

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Basel ; Naturforschende Gesellschaft Baselland
Band: 13 (2011)

Artikel: Waldböden im Kanton Basel-Landschaft (NW-Schweiz) : Vielfalt, ökologische Eigenschaften und Verbreitung
Autor: Mosimann, Thomas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-676666>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 25.04.2026

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

Waldböden im Kanton Basel-Landschaft (NW-Schweiz) – Vielfalt, ökologische Eigenschaften und Verbreitung

THOMAS MOSIMANN

Zusammenfassung: Die Waldböden sind die Grundlage für das Wachsen eines stabilen, ertragreichen und naturnahen Waldes. Zudem erfüllen sie wichtige ökologische Funktionen. Dieser Beitrag stellt die Vielfalt der Waldböden im Kanton Basel-Landschaft (NW-Schweiz) dar. Die von den verschiedenen Ausgangsgesteinen geprägten Böden werden vergleichend präsentiert und erläutert. Grosse Bedeutung für die Verbreitung der Böden haben Deckschichten mit sehr unterschiedlichen Lehm- und Steingehalten, die über dem Festgestein liegen. Die in diesen Deckschichten entstandenen Böden sind für den Wald bedeutend, weil sie wesentlich mehr Wasser und Nährstoffe speichern als Böden auf den im Jura verbreiteten Kalken. Im zweiten Teil stellt der Beitrag die wichtigsten ökologischen Eigenschaften der Böden dar. Wasserspeicherfähigkeit, Versauerung und Basensättigung variieren in einem weiten Bereich. Die Standortbedingungen sind in den Baselbieter Wäldern also sehr vielseitig. Aus geringer Wasserspeicherfähigkeit und starker Versauerung in Deckschichten resultieren auch Risiken und Einschränkungen für die Entwicklung des Waldes.

Abstract: Forest soils in the canton of Basel-Landschaft (NW Switzerland): Diversity, ecological properties and distribution. Forest soils are crucial factors for the growth of a stable, fertile and near-natural forest. Furthermore they fulfil important ecological functions. This paper displays the variety of forest soils in the canton of Basel-Landschaft. The soils, characterized by different parent rock material, will be explained and compared with each other. The overlying strata, with their different loam and stone concentrations, are decisive concerning the distribution of the soils. Soils from these overlying strata have great significance for the forest in general, because they store a lot more water and nutrients than for example the soils developed in the limestones in the Jura region. In the second part the paper explains the most important ecological features of the forest soils. The site conditions in the forests of Basel-Landschaft differ a lot, because they depend on the soil's acidification, base-saturation and the ability to store water. Thus low water storage capacity and high acidification in the overlying strata bear risks and affect the development of the forest.

Key words: Forest soils, soil types, soil formation, water-retaining capacity, soil acidification.

1. Einleitung: Das Projekt «Modellierung von Waldbodeneigenschaften»

Die Waldböden gehören zu den wichtigen natürlichen Ressourcen in der Region Basel (NW-Schweiz). Sie sind die Grundlage für das Wachsen eines stabilen, ertragreichen und naturnahen Waldes. Wald und Boden bilden eine Einheit. Die grosse Vielfalt der Böden im Kanton Basel-Landschaft (BL) ermöglicht die Entwicklung vielfältiger Wälder. Darüber hinaus erfüllen die Böden wichtige ökologische Funktionen: Filte-

rung des Sickerwassers, Transformation von aus der Atmosphäre eingetragenen Schadstoffen, Grund- und Quellwasserschutz, Abflussregulation (Hochwasserschutz).

210 km², das heisst rund 40 % der Fläche des Kantons BL, sind bewaldet. Im Unterschied zur Landwirtschaftsfläche, deren Böden in den 1990er-Jahren im Massstab 1:5'000 kartiert wurden, lagen für diese grosse Fläche bisher nahezu keine standardisierten und zugänglichen Informationen über die Böden vor. Das Inventar der Waldböden der Schweiz erfasst in der ganzen

Nordwestschweiz lediglich vier Standorte (Walthert et al. 2004). Diese Informations- und Wissenslücke wird mit dem seit 2004 laufenden Projekt «Modellierung von Waldbodeneigenschaften im Kanton Basel-Landschaft» gefüllt. In diesem Projekt entstanden digitale Karten ausgewählter Waldbodeneigenschaften (Herbst und Mosimann 2010). Diese bilden in Zukunft eine Grundlage für die Waldentwicklung und die schonende Waldbewirtschaftung, für die Erhaltung der Waldfunktionen und für die Abschätzung der oben genannten ökologischen Funktionen und Risiken.

Grundlage für die modellgestützte Ableitung der Waldbodeneigenschaften sind Bodenaufnahmen an ausgewählten Standorten. Solche wurden verstreut auch schon früher im Rahmen von wissenschaftlichen Untersuchungen zu verschiedensten Einzelfragen durchgeführt. Nach einer Auswertung und einer Vereinheitlichung sind diese bestehenden Daten in die Waldbodendatenbank des Kantons BL überführt worden. Diese räumlich und inhaltlich sehr lückenhafte Informationsbasis reichte jedoch für eine flächendeckende Ableitung von Bodeneigenschaften bei weitem nicht aus. Deshalb wurden in den Jahren 2004 bis 2008 85 Waldstandorte im Baselbiet bodenkundlich neu aufgenommen und wissenschaftlich dokumentiert (Mosimann 2005, 2006 und 2009). Auf dieser Grundlage kann im Folgenden ein breiter Überblick zu den Waldböden im Kanton BL präsentiert werden.

2. Methodik der Bodenaufnahmen

Die bodenkundlichen Feldaufnahmen wurden an 2 bis 2.5 m tiefen und etwa 1 m breiten Aufschlüssen in Schürfgaben durchgeführt. Mit dieser Aufnahmetiefe wird der gesamte Wurzelraum der Bäume mit Ausnahme der in die Gesteinsklüfte reichenden Wurzeln erfasst.

Die gesamte Feldansprache und Klassifizierung der Bodeneigenschaften erfolgte nach der umfangreichen und breit abgestützten deutschen Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden 2005). Die Standorte wurden auf der Grundlage der geologischen Karten, der Karten der pflanzensoziologischen Waldgesellschaften und der Lage im Reliefformengefüge ausge-

wählt. Jeder Standort repräsentiert eine bestimmte Konstellation von Standortfaktoren, auf deren Grundlage später die Bodeneigenschaften modelliert werden.

