rolle im Wasserkreislauf (Trinkwasser, Milderung von Hochwasserspitzen), bei der Speicherung von CO₂ sowie bei der Bindung und Umwandlung von Schadstoffeinträgen. Boden ist auch Träger eines hohen Anteils der Biodiversität: Die Vielfalt und Anzahl der Lebewesen, die im Boden leben, übertreffen jene, die „oberirdisch“ leben, und stellen eine wertvolle Genreserve dar.

Gerade das Jahr 2015 ist bestens geeignet, sich an Schulen mit Boden vermehrt auseinanderzusetzen, da die Vereinten Nationen das heurige Jahr zum Internationalen Jahr des Bodens ausgerufen haben, um die gefährdete und weltweit begrenzte Ressource Boden in den Blickpunkt der Öffentlichkeit zu rücken.

Boden und Bodenschutz – (k)ein Thema an der Schule?

„Boden“ ist kein einfaches Thema, und natürlich trifft man auf das Stereotyp „Boden, das ist der Gatsch unter unseren Füßen“. Im Lehrplan von Volksschule, Neuer Mittelschule und Allgemein Hö-

▼
Böden sind die
„lebende Haut“
unserer Erde



heren Schulen findet sich das Thema über viele Schulstufen und Unterrichtsgegenstände verteilt: Vom Sachunterricht in der Volksschule bis zu Biologie und Umweltkunde, Chemie sowie Geographie und Wirtschaftskunde in den weiterführenden Schulen.

Diese Verteilung macht zwar einerseits die technische Durchführung schwierig, denn das Thema kann in einer Unterrichtseinheit nicht ausgerollt werden. Andererseits bieten sich viele Chancen im fächerübergreifenden Projektunterricht, das Thema altersgerecht aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten.

Boden macht Schule

Aus diesen Überlegungen heraus wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft das Projekt „Boden macht Schule“ 2013 beauftragt, das sich speziell an Schülerinnen und Schüler der dritten bis sechsten Schulstufe wendet. Im Rahmen dieses Projekts wurden Bodenworkshops entwickelt, die üblicherweise in zwei, gegebenenfalls in drei Unterrichtseinheiten abgehalten werden. Die Workshops bestehen aus einem einleitenden Teil, in dem zusammen mit den Schülerinnen und Schülern die Wirkungen des Bodens („Bodenfunktionen“) erarbeitet werden und situationsangepasst Bodenwissen vermittelt wird.

Anschließend forschen die Kinder selbst am Boden. Grundprinzip ist hier das „Selber Tun“ der Schülerinnen und Schüler beim „Bodenwühlen“. Das



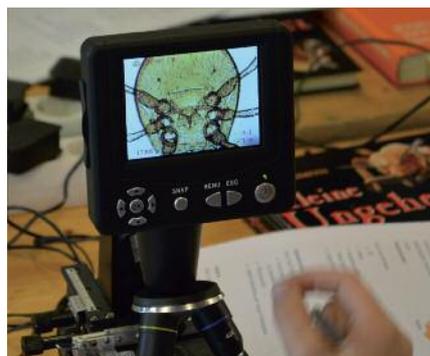
Testen und Erfühlen verschiedener Bodeneigenschaften anhand von frisch erworbenem Bodenmaterial gehören ebenso dazu wie das Anschauen und Bestimmen von Bodentieren mit Lupen und Mikroskopen. Es braucht Interesse und Behutsamkeit, um die lebendigen Tiere anzugreifen. Mut braucht es, um in die Blackbox zu greifen und wichtige Bodenbestandteile zu erspüren, ohne sie zu sehen.

Bei den Schülerinnen und Schülern sehr beliebt ist ein Filterversuch, der die Filter- und Speicherfähigkeit von Boden anhand von mit Tinte gefärbtem Wasser zeigt. Ergänzt wird das Angebot durch kreatives Arbeiten mit gemahlenem Boden. Hier können Streubilder hergestellt oder durch das Anrühren mit Wasser Bilder gemalt werden.

Es gibt auch ein Bewegungsspiel, im Zuge dessen sich die Klasse in den Bodenbildungsprozess verwandelt und alle Kinder Bestandteile der Bodenbildung

▲ Der Hit unter den Versuchen: gefärbtes Wasser durch einen Filter schicken

▼ Bodentiere unter dem Mikroskop: spannend, überraschend... und manchmal gruselig





verkörpern. Zum Abschluss werden gemeinsam Ideen gesammelt, was jede und jeder einzelne zum Bodenschutz beitragen kann.

Das Projekt „Boden macht Schule“ will so den Schülerinnen und Schülern die zahlreichen Wirkungen und Funktionen des Bodens näherbringen, vor allem aber einen respektvollen und schonenden Umgang mit dieser begrenzten Ressource vermitteln.

Die Workshops stoßen auf großes Interesse bei Pädagoginnen und Schülern: Nach einer intensiven Entwicklungsphase wurden bis Sommer 2015 etwa 75 Workshops in verschiedenen Schultypen abgehalten, mehr als 1800 Schülerinnen und Schüler konnten erreicht werden. Das Land Wien misst dem Wissen um den Boden eine große Bedeutung zu, deshalb wurde eine Anzahl von Workshops an Wiener Schulen in den Jahren 2014 und 2015 gefördert (Wiener Umweltschutzabteilung, MA22). Auch das Land Tirol (Abteilung Landwirtschaftliches Schulwesen, Jagd und Fischerei) startet im Wintersemester 2015/2016 ein entsprechendes Programm.

In diesem Zusammenhang ist auch angedacht, die Schulungen und Weiterbildungen, die das Vortragenden-Team bislang intern zur Qualitätssicherung durchgeführt hat, weiterzuentwickeln und zu formalisieren. Wir wollen hier „Multiplikatoren“, wie etwa Pädagoginnen oder Umweltschutzbeauftragte von staatlichen und nicht-staatlichen Stellen, ausbilden, dass sie diese Workshops

auch selbstständig durchführen können. Als Fernziel soll eine Ausbildung etwa zum/zur „BodenpädagogIn“ angeboten werden.

Bodenschutz.com [Komm] mach mit!

Auch im Projekt „Bodenschutz.com [Komm] mach mit!“, welches von der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG gefördert wird, sind Bodenworkshops ein zentraler Teil. Im Rahmen dieses Projekts wird das Angebot auch auf Kindergärten und die Oberstufe der AHS ausgeweitet.

Darüber hinaus wird hier das Konzept des Peer Teaching eingeführt: Schülerinnen und Schüler geben ihr Wissen und ihre Erfahrungen, die sie in den Bodenworkshops erworben haben, an Jüngere weiter. Ein Bodenblog und proaktive Information über die Aktivitäten im Kreis der Pädagoginnen und Pädagogen sowie im Angehörigenkreis der Schülerinnen und Schüler sollen Bodenbewusstsein auch im Umfeld der schulischen Einrichtungen schaffen.

In Kooperation mit landwirtschaftlichen Fachbetrieben werden Berufsbilder, die mit Boden verbunden sind, im Rahmen von Betriebsbesuchen vorgestellt. Mitarbeiterinnen dieser Betriebe und Bodenexperten werden anhand von Fragebögen von den Schülerinnen und Schülern zu ihrem Beruf interviewt. Wir legen großen Wert darauf, dass die Berufsbilder gendergerecht vermittelt werden, da gerade in diesem

Bodenschutz-Blog:

<https://bodenschutz.wordpress.com/2014/07/15/bodenschutz-com-komm-mach-mit/>



BODENFUNKTIONEN



1 Lebensraum für Bodenorganismen

2 Filter, Puffer und Transformator

3 Substrat für Pflanzenwachstum

4 Wasser- und CO₂ Speicherung

5 Trägerfunktion

6 Archivfunktion

umweltbundesamt

Berufsfeld bis vor kurzer Zeit traditionelle Rollenbilder vorherrschten. Am Projekt beteiligt sind die AGES, das BFW und das Umweltbundesamt sowie die ÖBG und die BOKU und die Betriebe ADAMAH Biohof und das Stift Klosterneuburg.

Flächeninanspruchnahme – was geht mich das an?

Jedes Jahr geht in der Europäischen Union durch die fortschreitende Urbanisierung und den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur Bodenfläche zumindest im Ausmaß der Stadt Berlin (ca. 890 km²) verloren. Etwa die Hälfte dieser Fläche, das entspricht ungefähr der gesamten Fläche von Wien, wird durch den Bau von Straßen, Gebäuden und Parkplätzen versiegelt.

Durch Bodenversiegelung verliert zum einen der Boden alle seine biologischen Funktionen und die Landschaft wird zunehmend zerstückelt. Zum anderen wird bereits vorhandene Infrastruktur ungenügend genutzt. Verfallende Gebäude, nur teilweise betriebene Betriebsgelände und leere Ortskerne nehmen nahezu im gleichen Ausmaß zu wie der Bodenverbrauch.

Das Umweltbundesamt hat im Zuge des Projekts Circuse zu dieser Thematik Schulungsunterlagen entwickelt, die im Schulunterricht eingesetzt werden können. Zentral war hier zunächst: Wie können Begriffe wie „Flächeninanspruchnahme“ an Kinder und Jugendliche vermittelt werden, ohne zu langweilen oder zu überfordern?

Vorarbeiten, die im Zuge des deutschen Projekts Refina erarbeitet wurden, haben hier eine wertvolle Grundlage dargestellt, um für Österreich ein entsprechendes Konzept zu erarbeiten.