Bei der Beprobung der Böden galt ein besonderes Augenmerk der quantitativ exakten Bestimmung der Steingehalte (Bodenskelett). Mindestens 10 bis 20 Liter Bodenvolumen wurden im Gelände vorsortiert und gesiebt und das Gewicht der Steine > 1 cm Durchmesser wurde mit Hilfe von Feldwaagen bestimmt. Nach Trocknung im Labor und weiterer Siebung erfolgte eine volumenbezogene Berechnung der Skelettanteile.

Die Laboranalysen wurden in den Laboren des Amtes für Umweltschutz und Energie des Kantons BL und der Institute für Physische Geographie und Landschaftsökologie sowie Bodenkunde der Universität Hannover (D) durchgeführt. Die Analysemethoden orientieren sich im Wesentlichen an Schlichting et al. (1995), mit kleineren Anpassungen der einzelnen Methoden entsprechend den Vorgaben der beteiligten Labors.

Die Basensättigung wurde im Schüttel- und Perkulationsverfahren nach den Vorgaben des Gutachterausschusses Forstliche Analytik (2005) bestimmt.

Grundlage für die Abschätzung der Wasserspeicherfähigkeit und der Kationenaustauschkapazität aus elementaren Bodeneigenschaften sind die Verfahren in der bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden 2005).

3. Die Vielfalt der Waldböden der Nordwestschweiz

3.1 Was ist ein Waldboden?

In der Würmkaltzeit (115'000 bis 11'000 Jahre vor heute) war die Nordwestschweiz nicht durch Gletschereis bedeckt. Es herrschte eine lückenhafte Tundravegetation vor. Unter solchen Bedingungen kam es zu starken Umlagerungen des früher gebildeten Verwitterungsmaterials durch Bodenfließen während des sommerlichen Auftauens des Permafrosts und später vor der vollständigen Rückkehr des Waldes auch durch Verspülung. In den dadurch entstandenen Deckschichten (siehe Kap. 3.3) und auf dem anstehenden

henden Festgestein begann die Bildung der heutigen Böden mit der einsetzenden Wiederbewaldung vor rund 10'000 Jahren neu. Die Böden sind also jung und ursprünglich alles Waldböden. Erst mit der beginnenden Rodung und der landwirtschaftlichen Nutzung vor rund 6'000 Jahren kam es zu unterschiedlichen Entwicklungswegen der Böden im Wald und im Landwirtschaftsgebiet. Der Wald wurde seit Beginn der Neuzeit bis ins 19. Jahrhundert auch im Baselbiet stark zurückgedrängt und übernutzt (Burnand und Hasspacher 1999). Die heutige Waldfläche ist also deutlich grösser als die frühere. Nur ein Teil der Waldböden konnte sich über lange Zeit mehr oder weniger ungestört unter Wald entwickeln (vor allem auf steilen Hängen). Der andere Teil wurde während der Phase der landwirtschaftlichen Nutzung verändert, das heisst mit Kalk und Nährstoffen angereichert oder durch Erosion gekappt. Diese Waldböden sind also durch die frühere landwirtschaftliche Nutzung in ihren Eigenschaften modifiziert. Eine strikte Trennung von Wald- und Landwirtschaftsböden ist also nur teilweise möglich.

Daraus ergibt sich für die Waldböden folgende Definition (siehe auch Rehfuess 1981): Waldböden sind Böden, die heute unter Wald stehen, Teil des Waldökosystems sind und sich lange Zeit unter Wald entwickelt haben. Unabhängig von einer zeitweisen landwirtschaftlichen Nutzung unterscheiden sich Waldböden in vielerlei Hinsicht von Landwirtschaftsböden:

- Sie tragen einen Auflagehumus.
- Der Humusgehalt im mineralischen Oberboden (Ah-Horizont) ist höher.
- Sie weisen in der Regel eine vollständige Horizontabfolge auf (ausser ehemals landwirtschaftlich genutzte Böden, v.a. im Lösshügelland).
- Der Skelettgehalt ist vielfach höher.
- Die pH-Werte im Oberboden und teilweise auch im Unterboden sind niedriger.
- Das Gefüge ist stabiler.
- Das stabilere Gefüge und die höheren Steingehalte bedingen eine bessere Tragfähigkeit und höhere Durchlässigkeit für Wasser.
- Natürliche Vernässungen sind noch vorhanden (keine Drainage).

Unabhängig von einer zeitweisen landwirtschaftlichen Nutzung sind auch die Waldböden nicht mehr natürlich, sondern durch den flächendeckenden Eintrag von Säurebildnern und Nährstoffen vor allem stofflich verändert (Gauer 2009). Sie können zudem heute durch den Einsatz von schweren Maschinen bei der Holzernte oder im Bereich von Picknick- und Waldspielplätzen auch lokal verdichtet sein. Gleichwohl weisen Waldböden im Vergleich zu den andern Böden einen hohen Natürlichkeitsgrad auf. Die Schwermetallanalysen der im Rahmen des Projekts untersuchten Waldböden ergaben mit Ausnahme von Einzelfällen (vor allem aufgeschüttete Substrate) Konzentrationen im Bereich der geogenen Hintergrundbelastung. Aus dieser geringen stofflichen Belastung und der weitgehend intakten Bodenstruktur resultiert die grosse Bedeutung der Waldböden in unseren Ökosystemen.

3.2 Gesteinsbestimmte Böden

Die Böden können in einer grossen Gliederung in zwei Gruppen differenziert werden:

1. Böden, die sich in den Gesteinen der geologischen Formationen entwickelt haben.
2. Böden, die in den auf- und umgelagerten Deckschichten entstanden sind.

Deckschichten sind in der NW-Schweiz sehr verbreitet (siehe Kap. 3.3). Im Jura ist in Hanglagen das anstehende Gestein fast immer von einer einige Dezimeter bis mehrere Meter mächtigen umgelagerten Deckschicht überlagert. Flächenmässig dominieren deshalb Böden in Deckschichten. Eine Bodenentwicklung in anstehendem Gestein lässt sich in allen Reliefbereichen finden, in denen keine Ab- und Umlagerung von Verwitterungsmaterial stattgefunden hat:

- auf Kämmen, Scheiteln, Kuppen und Sätteln im Ketten- und im Tafeljura;
- oberhalb von Felsstufen;
- auf Plateaus im Tafeljura und im Lösshügelland. Die Löss- und die quartären Decklehme sind dabei im Sinne der Bodenentwicklung anstehende Lockergesteine und keine umgelagerten Deckschichten;
- an Hangkanten und auf Hangrücken.

Für die Bodenentwicklung ist nicht die grosse Vielfalt an stratigraphischen Gesteinstypen entscheidend, sondern alleine die Gesteinszusammensetzung. Verallgemeinert lassen sich alle Gesteine im Kanton BL in zwölf petrographische Gesteinstypen klassifizieren. Diese sind auch eine Grundlage für die Modellierung der Waldbodeneigenschaften. Die wichtigsten Gesteinstypen erscheinen auf Abb. 1. Über diese Typen hinaus existieren auch noch Böden auf Mergeln, Sandmergeln (nur in geringem Umfang) und Sandstein (sehr selten). Die Ausgangsgesteine für die Bodenbildung sind im Baselbiet sehr vielfältig. Es fehlen nur die kristallinen Gesteine.

Abb. 1 stellt die flächenmässig bedeutenden Hauptvarianten der gesteinsbestimmten Waldböden zusammen und gibt eine Übersicht zum Spektrum wichtiger Eigenschaften. Im allgemeinen sind gesteinsbestimmte Böden einheitlicher und homogener aufgebaut als die Böden in Deckschichten. Die Eigenschaften variieren vertikal (d.h. im Bodenaufbau) und räumlich weniger stark. Im Unterschied zu den Böden auf Deckschichten, die alle jung sind (Alter < 10'000 Jahre), zeigen die gesteinsbestimmten Böden in von der Erosion ungestörten Lagen unterschiedliches Alter. Bodenbildungen auf älteren Lössen und Decklehmen reichen partiell bis ins Riss-Würm-Interglazial (130'000 bis 115'000 Jahre vor heute) zurück. In den Böden der Kalksteine und der Kalkmergel haben sich zum Teil die Lehme langer, weit ins Tertiär zurückreichender Kalkverwitterungszeiten angereichert, was an der unterschiedlichen Mächtigkeit der lehmigen Horizonte und der unterschiedlichen Intensität der Braunfärbung deutlich wird.

a) Böden auf Kalkstein und Kalkmergel (Rendzinen und verbraunte Rendzinen)







Diese Bodenbildungen gelten für den Jura als typisch, obwohl sie flächenmässig gar nicht so weit verbreitet sind. Meist liegt Gehängeschutt oder Gehängelehm über dem Kalkstein. Rendzinen sind immer flachgründig (Gründigkeit mit wenigen Ausnahmen max. 35 cm) und skelettreich. Die Bodenarten variieren aber wegen der unterschiedlichen Verwitterungszeiten und Beimengungen aus abgetragenen Deckschichten in

einem weiten Spektrum unterschiedlicher Lehme (siehe Abb. 6). Die Wasserspeicherung liegt wegen der geringen Gründigkeit und der hohen Skelettgehalte im untersten Bereich (ähnlich den Böden auf Schottern). Böden auf Kalkstein sind unterhalb des Ah-Horizontes immer basisch. An der Oberfläche können sie leicht versauert sein (siehe Abb. 1). Oberflächliche Versauerung lässt sich in erster Linie in von Verlagerungsprozessen unbeeinflussten Scheitel- und Plateaulagen sowie im Vergleich der Höhenlagen etwas häufiger in Höhenlagen über 700 m (hohe Niederschlagsmengen im Jura) finden.

b) Böden auf Tonmergeln und Mergeltonen
Tonmergel und Mergeltonen verschiedenen Alters (Keuper bis Malm, 220 bis 140 Millionen Jahre vor heute) stehen vor allem auf Plateaus und Sätteln des Tafeljuras und auf Hängen des nördlichen Tafeljuras an. Die Tongehalte des Gesteins variieren zwischen 40 und 70 %. In der grossen Mehrheit der Fälle sind die Tongehalte zu niedrig und die Heterogenität des Gesteinsaufbaus ist zu gross für die Ausprägung von Pelosolen mit Polyedergefüge. Auf den Tafeljura-plateaus wurden die Tonmergel in der Riss-Kaltzeit (330'000 bis 130'000 Jahre vor heute) teilweise zu Grundmoränen überformt (z.B. nördlich des Junkerschlosses bei Hemmiken, BL). In diesem Fall enthalten sie bis zu 50 % Gerölle, sonst sind sie skelettarm oder skelettfrei. Entsprechend der Zusammensetzung des Ausgangsgesteins sind diese Böden wenig durchlässig, stets mehr oder weniger stark vernässt (siehe Kap. 3.4) und speichern viel Wasser. Die pH-Werte im Oberboden zeigen ein recht weites Spektrum (Abb. 1). Je nach Ausgangskalkgehalt und ungestörter Verwitterung in wenig geneigten Lagen wird die Stufe mässiger Versauerung erreicht. Die Basensättigung kann in Einzelfällen weit unter 100 % liegen. Grundsätzlich handelt es sich aber um nährstoffreiche Standorte mit guter Wasserversorgung. Bei starker Vernässung ist die Gründigkeit auf ca. 60 cm eingeschränkt.

c) Böden auf Juranagelfluh

Die Juranagelfluh aus dem Miozän (abgelagert vor zirka 10 Millionen Jahren) bedeckt weite Teile der Tafeljura-plateaus südlich der Ergolz

Gestein	Kalk Kalkmergel	Tonmergel Mergelton	Nagelfluh Schluff- mergel (Tertiär)	Schotter (Kalk- und Kalk- Silikat-)	Löss Lösslehm	Decklehm
						
Häufige Bodentypen	Rendzina; verbraunte Rendzina	Braunerde- Pelosol; Pseudogley- Kalk-Braun- erde	Pararend- zina; verbraunte Pararend- zina	Saure Braunerde; Pararend- zina	Parabraun- erde; Pseudogley- Parabraun- erde; Pseudogley	Braunerde; Parabraun- erde; Pseudogley- Parabraun- erde
Bodenart (unterhalb Ah-Horizont)	Lt2, Lt3 Ls3, Ls2 Lts Lu Uls	Lt3 Tu2	Lt3, Ls4 (Nagelfluh) Lt2, Lts (Mergel- schichten)	Ls4 (Ls3) (St2; Sl3)	Lu Tu3 Tu4 Ut3, Ut4	Lu Tu3 Lt3
Skelettgehalt (unterhalb Ah-Horizont)	40–85 %	0–10 %	70–80 % (Nagelfluh) 0–5 % (Mergel- schichten)	50–80 %	0 %	1–5 % (bis ca. 1 m Tiefe)
Vernässung	keine	mässig bis stark	schwach	keine	mässig bis sehr stark	mässig bis sehr stark
Durchlässig- keit	sehr hoch	gering	mittel bis hoch	extrem hoch	gering bis mittel	mittel
Humusgehalt (Ah-Horizont)	4–12 %	3–15 %	3–15 %	a: 10–20 % b: 4–15 %	2–10 %	3–15 %
Wasser- speicherung (nFK in mm)	15–70	110–175	100–180	30–70	140–200	100–150
pH potenziell Oberboden	5.2–7.0	5.3–7.2	7	a: 5.9–7.3 b: 3.7–4.2	3.8–6.7	3.8–5.9
pH aktuell Oberboden	6.2–8.0	6.3–7.7	7.5–7.8	a: 6.4–7.6 b: 4.6–4.9	4.5–7.5	4.7–6.9
pH potenziell Unterboden	7.1–7.5	6.6–7.5	7.3–7.7	a: 6.8–7.5 b: 4.0–5.4	3.8–7.0	5.0–7.0
pH aktuell Unterboden	7.5–8.5	7.6–8.1	8.2–8.6	a: 7.5–8.3 b: 4.6–6.0	4.4–7.7	6.0–8.0
Basen- sättigung	95–100 %	35–100 %	95–100 % Lehme über Nagelfluh: 50–80%	a: 100 % b: 10–100 %	6–99 %	8–95 %