Das Modul hat das Ziel, Schülerinnen und Schülern für die Thematik der Flächeninanspruchnahme zu sensibilisieren, indem die Themen Wohnentscheidung, Änderungen der Wohnformen und Flächenansprüche sowie

Mobilität besprochen werden. Die Materialien sind für den Einsatz an zwei Schultagen konzipiert, wobei zwischen diesen Tagen Zeit bleiben sollte, um Interviews in der Familie zu führen bzw. Daten zu erheben. Eigenständiges Erarbeiten und Präsentieren steht dabei im Vordergrund. So erheben die Schülerinnen und Schüler nicht nur ihre täglich zurückgelegten Wege, um anschließend CO₂-Werte zu berechnen, sondern befragen auch Verwandte nach Veränderungen im Wohnen. So zeigt sich, dass wir alle immer mehr Platz brauchen und immer weitere Wege zurücklegen, mit den entsprechenden Effekten für den Boden. Es wird berechnet, ob Österreich ausreichend groß ist, damit sich alle ihren Wohnwunsch nach einem Einfamilienhaus mit Garten erfüllen können.

Das Lehrmaterial ist für Schülerinnen und Schüler ab der 9. Schulstufe geeignet und wird für die Fächer Geographie und Biologie empfohlen.

Projekt Refina, Versiegelung:

www.refina-info.de/en/produkte/index.php?catid=234

Schulunterlagen zum Thema Versiegelung:

www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/boden/schule/material_boden/

Dr. Michael Englisch, Cecilie Foldal, Msc., Institut für Waldökologie und Boden, Bundesforschungszentrum für Wald, Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, michael.englisch@bfw.gv.at

Dr. Helene Berthold, AGES, Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien

Dipl.-Ing. Barbara Birli, Dr. Sigrid Schwarz, Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien



Die digitale Bodenkarte

Österreich verfügt über eine ausgezeichnete Datenbasis für landwirtschaftlich genutzte Böden, die im Internet sehr benutzerfreundlich aufbereitet ist und sehr häufig aufgerufen wird. Die Digitale Bodenkarte stellt der landwirtschaftlichen Praxis und Beratung, der Raum- und Landschaftsplanung, dem Umweltschutz und der Forschung und Lehre wertvolle Planungsdaten zur Verfügung.

Seit 1958 werden alle landwirtschaftlich genutzten Böden Österreichs kartiert. Die Geländeaufnahme erfolgt im Maßstab 1:10.000 und wird auf den Maßstab 1:25.000 generalisiert. Im Zuge der Geländeaufnahme werden allgemeine Standortmerkmale, wie Ausgangsmaterial für die Bodenbildung, Geländeform, Wasserhaushalt und – in den einzelnen Bodenhorizonten – Eigenschaften wie Bodenart und Bodenskelett, Humus- und Carbonatgehalt angesprochen. Für jede Kartierungseinheit (=Bodenform) werden Bodenproben aus Profilgruben entnommen und Bodenart, pH-Wert, Carbonat- und Humusgehalt für alle Bodenhorizonte bestimmt. Dieses umfassende Datenma-

terial erlaubt detaillierte bodenkundliche Auswertungen in einem sehr weiten Anwendungsspektrum - von der landwirtschaftlichen Produktion über Erosionsgefährdung bis hin zu umweltrelevanten Aspekten, wie etwa Nitratbelastung.

Die flächendeckende Kartierung ist nahezu abgeschlossen, alle Informationen sind in einem Geografischen Informationssystem (GIS) zusammengeführt. Dazu gehören die geometrischen Inhalte aller nahezu flächendeckend vorhandenen Bodenkarten sowie die textlichen Inhalte sämtlicher zugehöriger Begleitbroschüren. Damit wurde die Voraussetzung geschaffen, die Bodendaten thematisch auszuwerten und daraus neue Erkenntnisse zu gewinnen. Die Parametrisierungen der Datenbankinhalte mit umfangreichen Plausibilitätskontrollen und bodenkundlicher Nachbearbeitung gewährleisten in Verbindung mit der zentralen Datenhaltung, dass die digitale Bodenkarte als umfassendes Bodeninformationssystem stets aktuell ist. Die GIS-fähigen Karten umfassen:

- Bodenformengrenzen
- Waldgrenzen
- flächenhafte Gewässer
- verbaute Gebiete
- nicht kartierte Gebiete (z.B. Flughäfen, Almregionen)
- Profilstellen

Die in den Erläuterungsheften zur Bodenkarte enthaltenen Informationen sind die Datenbasis der digitalen Bodenkarte. Zu diesen Informationen gehören Bodenformenbeschreibungen und Profilbeschreibungen mit Hori-



► Bohrstiche geben Einblicke in die Bodenverhältnisse

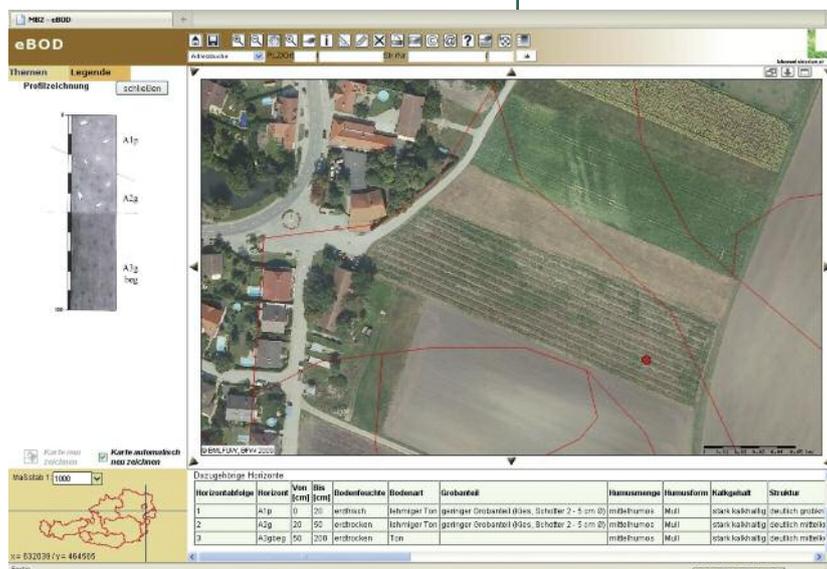
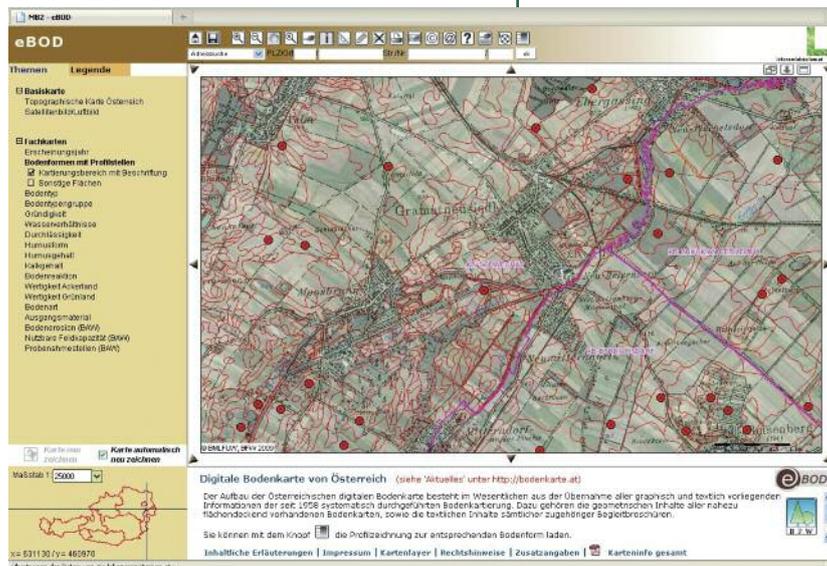
zontbeschreibungen und Analyseergebnissen. Sie umfassen die Standortdaten, die Daten der Tiefenstufen und die Analyseergebnisse der Profilstellen – gestaffelt nach Tiefenstufen.

Die Daten sind in einer Datenbank (PostgreSQL/PostGIS) gespeichert, in der die Textinformationen der Begleitbroschüren nach Schlagwörtern gegliedert in entsprechend getrennten Datenbankfeldern stehen. Bei den Horizontbezeichnungen wurden die einzelnen Tiefenstufen hinzugefügt, um tiefengestaffelte rechnerische Auswertungen durchführen zu können.

Die Bodendaten sind eine wertvolle Grundlage für Forschung und Lehre, sie bilden die Basis vieler nationaler und internationaler Projekte und unterstützen das BMLFUW bei Anfragen der EU. So ist im Zuge der Ausweisung der „Benachteiligten Gebiete“ auch Österreich als Mitglied der europäischen Union gefordert, die Förderungswürdigkeit dieser Gebiete anhand von vordefinierten, objektiven Kriterien, die sich unter anderem auf den Boden beziehen, nachzuweisen. Mit der digitalen Bodenkarte verfügt Österreich über ein im Vergleich mit anderen Mitgliedstaaten hervorragendes Werkzeug, um z.B. für Gebiete, deren Böden überwiegend an Staunässe leiden oder durch hohe Steingehalte im Oberboden gekennzeichnet sind, auch in Zukunft den Erhalt von Fördermitteln sicherstellen zu können.

WebGIS Applikation „eBOD“

Über die BFW-Homepage oder direkt über www.bodenkarte.at gelangt man zur Start- und Informationsseite der digitalen Bodenkarte. Von hier erfolgt der Aufruf der Web-GIS Applikation (eBOD), auf der interaktiv alle Bodeninformationen der landwirtschaftlich kartierten Fläche Österreichs kostenlos und ohne jegliche Installation mit Web-Browsern abgerufen werden können. Dieser umfassende Dienst wurde in einer Kooperation von BMLFUW, BFW

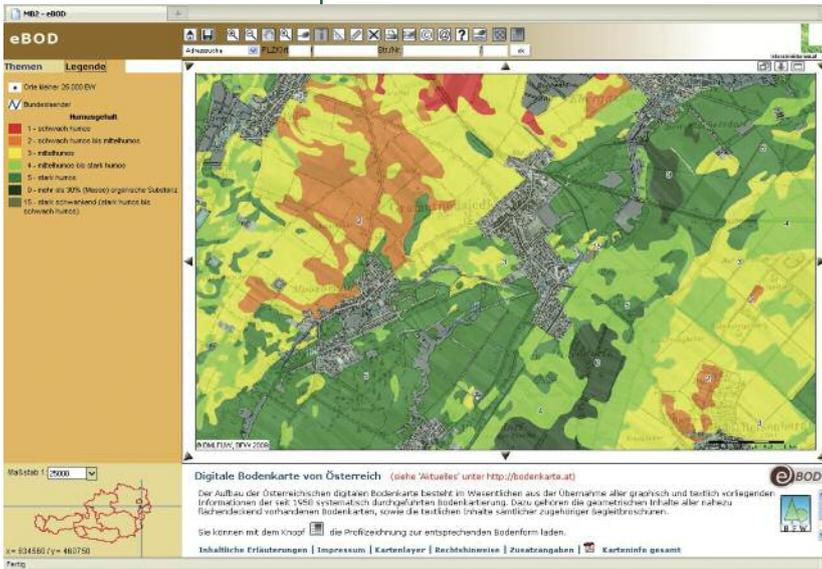


und LFRZ erstellt und bietet neben der Information über die Bodenkartierung folgende thematische Auswertungen an: Bodentyp, Bodentypengruppe, Gründigkeit, Wasserverhältnisse, Humusform, Humusgehalt, Kalkgehalt, Bodenreaktion, Wertigkeit Ackerland und Grünland, Bodenart und Ausgangsmaterial.

Von der Bundesanstalt für Wasserwirtschaft sind die Layer Bodenerosion, nutzbare Feldkapazität und Probenamenstellen eingebunden. Die Basiskarte der eBOD zeigt die Kartierungseinheiten (Bodenformen), die durch rote Polygone begrenzt werden, sowie die Profilstellen.

▲▲ eBOD mit Darstellung der Bodenformen und Profilstellen

▲ eBOD, Detail mit Profilstelle und Profildaten sowie Profilzeichnung für die Kartierungseinheit



Verwertung von Klärschlamm

Nach den Bodenschutzgesetzen einiger Bundesländer, wie z.B. Niederösterreich oder der Steiermark, ist gemäß der jeweiligen Klärschlammverordnung die Erstellung einer Bodenempfindlichkeitskarte Voraussetzung für die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm. Diese Karte zeigt die Empfindlichkeitsklassen der Böden gegenüber der Aufbringung von Klärschlamm und wird aus der Digitalen Bodenkarte mit den Daten der Kartierungseinheiten abgeleitet. Wird aufgrund der Berechnung eine Kartierungseinheit als „nicht geeignet“ eingestuft, erübrigen sich die Begutachtung und Probenahme im Gelände.

▲ Übersicht über die Humusgehalte

▼ Übersicht über die Wasserverhältnisse

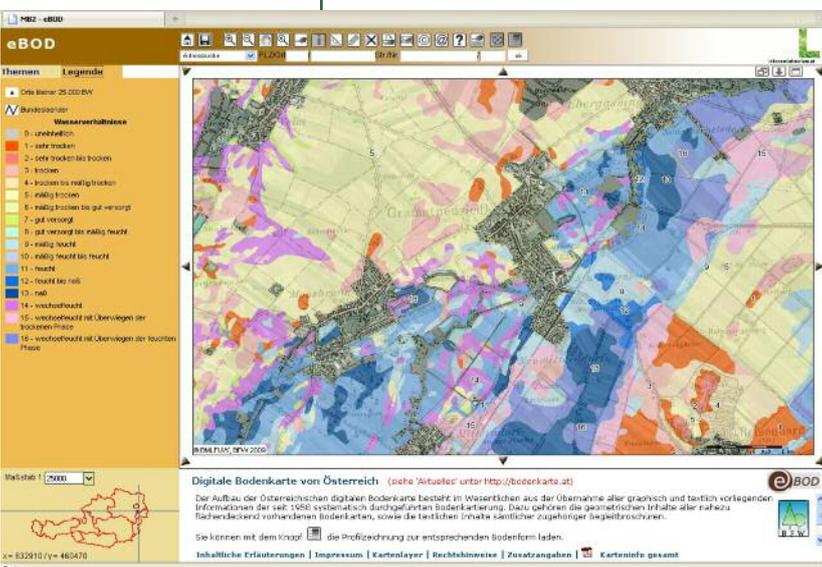
Beispiele für die Verwendung der Bodenkarte: thematische Karten
Ausgehend von der Basiskarte wird nach Auswahl einer gewünschten Eigenschaft eine thematische Karte mit Legende dargestellt. So ist es zum Beispiel möglich, auf Knopfdruck stark erosionsgefährdete Böden in einem ausgewählten Gebiet zu lokalisieren, Böden mit hohem Humusgehalt als Kohlenstoffspeicher zu identifizieren oder die nutzbare Feldkapazität als Schlüsselparameter für den Wasserhaushalt eines landwirtschaftlich genutzten Bodens anzeigen zu lassen.

Bodenfunktionsbewertung

Zur Berücksichtigung des Schutzgutes Boden als nicht erneuerbare Ressource in der Raumplanung sowie in Umweltverträglichkeitsprüfungen wurde 2013 vom Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit im BMLFUW und vom Normungsinstitut die ÖNORM L 1076 zur Bewertung von Bodenfunktionen sowie ein entsprechender Leitfaden für deren Anwendung herausgegeben. Auch hier sind die Daten der Digitalen Bodenkarte maßgebliche Eingangsparameter. Basierend auf diesen Bewertungen wurden für die Bundesländer Oberösterreich und Salzburg bereits entsprechende Funktionskarten im Internet publiziert, für Wien ist derzeit eine Karte in Vorbereitung.

Maßnahmen gegen Bodenerosion

Die Bodenkarte beinhaltet entscheidende Daten, wie Korngrößenzusammensetzung, Struktur oder Humusgehalt, die zur Klassifizierung von Böden hinsichtlich ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser bzw. Wind benötigt werden. Eine Erosionsgefährdungskarte erlaubt die effiziente Umsetzung von kultur- bzw. bewirtschaftungstechnischen Maßnahmen, um den Verlust von wertvollem, da humus- und nährstoffreichem Oberboden einzudämmen.



Auswahl von Versuchsflächen und Flächen für Dauer- bzw. Spezialkulturen

Um den Einfluss des Bodens bei Versuchsflächen (z.B. Sortenversuche) gering zu halten, werden große zusammenhängende Flächen mit möglichst einheitlichen Bodeneigenschaften, wie z.B. Textur oder pH-Wert, gesucht. Im Weinbau bieten die Daten der Kartierungseinheiten, die sich besonders in Hanglagen auch innerhalb einer Riede stark ändern können, eine wertvolle Entscheidungshilfe für die Unterlags- und Sortenwahl.



Maßnahmen zum Grundwasserschutz, Nährstoffmanagement

Die Bodenkarte gibt Aufschluss über Speicherkapazität und Durchlässigkeit der Kartierungseinheiten und zeigt unter anderem Korngrößenzusammensetzung, Grobanteil und Humusgehalt in den einzelnen Bodenhorizonten. Für Grundwassersanierungsgebiete kann anhand der Bodenkarte die Gefahr von Nitratausträgen abgeschätzt werden, um anschließend zielgerichtet Maßnahmen setzen zu können. Diese Basisdaten können zusätzlich zu aktuellen Bodenuntersuchungsergebnissen zur Verbesserung der Präzision von Plänen zum Nährstoffmanagement herangezogen werden.

Ausgezeichnete Datengrundlage für landwirtschaftlich genutzte Böden

Österreich verfügt über eine ausgezeichnete Datenbasis für landwirtschaftlich genutzte Böden, deren Nutzung sich großer Beliebtheit erfreut. Der Benutzerkreis ist groß, die „eBOD“ stellt der landwirtschaftlichen Praxis und Beratung, der Raum- und Landschaftsplanung, dem Umweltschutz (z.B. für Umweltverträglichkeitsprüfungen) und der Forschung und Lehre wertvolle Planungsdaten zur Verfügung. Die „eBOD“ ist auch im „European Soil Portal“ des „Joint Research Centres“ der Europäischen Kommission international verankert.