a: Kalkschotter b: Kalk-Silikat-Schotter nFK: nutzbare Feldkapazität

Abb. 1: Übersicht zu den Merkmalen gesteinsbestimmter Waldböden. Die Abkürzungen zu den Bodenarten sind Bodenartengruppen gemäss Korngrössendreieck in Abb. 6.

(Hauber 1960, Bartholet 1964). Ihre Mächtigkeit liegt im Bereich weniger Meter bis Zehnermeter. In ihrer charakteristischen Ausprägung ist die Juranagelfluh ein wenig verfestigtes Konglomerat aus kalkigen und silikatischen Geröllen. Die kompakte Gerölllage ist jedoch häufig nur geringmächtig. Die Gesteinsschicht baut sich offenbar in vielen Bereichen aus einem Wechsel von Konglomerat und feinem Mergel auf. Bei den vier untersuchten Böden auf Juranagelfluh ist die Konglomeratschicht an der Oberfläche jeweils 60 bis 130 cm mächtig. Darunter folgt stets eine feine sandig-lehmige bis tonig-lehmige Mergelschicht. Dies hat grosse Bedeutung für die Wasserspeicherung. Die Böden enthalten wesentlich mehr Wasser, als vom skelettreichen Konglomerat zu erwarten wäre; bei der Wasserspeicherung sind sie mit Decklehmen vergleichbar und bieten damit im Vergleich zu Schottern und Kalken den Bäumen sehr gute Wachstumsbedingungen. Dazu gehört auch eine reichliche Nährstoffversorgung bei stets neutralen bis basischen pH-Werten. Die Mergelschichten im tieferen Unterboden können jedoch als Wasserstauer wirken. So wurden zum Beispiel im Steinholz und in der Forenweid nördlich und südlich von Rünenberg (BL) Böden in Decklehmen gefunden, die von der untenliegenden Juranagelfluh her unterschiedlich tief vernässt sind.

d) Böden auf Schotter

Die Böden der Schotterebenen des Birs- und des Rheintales wurden schon durch frühere Nutzungen stark verändert. Umlagerungen, Aufschüttungen, Verfüllungen und oberflächlicher Auftrag von fremdem Material sind nebst der Überbauung grosser Flächen verbreitet. Ungestörte Böden existieren nur noch auf Teilflächen, im Birstal vor allem auf dem oberen Terrassenniveau und im Rheintal auf grösseren Arealen in der Hard (Muttenz, BL). In der Hard wechseln sich ungestörte oder wenig gestörte Böden mit Aufschüttungsflächen ab.

In den Juratälern liegen Kalkschotter und im Rheintal Kalk-Silikat-Schotter. Die Rheinschotter an den beiden untersuchten Standorten enthalten etwa 50 % silikatische Gerölle und 50 % Kalkgerölle. In der Bodenentwicklung werden wegen der rascher verlaufenden Kalkverwitterung

die verwitterten Silikatgerölle angereichert. Stofflich unterscheiden sich die Böden auf Kalk- und Kalk-Silikat-Schotter völlig. Die physikalischen Eigenschaften sind jedoch sehr ähnlich: hohe Steingehalte, überwiegend sandig-lehmige Bodenart, extrem hohe Durchlässigkeit, geringe Wasserspeicherung (siehe Abb. 1). Aufschüttungsböden enthalten in der Regel mehr feines Material. Diese speichern deshalb bis 150 mm Wasser und damit zwei- bis viermal mehr Wasser als ungestörte Böden auf Schotter.

Auf Kalk-Silikat-Schotter sind saure Braunerden entstanden. Die Versauerung reicht bis etwa 1 m Tiefe und ist sehr stark. Im Oberboden liegen die potenziellen pH-Werte zum Teil unter 4, im Unterboden im Minimum bei 4. Damit gehört ein Teil dieser Böden zu den sauersten Standorten in der NW-Schweiz. Diese Standorte können auch sehr basenarm sein mit niedrigsten Basensättigungen bei 10 %. Die Basensättigung variiert allerdings in einem breiten Bereich.

Die Böden auf Kalkschotter können wegen der hohen Durchlässigkeit im Oberboden leicht versauert sein. Ansonsten sind sie natürlich kalkhaltig und basenreich.

e) Böden auf Löss und Decklehm

Riss- und würmzeitliche Lösser liegen am Rand des Rheingrabens in den Ausläufern des Sundgauer Hügellandes (Bruderholz, Rücken zwischen Birsigtal und Landesgrenze), am Jurarand und in einem Ausläufer bei Giebenach und Arisdorf (Bitterli-Brunner und Fischer 1988). Der Löss ist einige Meter bis max. etwa 10 m mächtig. Lössschleier mit 1 bis 2 m Mächtigkeit lassen sich auch im Lee des Blauens im Laufener Becken und vereinzelt auf den Jurahochflächen finden. Hier ist der Löss aber meist umgelagert und teilweise mit quartären Verwitterungslehmen vermischt. Er enthält deshalb feine Gerölle. Eine Trennung von den Decklehmen ist in diesen Gebieten schwierig oder unmöglich. Deshalb ist es sinnvoll, im Jura generell von Decklehmen zu sprechen. Diese wenige Dezimeter bis max. etwa 2 m mächtigen Decklehme sind ein für die Bodenbildung wichtiges Substrat auf den Tafeljurahochflächen. Ihre Entstehung ist vielfältig. Teilweise zeigen sie klar die Ausprägung von Grundmoränen mit entsprechendem Geröllanteil, die

in der Riss-Kaltzeit entstanden sind. Später wurden diese teilweise durch Solifluktion in der eisfreien Würm-Kaltzeit und durch oberflächliche Verspülung umgelagert. Andere Decklehme sind nahezu geröllfrei. Sie sind durch Flächenspülvorgänge abgelagert worden und enthalten braunes Verwitterungsmaterial, das von der ursprünglichen Entstehung her möglicherweise bis ins Tertiär zurückreicht und mehrfach umgelagert wurde. Schluffreiche Varianten weisen darauf hin, dass im Würm zusätzlich auch noch etwas Flugsand oder Löss auf die Decklehmfächen aufgeweht wurde. Generell zeigt die Verbreitung der Decklehme auf den Tafeljurahochflächen, dass es sich um Erosionsreste handelt. Wo sie fehlen, wurden sie abgetragen (überall auf den schmalen Plateauausläufern).