▲ Wassererosion in landwirtschaftlichen Kulturen

European Soil Portal:

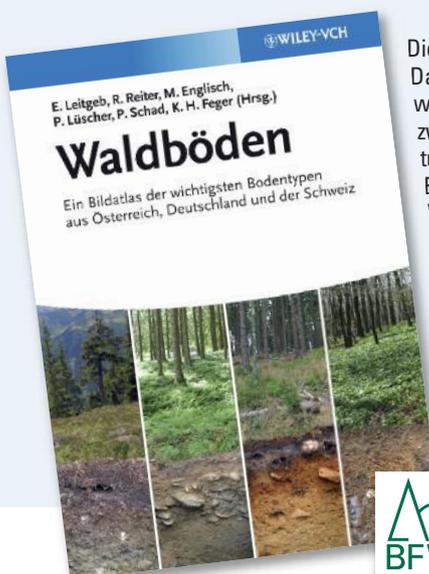
<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/data/250000/>

Dipl.-Ing. Michael Wandl,
Dipl.-Ing. Günther Aust,
Institut für Waldökologie
und Boden,
Bundesforschungszentrum für Wald,
Seckendorff-Gudent-Weg 8,
1131 Wien,
michael.wandl@bfw.gv.at

Dr. Andreas Baumgarten,
AGES,
Spargelfeldstraße 191, 1220 Wien



Waldböden im Fokus – Bildatlas der wichtigsten Waldbodentypen in der D-A-CH-Region



Dieses Buch veranschaulicht die Vielfalt der Waldböden in Form von Bildern und umfassenden Informationen. Dazu werden beispielhaft 67 Waldböden aus Österreich, Deutschland und der Schweiz abgebildet. Die wichtigsten chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften werden angeführt, Zusammenhänge zwischen Geländebefund und Analysenergebnissen aufgezeigt. Zusammen mit Kommentaren zum Baumwachstum und zur Waldbewirtschaftung liefern diese Bodendokumentationen wertvolle Hinweise für die Praxis. Ein kompakter und "geländetauglicher" Waldboden-Atlas für alle bodenkundlich Interessierten in Lehre, Praxis, Verwaltung, Beratung und Planung. Dr. Ernst Leitgeb vom BFW ist Herausgeber.

Bestellung | Bundesforschungszentrum für Wald | Tel.: 01/87838-1216 | E-Mail: bibliothek@bfw.gv.at
Informationen: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=9333>

Begleitmaterial für Dozenten verfügbar unter www.wiley-vch.de/textbooks

Bibliografische Angaben | Leitgeb, E., Reiter, R., Englisch, M., Lüscher, P., Schad, P., Feger, K. H. (Hrsg.): Waldböden. Ein Bildatlas der wichtigsten Bodentypen aus Österreich, Deutschland und der Schweiz. 2013. Wiley-VCH Verlag. Circa 400 Seiten, davon circa 270 Abbildungen. EUR 59,--

ISBN: 978-3-527-32713-3



Technische Universität München



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



WILEY-VCH

KARL GARTNER, MICHAEL ENGLISCH, EDUARD HOCHBICHLER, ROLAND KÖCK

Wasserspeicherung und Trinkwasserproduktion in Österreichs Wäldern

Der österreichische Wald ist ein wichtiger Wasserspeicher und damit auch Trinkwasserproduzent. Wasser aus den speziell bewirtschafteten heimischen Quellschutzwäldern trägt maßgeblich zur Versorgung mit dieser lebensnotwendigen Ressource bei.

Eine zentrale Rolle nimmt dabei der Waldboden ein, der das Niederschlagswasser aufnimmt, für die Vegetation speichert und in gefilterter Form wieder abgibt. Der Boden kann durch seine Speicherfähigkeit Hochwasserspitzen dämpfen oder bei längerer Trockenheit möglichen Wassermangel für den Wald abpuffern.

Aber: Wie groß ist die Speicherfähigkeit der österreichischen Waldböden tatsächlich? Gibt es regionale Unterschiede? Wo gibt es Problemzonen (z.B. wo trifft geringe Wasserspeicherfähigkeit des Bodens auf häufig auftretende Starkniederschläge)? Wirklich detaillierte und datenbasierte österreichweite Aussagen zu diesen Fragen gab es bis dato nicht.

Die Wasserspeicherkapazität von Böden messtechnisch mit Hilfe einer Druckplattenapparatur zu bestimmen ist kostspielig und sehr langwierig. Man hilft sich daher damit, diese Größe indirekt mit Hilfe leichter zu erhebender Größen zu bestimmen. Das Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) hat aufgrund seiner bundesweiten Erhebungen (Waldbodenzustandsinventur, Waldinventur) einen umfassenden, österreichweiten Basisdatensatz zu den Waldböden zur Verfügung. Diese Untersuchungsnetze lieferten im Rahmen zweier Projekte des österreichischen Programms zur ländlichen Entwicklung die Eingangsdaten zur Berechnung der Wasserspeicherfähigkeit und der potenziellen Trinkwasserspende der österreichischen Waldböden.

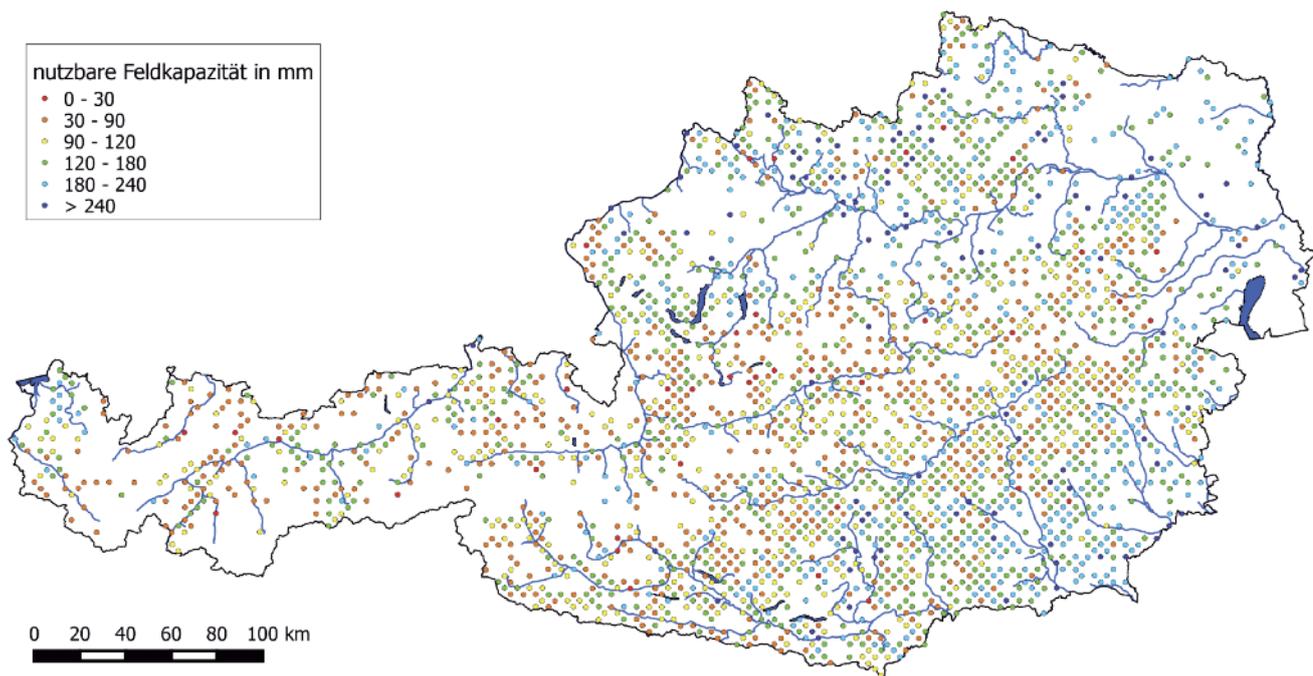
Wasserspeicherfähigkeit der Waldböden

Wie ist die Wasserspeicherkapazität eines Bodens definiert? Man kann sich das einfach so vorstellen, dass in ein definiertes Bodenvolumen so lange Wasser gegossen wird, bis das Wasser vom Boden nicht mehr gehalten werden kann und es wieder abfließt. Die Wassermenge, die der Boden gegen die Schwerkraft halten kann, nennt man Feldkapazität. Dieser Wert entspricht der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens.

Dabei muss man berücksichtigen, dass Pflanzen nur einen Teil der Wassermenge im Boden nutzen können, da ein gewisser Prozentsatz des Wassers sehr stark an den Boden gebunden und damit für Pflanzen nicht verfügbar ist. Zieht man diesen Anteil („Totwasser“)

▼
Der Boden kann durch seine Speicherfähigkeit Hochwasserspitzen dämpfen





▲
Nutzbare Feldkapazität im
gesamten Bodenprofil
(< 1 m) an den
österreichischen
Waldinventurflächen

arten umgelegt werden. Dies wurde bewerkstelligt, indem das österreichische und das deutsche Texturdreieck übereinandergelegt wurden und die jeweiligen Flächenanteile der deutschen Bodenarten an den österreichischen Bodenarten bestimmt wurden.

Diese Flächenanteile stellten dann die Gewichtungsfaktoren für die Berechnung der Kennwerte für die österreichischen Bodenarten dar. Die Ergebnisse dieser Berechnung können in einer Tabelle zusammengefasst werden.

Im Rahmen der Waldinventur 2007/09 wurden an allen Inventurflächen die Bodenarten für zwei Horizonte (humoser A-Horizont und mineralischer Haupthorizont des Mineralbodens, meist B-Horizont) ermittelt. Da keine Bodendichtemessungen an den Waldinventurflächen vorliegen, wurde für den A-Horizont die niedrigste Dichtestufe pt1+2 der DIN4220 und für den Haupthorizont die mittlere Dichtestufe pt3 unterstellt. Die in der deutschen Norm vorgenommene Korrektur für den Humusgehalt im Boden wurde ebenfalls durchgeführt. Die so ermittelten Kennwerte der Wasserspeicherkapazität wurden mit der um den Grob-

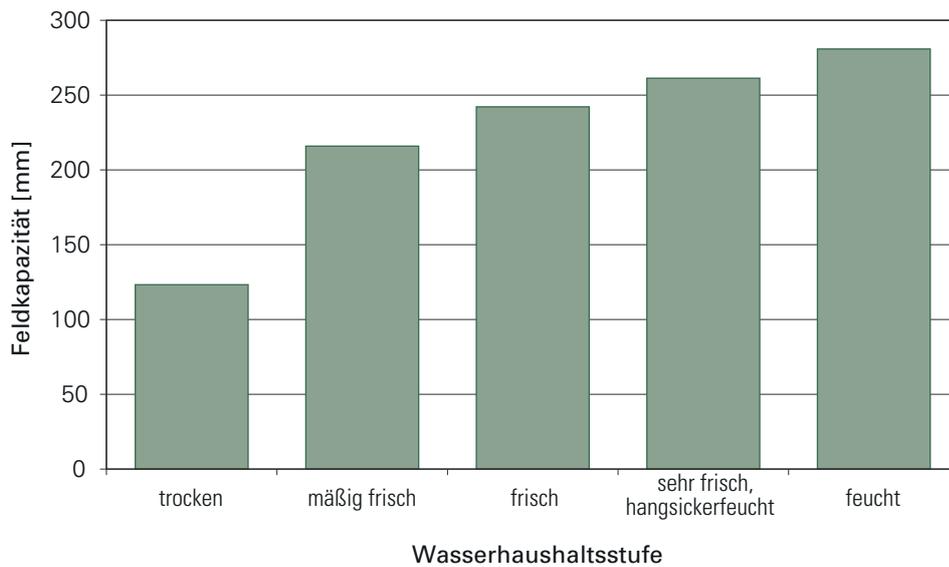
anteil des Bodens reduzierten Mächtigkeit der beiden Horizonte multipliziert. Die Berechnungen beziehen sich auf eine Maximaltiefe des Bodens von 1 m, darunter liegende Bodenschichten wurden nicht berücksichtigt.

Damit liegen nun österreichweit Aussagen über die Wasserspeicherkapazität des Waldbodens vor.

Die gewonnenen Ergebnisse sind plausibel und wurden mit zahlreichen anderen Datensätzen der Waldinventur überprüft. Die ermittelten Daten stehen etwa mit den von der Waldinventur im Gelände ermittelten Wasserhaushaltsstufen sehr gut im Einklang.

In Kombination mit Niederschlagsdaten können diese Ergebnisse zur Abschätzung des potenziellen Abflusses dienen oder wertvolle Informationen zu Fragen einer potenziellen Trockenheitsgefährdung (wie gerade heuer wieder sehr aktuell) liefern.

Die Daten zur Wasserspeicherkapazität der österreichischen Waldböden stellten auch eine wesentliche Grundlage für ein Projekt zum Trinkwasser-Ressourcenschutz in bewaldeten Einzugsgebieten dar.



◀ Mittlere Feldkapazität der im Gelände ermittelten Wasserhaushaltsstufen der Waldinventur

Trinkwasser-Ressourcenschutz

Um die Trinkwasser-Ressourcenschutzfunktion (TRS) von Waldökosystemen bestmöglich zu gewährleisten und diese Funktion räumlich und zeitlich kontinuierlich zu erhalten, wurden Zielwalddefinitionen für repräsentative Waldhydrotope (Waldgesellschaften) entwickelt. Die Zielwalddefinitionen orientieren sich an den Rahmenbedingungen der natürlichen Waldgesellschaft bzw. der potenziellen natürlichen Vegetation (PNV), da die erforderliche Stabilität und Resilienz der Waldökosysteme durch eine adäquate, mit den Standortbedingungen übereinstimmende Baumartenvielfalt und Baumartenverteilung am besten erreicht wird. Eine entsprechende Waldbewirtschaftung ist ebenfalls von zentraler Bedeutung.

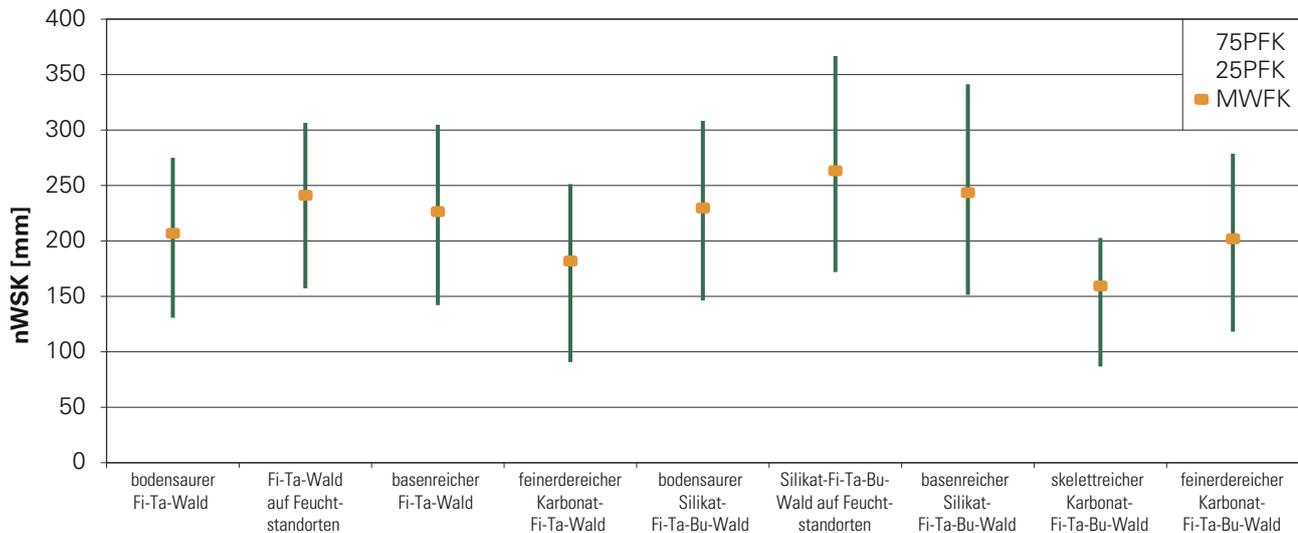
Die Zielwalddefinitionen umfassen Bestandesstrukturmerkmale wie Baumartendiversität, Baumartenverteilung, Wuchsklassen, Deckungsgrad, Schichtung, Textur, Bodenvegetation, Schäden und Totholz sowie daraus abgeleitete zielgerechte Waldbauverfahren.

Im ersten Schritt wurden die österreichischen Wälder in repräsentative Wald-Hydrotope gegliedert. Hydrotope sind als Flächen definiert, welche hydrologisch relativ homogen reagieren. Dazu

wurden die Daten der Waldboden-Zustandsinventur als zentrale Datengrundlage herangezogen, für Detailfragen wurde Fachliteratur mit einbezogen. Die Gliederung in Waldhydrotop-Modellkategorien und -gruppen (WHM) erfolgte, indem zwischen karbonatischen (Kalke, Dolomite und Mergel) und silikatischen Standorten (basenreich, basenarm und Feuchtstandorte) differenziert wurde. So wurden 18 Wald-Hydrotop-Modellkategorien und 48 Wald-Hydrotop-Modellgruppen (WHM) definiert.

Für jedes WHM wurden Indikatoren zur Bewertung der Trinkwasser-Ressourcenschutzfunktion ausgewählt und deren mögliche Ausprägungen bewertet. Diese Indikatoren wurden entsprechend ihrer Bedeutung unterschiedlich gewichtet (gewichtetes Scoring-Verfahren), um schließlich den Index der Trinkwasser-Ressourcenschutzfunktion (ITRS) zu berechnen. Das Berechnungsergebnis gibt an, ob ein Waldbestand bereits den Anforderungen des Trinkwasser-Ressourcenschutzes entspricht (grün), nur bedingt entspricht (gelb) oder aktuell nicht entspricht (rot).

Die Indikatoren für Hochwälder sind Baumartenanteile, Baumartenanzahl, Deckungsgrad der Baumschichten, Verjüngungsfläche/Jungwuchs, Baumarten-



▲
75-Perzentil (75 P nWSK),
25-Perzentil (25 P nWSK)
und Median (Med nWSK)
der nutzbaren Wasser-
speicherkapazität (nWSK)
der Probestellen der
Österreichischen
Waldinventur 2007-2009,
in den Waldhydrotopen
des Fichten-Tannen- und
des Fichten-Tannen-
Buchen-Waldes

zusammensetzung der Verjüngung, Schichtigkeit, Entwicklungsstufen/Bestand, Deckungsgrad der Bodenvegetation, Schäden und Totholzanteile. Für Buschwälder wurden die Indikatoren Strauchartenanteile, Erosionsdynamik und Schäden zur ITRS-Berechnung herangezogen.

Vor allem die Ziel-Baumartenanteile sind zentraler Bestandteil der TRS und wurden zur ITRS-Berechnung für jede Wald-Hydrotop-Modellgruppe taxativ beschrieben. Dabei wurden Mindestanteile für die dominanten und subdominanten Baumarten eines Wald-Hydrotop-Modells festgelegt, und ein Pool aus Mischbaumarten beschrieben, um die notwendige Baumartenvielfalt für eine optimale TRS zur Stabilisierung der Waldbestände zur Verfügung zu haben.

In einem zweiten Schritt wurde das Trinkwasserproduktionspotenzial durch eine waldhydrologische Bewertung der 48 Wald-Hydrotop-Modellgruppen abgeschätzt. Sie basiert einerseits auf bodenphysikalischen Kenngrößen wie der nutzbaren Wasserspeicherkapazität (nWSK) und der Feldkapazität, die unter Verwendung der oben beschriebenen Ergebnisse für die Probestellen der Österreichischen Waldinventur 2007/09 sowie der Waldboden-Zustandsinventur

für die Wald-Hydrotop-Modelle errechnet wurden, sowie andererseits auf standorts- und bodenkundlichen Merkmalen der Probestellen der Österreichischen Waldinventur 2007/09.