Die Bodenentwicklungen und -eigenschaften auf Löss und auf Decklehmen zeigen einige Ähnlichkeiten. Im Löss findet immer Tonverlagerung statt, in Decklehmen häufig. Auf beiden Substraten haben sich deshalb unterschiedlich stark vernässte Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden entwickelt. Die Bodenarten unterscheiden sich teilweise: Löss sind zum Teil schluffreicher, in Decklehmen kommen auch tonige Lehme vor. Decklehme enthalten immer in geringem Umfang Gerölle. Mit max. 5 % Anteil wirken sich diese aber nicht merklich auf die bodenphysikalischen Eigenschaften aus. Die Versauerung kann in beiden Substraten im Oberboden sehr weit fortgeschritten sein (siehe Abb. 1 und 10). Entsprechend gibt es auf Löss und auf Decklehmen sehr basenarme Standorte.

Diesen Gemeinsamkeiten stehen aber auch einige Unterschiede gegenüber. Die Böden auf Lössen sind wegen der grösseren Mächtigkeit und wegen der tiefer reichenden Tonverlagerung teilweise weniger durchlässig. Wegen der grösseren Mächtigkeit und den höheren Schluffanteilen speichern sie teilweise mehr pflanzenverfügbares Wasser (siehe Abb. 1). Sie sind zudem zum Teil stärker und tiefgründiger versauert. Die Decklehme enthalten Kalkgerölle und grenzen in der Regel unterhalb 1 m Tiefe an kalkhaltige tertiäre Mergel und Kalke. Im Unterboden fehlt demzufolge eine starke Versauerung. Deshalb sind die Böden auf Decklehmen auch nährstoffreicher.

Einen Sonderfall stellen die durch Erosion gekappten Lössböden im Sundgauer Hügelland dar. In der Zeit der landwirtschaftlichen Nutzung auf heutigen Waldflächen wurden die natürlich entstandenen Parabraunerden in Teilen oder nahezu vollständig gekappt. Dadurch steht der kalkhaltige Löss schon in 50 bis 100 cm Tiefe an und der noch vorhandene verlehmt Teil ist viel weniger stark versauert. In solchen Fällen kommen auch im Löss hohe pH-Werte vor (Abb. 1).

3.3 Böden in Deckschichten auf Hängen

Die Entstehung der Deckschichten

Wie bereits in Kap. 3.2 festgehalten, tragen die Jurahänge grösstenteils Deckschichten aus umgelagertem Verwitterungsmaterial. Diese sind wenige Dezimeter bis viele Meter mächtig. Die geologischen Karten weisen in der Regel nur die mächtigen Gehängeschutte als eigenständige Lockergesteinseinheiten aus. Die räumliche Verbreitung der Deckschichten ist also nicht systematisch erfasst.

Die Bildung der Deckschichten lief über mehrere Phasen und reicht weit zurück. Auch in der Riss-Kaltzeit mit der maximalen Eisausdehnung war der östliche Jura nicht völlig vergletschert (Hantke 1980). Im Würm blieb der Jura östlich der Linie Delsberg–Moutier nahezu eisfrei. Es herrschten periglaziale Abtragsbedingungen mit starkem Einfluss der Solifluktion. Viele der heutigen Gehängeschuttdecken sind in ihrem Hauptaufbau damals entstanden (Barsch 1969). Dies belegt der vielfach schichtartige Aufbau: Skelettreichere Lagen wechseln mit stark lehmigen Lagen ab (Abb. 2). Viele Deckschichten enthalten insgesamt ziemlich viel Feinmaterial, weil die über lange Zeiträume entstandenen Verwitterungsrückstände aus der Kalkverwitterung eingearbeitet sind und es bei der Deckschichtenbildung zur Vermischung von Kalkbruchstücken und Verwitterungsmaterial der Mergel und der Tonmergel kam. Die Deckschichten selbst und das Verwitterungsmaterial, aus dem sie bestehen, haben unterschiedliches Alter. So zeigen die jüngeren Deckschichten auf den Hängen am Kettenjura häufig eine hellere und weniger intensive Braunfärbung. Die