Die obige Abbildung zeigt die Ergebnisse der statistischen Auswertung der bodenphysikalischen Kenngrößen für die Wald-Hydrotop-Modellgruppen des Fichten-Tannen- und des Fichten-Tannen-Buchen-Waldes. Sehr klar zu erkennen ist, dass WHM-Gruppen auf Karbonat eine deutlich geringere Wasserspeicherkapazität als die Gruppen auf Silikat besitzen. Feinerdereiche Gruppen auf Karbonat wiederum weisen eine deutlich höhere nutzbare Wasserspeicherkapazität auf als skelettreiche.

Schließlich wurde das Berechnungs- und Bewertungsschema des Index der Trinkwasser-Schutzfunktion, gestützt auf MS Excel, digital umgesetzt. Zur Bestimmung der Waldhydrotop-Gruppen wurde ein html-basierter Bestimmungsschlüssel erarbeitet. Beide Instrumente werden über die Homepage des BFW abrufbar sein. Sie ermöglichen dem Benutzer, der die gängigen forstlichen Fachdaten für den gewünschten Bestand zur Verfügung hat, die eigenständige Bewertung des Bestandes in Bezug auf dessen Trinkwasser-Schutzfunktion.

Mag. Karl Gartner,
Dr. Michael Englisch,
Institut für Waldökologie
und Boden,
Bundesforschungszentrum für Wald,
Seckendorff-Gudent-Weg 8,
1131 Wien, karl.gartner@bfw.gv.at

Univ.-Prof. Dr. Eduard Hochbichler,
Dr. Roland Köck,
Institut für Waldbau,
Universität für Bodenkultur,
Peter Jordanstr. 82, 1190 Wien



ANDREAS SCHINDLBACHER, BARBARA KITZLER

Bodenerwärmung – Klimamanipulationsversuch Achenkirch

Das Klimamanipulations-Experiment Mühleggerköpfl wird seit 2004 in einem Bergwald in der Nähe von Achenkirch/Tirol betrieben. Das Bodenerwärmungs-Experiment hat internationale Bekanntheit erlangt und ist einer der weltweit wenigen experimentellen Langzeitversuche.

Die technische Ausstattung der Versuchsfläche und der Pilotversuch wurden vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) finanziert. Im Laufe der letzten zehn Jahre haben mehrere nationale (FWF: P23222, P19885; ACRP) und internationale (EU: FP5, FP6, FP7) Forschungsprojekte stattgefunden.

Wozu den Boden erwärmen?

Waldboden speichert große Mengen an organischem Kohlenstoff in mehr (Laub-, Wurzelstreu) oder weniger (Humus) leicht abbaubarer Form (Abbildung 1). Der organische Bodenkohlenstoff bildet die Lebensgrundlage einer reichhaltigen Bodenfauna. Eine Vielzahl von Bodenlebewesen, vorwiegend Mikroorganismen, zersetzen die organische Substanz und produzieren dabei Kohlendioxid (CO_2 = Bodenatmung).

Die CO_2 -Produktion im Boden ist ein natürlicher Prozess, welcher der pflanzlichen CO_2 -Aufnahme durch die Photosynthese gegenübersteht. Die Aktivität der Boden-Mikroorganismen ist temperaturabhängig. Generell gilt, je wärmer der Boden, desto aktiver sind die Mikroorganismen und desto höher ist deren CO_2 -Produktion. Die globale Erwärmung

birgt somit die Gefahr, dass vermehrt Bodenkohlenstoff in Form von CO_2 in die Atmosphäre gelangt. Die Produktion anderer starker Treibhausgase wie Lachgas (N_2O) könnte ebenfalls anregt werden.

Klimamanipulation im Wald

Der Waldboden ist ein vielseitiger Lebensraum. Baumwurzeln durchziehen den Boden und deren symbiontische Mykorrhizapilze breiten ihre Hyphen bis

▼
Abbildung 1: Bodenprofil vom Versuchsstandort nahe Achenkirch. Der dunkel gefärbte Oberboden speichert ca. 120 Tonnen organischen Kohlenstoff pro Hektar. Das darunter liegende Ausgangsgestein ist Dolomit



▼
 Abbildung 2:
 (a) Erwärmte Versuchsfläche. Die orange färbigen Kammern dienen zur manuellen Treibhausgas-Messung.
 (b) Dachkonstruktion zur Simulation einer Trockenphase. Die Dächer wurden im Juli/August 2008/09 für jeweils ca. drei Wochen installiert



in die kleinsten Boden-Zwischenräume aus. Wurzeln und Mykorrhiza nehmen Wasser und Nährstoffe auf. Im Gegenzug geben sie leicht abbaubaren Kohlenstoff in den Boden ab, wovon wiederum Bodenmikroorganismen profitieren.

Durch dieses Zusammenwirken von Pflanzen und Mikroorganismen ist der Kohlenstoff-Kreislauf im Waldboden hoch komplex. Will man die Auswirkung der Klimaänderung auf einzelne Prozesse näher untersuchen, sollte man vermeiden, das Kreislaufsystem im Bo-

den zu stören. Eine, wenn auch aufwendige, Möglichkeit ist es, den Waldboden vor Ort zu untersuchen. Damit ist sichergestellt, dass nur das Bodenklima (Temperatur, Feuchtigkeit) verändert wird, die Kohlenstoffflüsse im Boden aber aufrechterhalten bleiben.

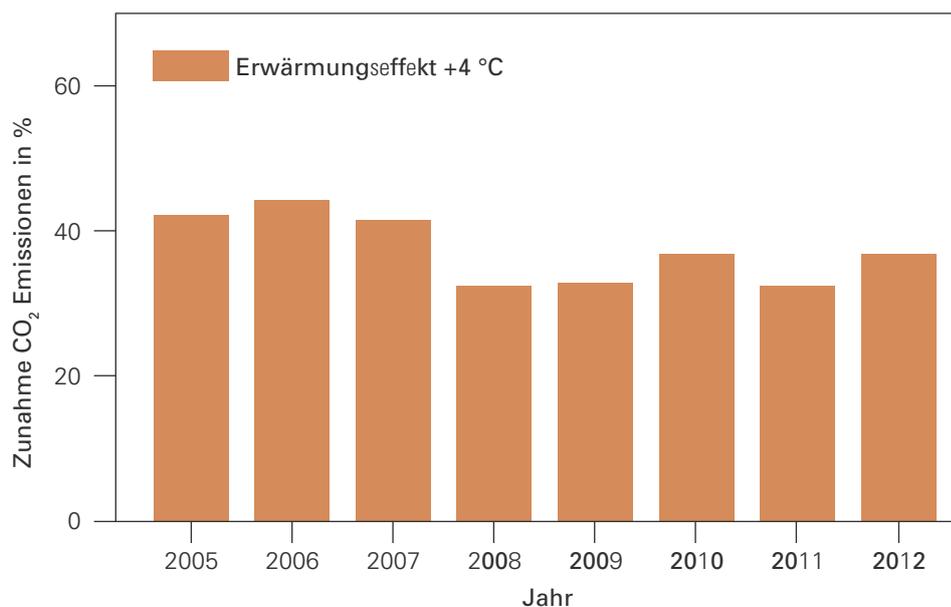
Im Klimamanipulationsversuch Achenkirch wird die Bodentemperatur in mehreren Versuchsflächen (Abbildung 2a) konstant um 4°C über jener des Bodens in den benachbarten Kontrollflächen gehalten. Dies passiert mittels mehrerer hundert Meter direkt im Waldboden verlegter Heizkabel und einer voll automatischen Heizung. Um eine sommerliche Trockenphase zu simulieren, wurden 2008 und 2009 Dachkonstruktionen über einen Teil der Versuchsflächen errichtet (Abbildung 2b). Die CO₂- und Spurengasemissionen werden automatisch und manuell in zweiwöchentlichen Abständen gemessen (Abbildung 3).

CO₂-Emissionen aus dem Boden steigen

Wie erwartet, hat die künstliche Boden-erwärmung die CO₂-Emissionen aus dem Waldboden um zirka 40 % ansteigen lassen (Abbildung 4). Etwas unerwarteter ist, dass der Erwärmungseffekt über nunmehr zehn Jahre hinweg konstant geblieben ist. Anderswo wurde beobachtet, dass sich die Erwärmung nur in den ersten drei bis sechs Jahren auf die CO₂-Produktion im Boden auswirkt und die Wirkung danach abflaut. Dies wurde mit der nachlassenden Verfügbarkeit von leicht abbaubaren organischen Verbindungen erklärt. Wie es scheint, verhält sich der kalkhaltige, kohlenstoffreiche Waldboden, wie er für die Nördlichen Kalkalpen typisch ist, anders und die Klimaerwärmung könnte hier langfristig größere Mengen an CO₂ aus dem Boden freisetzen. Ähnlich wie CO₂ hat die Erwärmung auch die Produktion von Lachgas angekurbelt. Das stark treibhauswirksame Spurengas wird aber nur

in vergleichsweise geringen Mengen freigesetzt.

Interessant ist das Zusammenspiel von Erwärmung und Trockenheit. Unter den Dächern ist der Oberboden stark ausgetrocknet. Die künstliche Trockenheit hat die Treibhausgas-Emissionen aus dem Boden erheblich reduziert. Am stärksten ist der CO₂-Ausstoß auf den erwärmten Flächen zurückgegangen. Der Trockenheitseffekt war so stark und anhaltend, dass die simulierte, dreiwöchige sommerliche Trockenheit den gesamten jährlichen Erwärmungseffekt kompensierte. Dazu passend zeigte sich auch, dass der Erwärmungseffekt in den Jahren mit niederschlagsarmen



Sommern generell niedriger war. Es scheint daher sehr wichtig, wie sich das Zusammenspiel von Temperatur und Niederschlag künftig entwickeln wird.