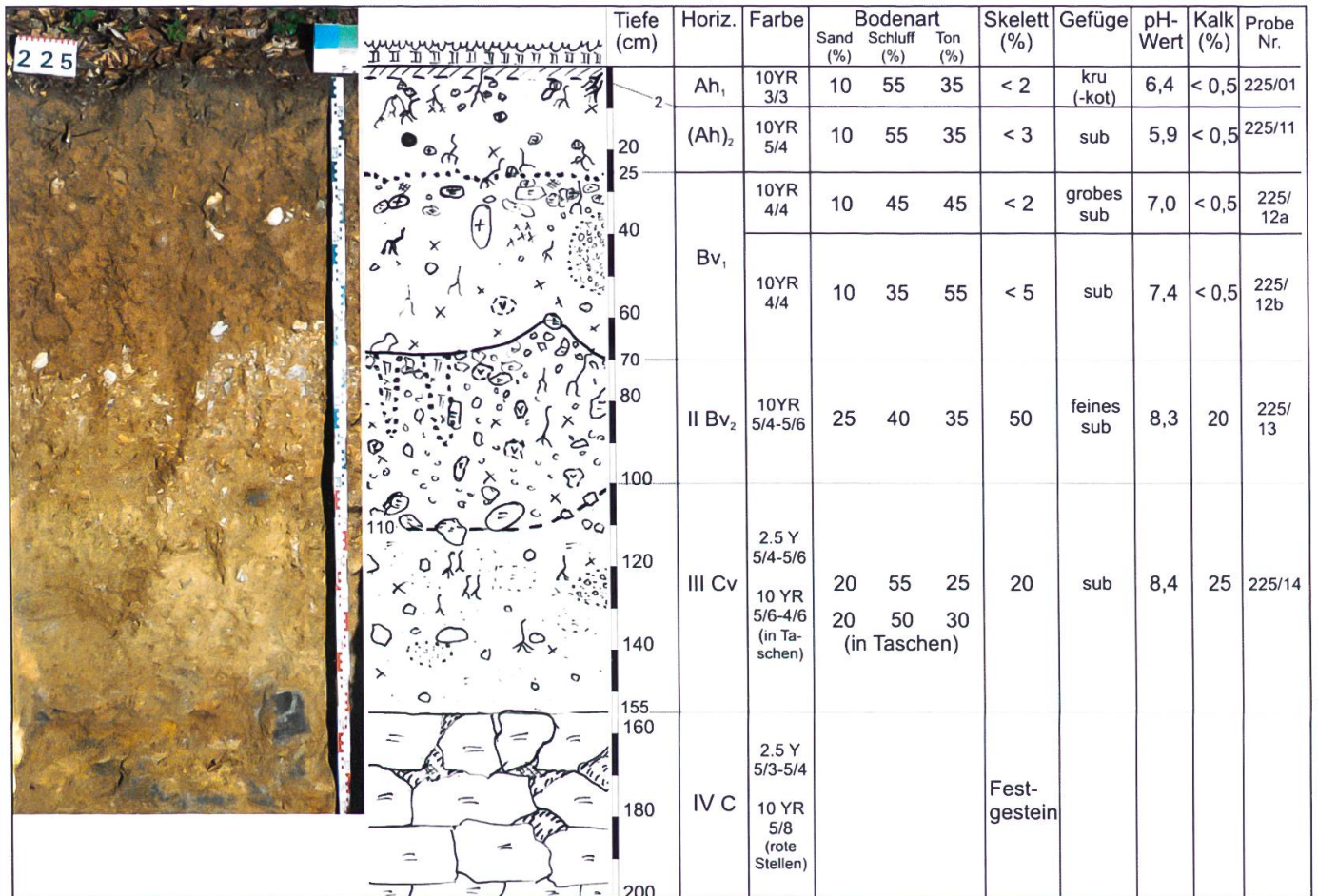


Abb. 2: Beispiel eines Bodens auf Deckschichten: basenreiche Braunerde auf Gehängelehm im Bann (Rünenberg). Waldgesellschaft: typischer Waldmeister-Buchenwald mit Lungenkraut (7-j.).

Braunfärbung der Deckschichten im Tafeljura ist oft intensiver, weil sie mehr Verwitterungslehme aus bis ins Tertiär zurückreichenden Verwitterungsphasen enthalten.

Die Deckschichtenbildung hält bis heute an. Allerdings konzentriert sich der Prozess seit der Wiederbewaldung auf die Steilhänge unterhalb der Felsstufen, wo skelettreiche Schuttdecken entstehen, und auf die Rutschhänge der Mergel und der Tonmergel.

Aufbau der Deckschichten

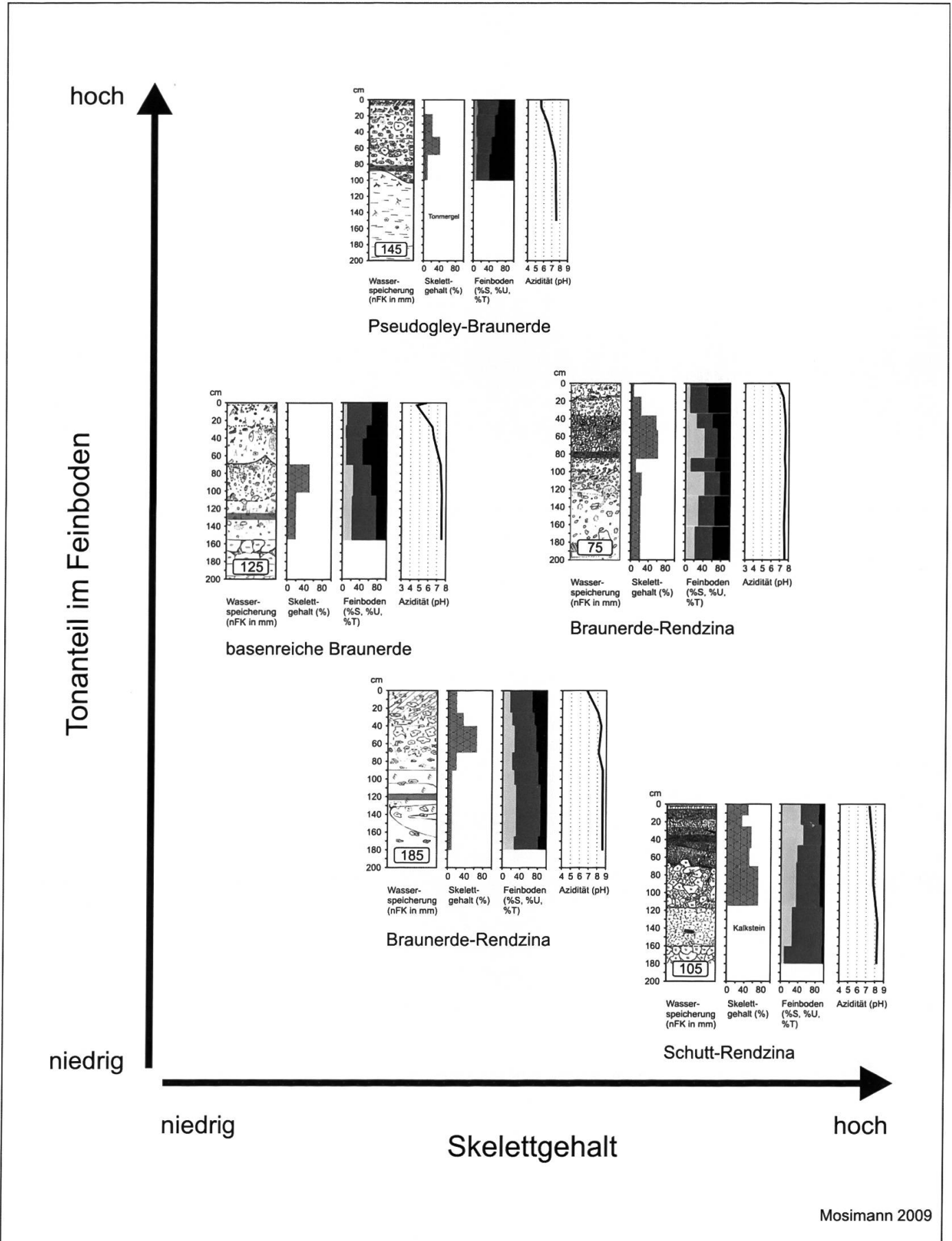
Allgemein lassen sich Gehängeschutte und Gehängelehme unterscheiden. Nomenklatorisch ist es sinnvoll, nach den Anteilen von Steinen und von Feinmaterial zu differenzieren: Gehängeschutte enthalten gesamthaft in den obersten 2 m mehr als 50 % Steine und Blöcke, Gehängelehme mehr als 50 % Feinboden. Tatsächlich zeigen die Deckschichten aber eine grosse Vielfalt in der

Zusammensetzung und im vertikalen Aufbau. Die wichtigen differenzierenden Merkmale sind:

- Mächtigkeit der Deckschicht;
- geschichtet oder ungeschichtet;
- Skelettanteil insgesamt;
- Art der Schichtung (Mächtigkeit und Anzahl der Teilschichten, Wechsel der Zusammensetzung der Teilschichten);
- Bodenart des Feinbodens.

Alle diese Merkmale können unterschiedlich miteinander kombiniert sein. Daraus resultiert eine grosse Vielfalt der Deckschichten. Der Aufbau kann sehr kleinräumig sein, das heisst im Zehnermeterbereich wechseln. Gleichwohl lassen sich einige allgemeine Regeln formulieren:

1. Unter vergleichbaren Reliefbedingungen nimmt die Mächtigkeit der Deckschichten vom Ober- zum Unterhang zu (siehe Abb. 4). Eindeutige Abhängigkeiten zur Bodengründigkeit bestehen jedoch nur für die nahe an



Mosimann 2009

Abb. 3: Übersicht zur Bodenvielfalt auf Deckschichten.

- der Hangoberkante gelegenen Bereiche und die weit von der Hangkante entfernten Unterhangbereiche. Im mittleren Hangbereich ist die Heterogenität der Gründigkeit sehr hoch.
2. Der Feinmaterialanteil nimmt mit der Distanz von Steilhängen und Felsstufen sowie bei abnehmender Hangneigung zu.
 3. Auf Hängen mit mehr als 32 Grad Hangneigung sind vorhandene Deckschichten immer skelettreich.

Bodeneigenschaften auf Deckschichten

Die Eigenschaften der Böden auf Deckschichten sind viel stärker vom Aufbau der Deckschichten bestimmt als von der Bodenentwicklung. Auch die starke Verbraunung in vielen feinmaterialreichen Deckschichten ist nur sekundär Ergebnis einer in-situ Verlehmung. Sie stammt vor allem von den älteren in die Deckschicht eingelagerten Verwitterungslehmen. Bodentypologisch ordnen sich die Böden je nach dem Feinmaterialanteil und dem Verlehmungsgrad in der Reihe Schutt-Rendzina – Braunerde-Rendzina – Rendzina-Braunerde – Kalkbraunerde – basenreiche Braunerde – Pseudogley-Braunerde ein. Die grossen Unterschiede in Aufbau und Zusammensetzung der Deckschichten spiegeln sich vor allem im breiten Spektrum der wasserhaushaltlichen Eigenschaften. So variieren die pflanzenverfügbar gespeicherten Wassermengen zwischen etwa 60 bis 200 mm. Die Böden auf den feinmaterialreichsten Gehängelehmen und -schluffen zeigen ähnlich günstige Wasserspeicherverhältnisse wie Decklehme. Da die Schluffanteile meist bei und über 50 % liegen, erreicht der Mittelporenanteil oft günstige Werte bei etwa 16 bis 18 %.

Die sehr unterschiedlichen Skelettgehalte beeinflussen natürlich die Durchlässigkeit. Allerdings sind auch die skelettarmen Böden auf Deckschichten meist noch mässig bis gut durchlässig. Nur bei Tonanteilen über 30 % tritt auch Haft- und gelegentlich Staunässe auf.

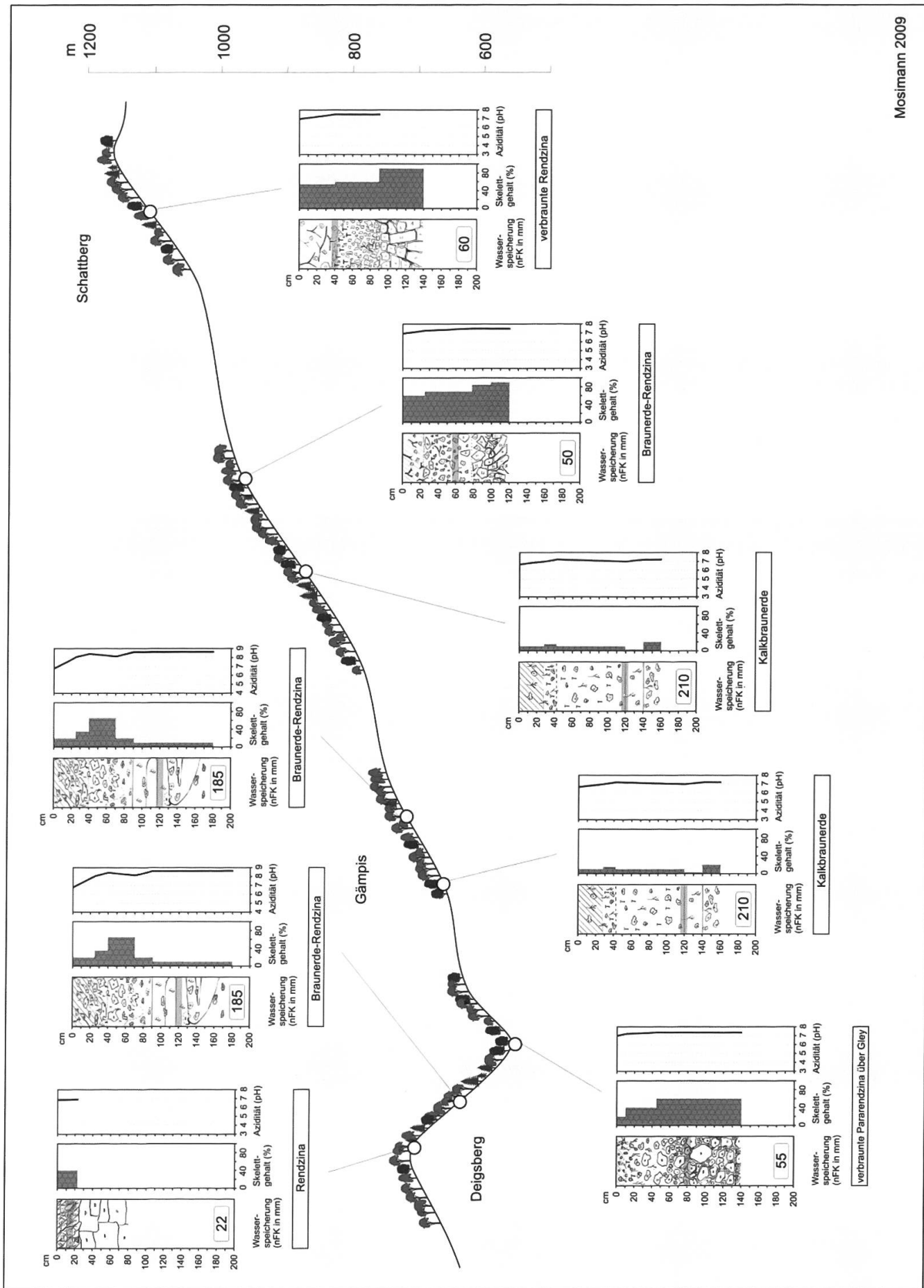
Auch bei Skelettanteilen unter 50 % sorgen die in der Bodenmatrix verteilten Steine für eine gute Sekundärporenstruktur. Der lehmige Feinboden weist zudem wegen der Wechselfeuchte und des Kalkgehaltes fast immer ein gutes und stabiles Subpolyedergefüge auf.