Ausblick

Wir bemühen uns, den Versuch weiter am Laufen zu halten und werden dazu einen weiteren Projektantrag beim Österreichischen Forschungsfond (FWF) einreichen.

Dank

Dank an die Grundbesitzer Anna Nothdurfter und Ofö. Ing. Florian Nothdurfter für die langjährige gute Zusammenarbeit und Unterstützung sowie an Klaus Teveli und Georg Be-reuter (ÖBf AG) für ihre spontane Hilfe bei diversen Projekten im Raum Achenkirch.



▲
Abbildung 3: Ver-schiedene Behandlungen mit automatischen und manuellen Kammern

▼
Abbildung 4: Effekt der Bodenerwärmung um 4 °C auf die CO₂-Emissionen aus dem Boden in den Jahren 2005-2012

Literaturliste zu den detaillierten Ergebnissen aller Untersuchungen, die im Laufe des Klima-manipulationsversuchs durchgeführt wurden:

<http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=9716>

Mag. Dr. Andreas Schindlbacher,
DI Dr. Kitzler Barbara,
Institut für Waldökologie und Boden,
Bundesforschungszentrum für Wald,
Seckendorff-Gudent-Weg 8,
1131 Wien,
andreas.schindlbacher@bfw.gv.at

VERONIKA LECHNER, GERHARD MARKART, FRANK PERZL, GÜNTHER BUNZA,
KARL HAGEN, ANDREAS HUBER, KLAUS KLEBINDER

Gefahrenorientierte Waldbewirtschaftung im Bereich steiler Grabeneinhänge

In alpinen Wildbacheinzugsgebieten besteht aufgrund von Seitenerosion, Lawinen, Steinschlag, Rutschungen, Windwurf oder Schneedruck hohes Wildholzpotenzial. Grabeneinhänge sind deshalb gezielt und standortsgerecht zu bewirtschaften. Großflächige Schlägerungen ganzer Grabeneinhänge (wegen „Hangentlastung“ oder „Reduzierung des Wildholzpotenzials“) entsprechen nicht dem aktuellen Stand des waldbaulichen Wissens.

Ziel des Projektes „Grabeneinhangbewirtschaftung“ war daher die Entwicklung und Adaptierung eines Ansatzes zur Ausweisung von Flächen mit indirekter Objektschutzfunktion (gerinnerelevanter Schutzwald) als Grundlage einer gefahrenpräventiven Waldbewirtschaftung. Auftraggeber war das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW).

Schutzwaldkulisse für steile Grabeneinhänge

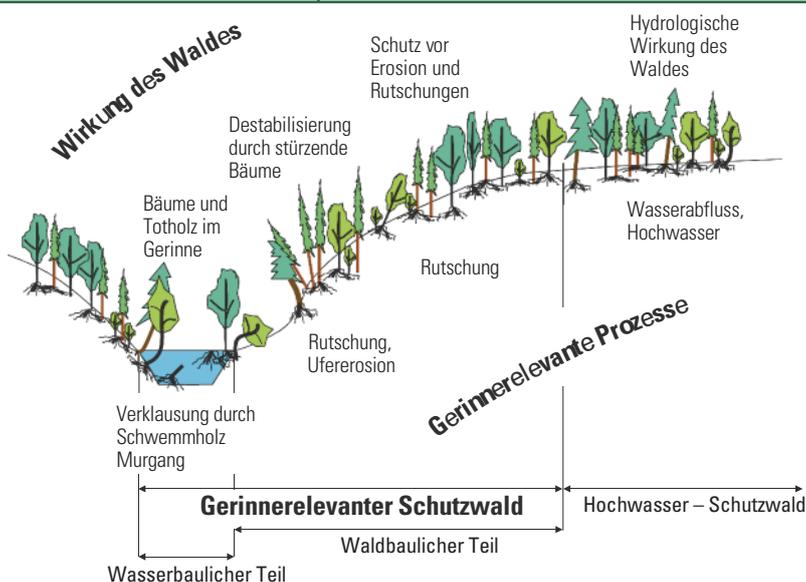
Wald im Gerinnebereich leistet einen bedeutenden Beitrag zum Schutz vor Hochwasser und gravitativen Prozessen. Bäume können armierend auf das Bodenmaterial wirken und so Schutz vor Erosion und Rutschung bieten. Zusätzlich beeinflusst der Wald den Wasserhaushalt positiv und führt zu einer Dämpfung des Abflusses (Abbildung 1, Schwitter und Bucher, 2009).

Diese Wälder bieten eine indirekte Objektschutzfunktion. Um diese bestmöglich zu erfüllen, bedarf es einer gefahrenorientierten Waldbewirtschaftung. Grundlagen für die Planung und Evaluierung der gerinnerelevanten Schutzwälder fehlen derzeit jedoch. Neben der Ausweisung von Flächen mit erhöhtem Wildholzpotenzial anhand von Fernerkundungsmethoden in zwei Testgebieten wurde ein Modell entwickelt, welches anhand einfacher Geländeparameter automatisiert Flächen mit indirekter Schutzfunktion ermittelt und diese einer Grunddispositionsklasse (hoch, mittel, gering) für Wildholzeintrag zuweist. Durch die Ausweisung dieser Gebietskulisse von Schutzwäldern im Gerinnebereich wird es möglich, Maßnahmen gezielt dort zu setzen, wo sie den größten Nutzen bringen.

GRS-Modellkonzept und Datengrundlagen

Als Grundlage für die Abschätzung von Wildholzpotenzialen in alpinen Einzugsgebieten wurde das GRS-(Gerinne-relevanter-Schutzwald)-Modell für die Bezirksrahmenplanung entwickelt und an-

▼
Abbildung 1: Hochwasserschutzfunktionen des Waldes nach Schwitter und Bucher (2009)



hand von Daten des Bezirkes Innsbruck-Land getestet. Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit flächendeckender Daten wurde ein Ansatz genommen, der sich auf ein digitales Geländemodell (DGM) des Amtes der Tiroler Landesregierung, das Gerinnenetz und die Wildbacheinzugsgebietsgrenzen der Wildbach- und Lawinerverbauung und die Waldflächen der Landesforstdirektion Tirol stützt.

Das DGM stellt die Höhe des Geländes nach rechnerischer Entfernung von Objekten auf der Erdoberfläche (Vegetation, Gebäude, etc.) dar. Durch die künstliche Beleuchtung (Schummerung) des DGM können die Topographie und damit geomorphologische Prozesse gut erkannt werden. Unter Einbeziehung der Schummerung wurde versucht, einen Überblick über das Testgebiet zu gewinnen und das Verständnis für mögliche Massenbewegungsprozesse im Testgebiet zu schärfen. Durch die Schummerung lassen sich Abbruchlinien, Zerr- oder Wulstformen sehr gut erkennen; diese wurden in der Folge identifiziert und kartiert.

Gleicht man die Ergebnisse aus der Analyse der Schummerung mit einem aktuellen Orthofoto ab, lässt sich der Aktualitätsgrad von Bewegungen besser abschätzen, zum Beispiel durch Hinweise auf offene Erosionsherde und An-

brüche, jedoch mit großen Einschränkungen wegen der Abschattung des Bestandes und der Topographie.

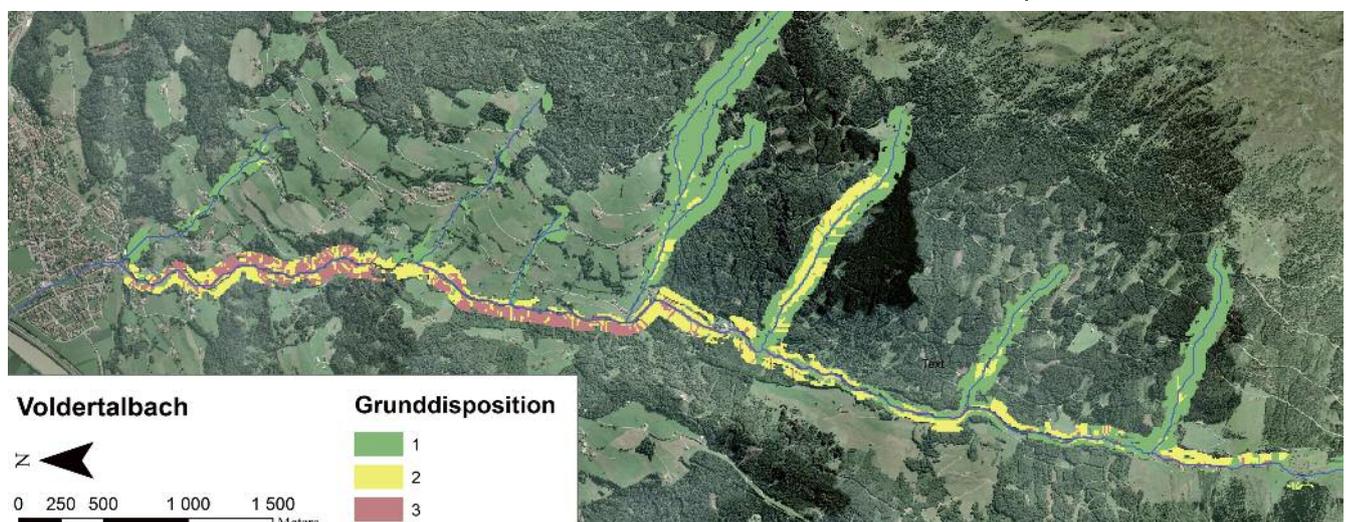
Zur Berechnung von Flächen mit Wildholzpotenzialen und der Wildholzmenge dienen meist Informationen zu diversen Eintragsprozessen und deren Intensitäten. Je nach Ansatz werden diese in Form von Simulationen, Felderhebungen, historischen Ereigniskarten oder Gefahrenhinweiskarten gewonnen.

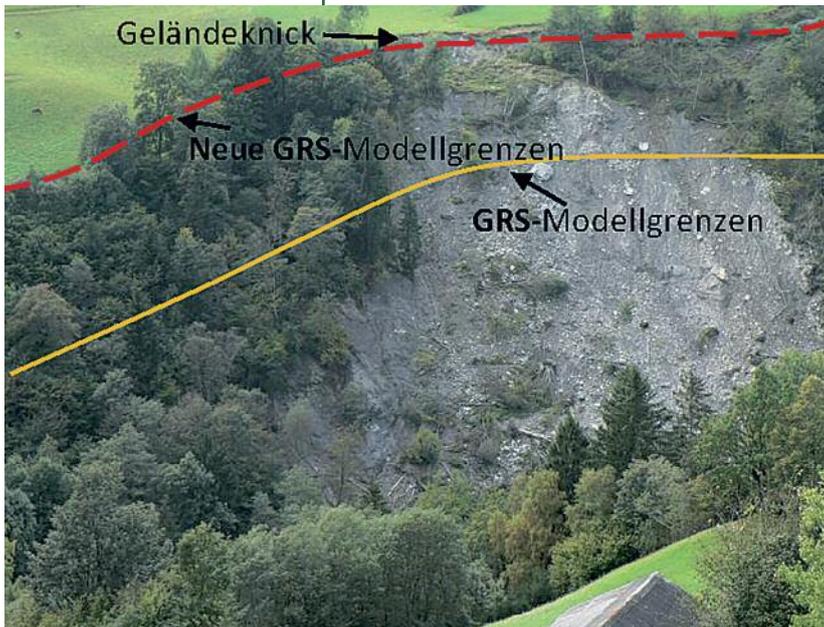
Das in der Software ArcGIS entwickelte GRS-Modell verwendet folgende Angaben:

- Entfernung des Baumes zum Gerinne,
- Hangneigung des Baumstandortes,
- Algorithmen aus den Projekten GRAVIPROFOR und GRAVIPROMOD als Hinweis potenzieller Steinschlagtrajektorien und Lawinenbahnen (Perzl und Huber 2014, Huber et.al 2014) und
- der Transportkapazität des Gerinnes (Stream Power Index nach Moore 1993).

Für die räumliche Ausdehnung der GRS-Schutzwaldkulisse wird der Ansatz nach Mazzorana (2009) in modifizierter Form angewendet. Bäume im unmittelbaren Gerinnebereich (eine Baumlänge) können direkt ins Gerinne stürzen, aber auch weiter entfernte Bäume können Bäume des unmittelbaren Gerinnebereichs

▼
Abbildung 2: GRS-Modellergebnisse dargestellt für den Voldertalbach – Wildholzgrunddisposition gering (grün), mittel (gelb) und hoch (rot)





▲
Abbildung 3:
Weiterentwicklung des
GRS-Modells, neue
geländekantenangepasste
Modellgrenze in rot

Dipl.-Ing. Veronika Lechner,
Dr. Gerhard Markart,
Dipl.-Ing. Frank Perzl,
Dr. Günther Bunza,
Dipl.-Ing. Karl Hagen,
Dipl.-Ing. Andreas Huber,
Dipl.-Ing. Klaus Klebinder,
Institut für Naturgefahren,
Bundesforschungszentrum für Wald,
Rennweg 1, 6020 Innsbruck,
gerhard.markart@bfw.gv.at

ches schwächen oder mitreißen. Daraus ergibt sich mit einer Breite von zwei Baumängen und einem Zuschlag, je nach Steilheit des Geländes, die räumliche Ausdehnung des gerinnerelevanten Schutzwaldes.

Für jede Rasterfläche (10 m x 10 m) innerhalb dieser Modellgrenzen wird eine Abfrage bestimmter Indikatoren (Hangneigung, Fläche potenzieller Massenbewegungen, hohe/niedrige Transportkapazität des anschließenden Gerinnes) vorgenommen. Aufgrund dieser

Abfrage werden die Rasterflächen in verschiedene Grunddispositionsclassen für Wildholzeintrag eingeteilt (1 - gering, 2 - mittel, 3 - hoch, Abbildung 2). Somit stellt das GRS-Modell ein Hilfsmittel dar Grabeneinhänge aufgrund der oben angeführten Indikatoren objektiv zu vergleichen.

Erste Ergebnisse für Wildholz-Grunddisposition

Die Modellergebnisse wurden anhand der Ergebnisse der terrestrischen Erhebung und den Erkenntnissen aus der visuellen Interpretation von Schummerung und Orthofoto in zwei Testgebieten und vier weiteren Überprüfungsgebieten, aus denen umfangreiche Gebietsinformationen vorlagen, verifiziert. Die Modellergebnisse zeigen eine überwiegend realistische Wiedergabe der Wildholz-Grunddisposition.

In extrem steilen seitlichen Einhängen mit anschließender Verflachung werden Bereiche mit hoher Wildholz-Grunddisposition vom Modell unrealistisch weit oder lokal zu wenig weit in die Einhänge hinaufgezogen. Dieser Aspekt soll künftig durch die Implementierung eines Algorithmus, der derartige Gefällsbrüche erkennt, korrigiert werden (Abbildung 3).



Literatur:

Huber, A.; Perzl, F.; Fromm, R. (2014): Verbesserung der Beurteilung der Waldflächen mit direkter Objektschutzwirkung durch Modellierung von Massenbewegungsprozessen (GRAVIPROMOD). Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht im Auftrag des BMLFUW. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Innsbruck.

Mazzorana, B. (2009): Woody Debris Recruitment Prediction Methods and Transport Analysis. PhD Thesis, Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU), Vienna.

Moore, I.D.; Turner, A.K.; Wilson, J.P.; Jenson, S.K.; Band, L.E. (1993): GIS and land-surface-subsurface modelling M.F. Goodchild, B.O. Parks, L.T. Steyaert (Eds.), Environmental Modelling

with GIS, Oxford University Press, New York (1993), pp. 213-230

Perzl, F.; Huber, A. (2014): GRAVIPROFOR. Verbesserung der Erfassung der Schutzwaldkulisse für die forstliche Raumplanung. Synthese und Zusammenfassung: Ziele, Grundlagen und Ergebnisse der Modellierung von Waldflächen mit Lawinen- und Steinschlagschutzfunktion. Technische Hilfe im Rahmen des österreichischen Programms LE 07-13. Projektbericht, Hauptbericht im Auftrag des BMLFUW. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Innsbruck.

Schwitter, R.; Bucher, H. (2009): Hochwasser: Schützt der Wald oder verstärkt er die Schäden? Waldbauliche Behandlung von gerinnerelevanten Schutzwäldern. Wald und Holz 6/9: 31-34

Das BFW - Ihr kompetenter Ansprechpartner in Sachen Boden!

Wir sichern und verbessern laufend unsere Bodenkompetenz in nationalen und internationalen Forschungs- und Monitoringprojekten. Wir sind der österreichische „Focal Point“ für das europaweite Waldboden-Monitoring. Daher entsprechen unsere Methoden im Labor den hohen internationalen Standards (Ringversuche). Zudem bearbeiten wir Aufträge von Waldbesitzern, Landwirten, Behörden, Deponiebetreibern, Umweltbeauftragten, Zivilingenieuren, Universitäten, etc.

Leistungsspektrum

Geländeerhebung



Beschreibung und Dokumentation: Standorts- und Bodenmerkmale, Geologie, Humusform und Bodenhorizonte, Vegetationsaufnahmen, Fotodokumentation

Probenahme: Auflagehumus, Mineralboden, Bodenwasser

Messungen: Bodenfeuchte, Bodentemperatur, Treibhausgase

Abgeleitete Parameter: Bodentyp nach nationaler und internationaler Klassifikation (ÖBS, WRB); Bodenformen (Landwirtschaft), Forstliche Standortseinheiten, Potenzielle Natürliche Vegetation

Ansprechpartner: Waldböden: Dr. Michael Englisch (michael.englisch@bfw.gv.at)

Landwirtschaftliche Böden: Dipl.-Ing. Günther Aust (guenther.aust@bfw.gv.at)

Bodenanalytik



Chemisch: Mikro- und Makronährstoffe, Schwermetalle, pH-Wert, organischer Kohlenstoff, Carbonat

Physikalisch: Korngrößenverteilung, Trockenrohdichte, Wasserspannung

Biologisch: Mikrobielle Biomasse, Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft, gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), Qualität der organischen Substanz, Mineralisation, Enzymaktivitäten, Treibhausgase aus dem Boden (CH_4 , CO_2 , N_2O , etc.), Stickstoffemissionen aus Böden

Ansprechpartnerinnen: Dr. Barbara Kitzler (barbara.kitzler@bfw.gv.at)

Dr. Kerstin Michel (kerstin.michel@bfw.gv.at)

Details unter: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=4232>

Bodenkundliche Auswertung



Die enge Zusammenarbeit zwischen Geländeerhebung und Analytik innerhalb des Institutes gewährleistet eine hohe Qualität der Daten. Damit werden fundierte punkt- und flächenbezogene Auswertungen für unterschiedlichste Fragestellungen in der land- und forstwirtschaftlichen Praxis, des Naturschutzes und (in der Klima)Forschung möglich.