Die bodenchemischen Eigenschaften variieren weit weniger. Durch die Beimengung von Kalksteinen, Kalkgrus und Kalksand sind die Böden kalkhaltig oder in der Feinbodenmatrix mindestens basenreich. Die potenziellen pH-Werte liegen deshalb bei den Gehängeschutten bis an oder nahe an die Oberfläche und bei feinmaterialreichen Gehängelehmen unterhalb 50 cm Tiefe stets über 7. Bei niedrigen Skelettgehalten kann die Versauerung an der Oberfläche aber bis in den pH-Bereich um 5 fortgeschritten sein (siehe dazu Kap. 4.2).

Die Bedeutung der Deckschichten für den Wald und den Landschaftshaushalt

Die Deckschichten liegen über Kalken, Kalkmergeln, Mergeln und Tonmergeln. Auf Hängen stockt der Wald überwiegend auf Böden der Deckschichten an Stelle der sich auf den betreffenden Festgesteinen entwickelnden Böden. Ein Flächenvergleich für die Kalke macht dies deutlich: Kalksteine nehmen im Kanton BL 43 % der Waldfläche ein. Flachgründige Böden auf Kalken (Felsrendzinen) existieren jedoch nur auf rund 15 % der Waldfläche. Rund zwei Drittel der Kalksteine sind also mit Hangdeckschichten und mit Decklehmen auf Plateaus überdeckt.

Im Vergleich zu den Böden auf anstehendem Kalk sind die Böden auf Deckschichten generell tiefgründiger und speichern wesentlich mehr Wasser (Tab. 1). In der Ausprägung als Gehängelehm zeigen sie zudem geringere Durchlässigkeit und enthalten viel weniger Steine. Wegen der höheren Gründigkeit und des vielfach höheren Feinerdeanteils ist das Feinerdevolumen in Deckschichten 1- bis 10-mal grösser als in Böden auf Kalkstein. Daraus ergibt sich eine entsprechend höhere Kationenaustauschkapazität. Dies alles schafft im Vergleich zu den Böden auf Kalk und auf Kalkmergeln viel günstigere Wuchsbedingungen für den Wald. Die Böden enthalten mehr Wasser (siehe Tab. 1) und sind wesentlich nährstoffreicher. Der Wasser- und Lufthaushalt ist meist ausgeglichen (mittlere bis hohe Durchlässigkeit und gute Durchlüftung). Vernässungen fehlen oder sind auf Gehängelehmen meist nur schwach ausgeprägt. Liegen Deckschichten über Ton-



Mosimann 2009

Abb. 4: Reliefbestimmte Bodenabfolge am Passwang-Nordhang.

Bodeneigenschaft	Böden auf anstehendem Kalk	Böden auf Gehängeschutt	Böden auf Gehängelehm
Gründigkeit	15–35 cm	25–60 cm selten bis 80 cm	60–130 cm
Skelettgehalt	40–85 %	50–85 %	5–50 %
Durchlässigkeit	sehr hoch	hoch bis sehr hoch	mittel
Vernässung	keine	keine	Haftnässe möglich
Wasserspeicher- vermögen (nFK)	15–70 mm	40–110 mm selten bis 140 mm	120–180 mm selten nur 70–100 mm

Tab. 1: Vergleich ökologisch wichtiger Bodeneigenschaften von Böden auf Gehängeschutt und Gehängelehm mit Böden auf anstehendem Kalk.

mergeln, ist zwar die Wasser- und Nährstoffversorgung der Böden nicht besser, der Wasser- und Lufthaushalt wegen der höheren Steingehalte (besseres Sekundärporensystem) und eher niedrigeren Tongehalte ausgeglichener. Deckschichten wirken sich zudem günstig auf die Abflussregulation aus, weil sie mehr Wasser zurückhalten als Kalke und mehr Wasser infiltrieren lassen als Tonmergel und als Mergeltone. Mit Ausnahme skelettreicher Gehängeschutte filtern sie das Wasser deutlich besser als Böden auf Kalksteinen.

3.4 Wasser als Bodenbildungsfaktor

Etwa 10 % der Wälder im Kanton BL stocken auf Böden mit Vernässungen; davon weist etwa die Hälfte starke Vernässungen auf (Ergebnis der Modellierung der Vernässung). Die ökologische Interpretation der pflanzensoziologischen Waldgesellschaften ergibt 13 % der Fläche in der Stufe «feucht» und 0.4 % in der Stufe «nass». Diesem Befund stehen 70 % der Standorte mit Dominanz sickerwassergeprägter Böden gegenüber, also Standorte, die nie vernässen und zeitweise bodentrocken sind. Die restlichen Flächen weisen nur teilweise und nur schwache Vernässungen auf. Böden mit Vernässungen sind in den Baselbieter Wäldern also gesamthaft eher die Ausnahme, jedoch örtlich und unter bestimmten Voraussetzungen durchaus verbreitet.

Die wichtigsten Ursachen für Vernässungen in Böden sind:

1. Tonreiche Gesteine wie Keupermergel, Opalinuston, Oxfordmergel, Effingermergel und

lokal auch tertiäre Mergel und Mergeltone. Auf den Plateaus stehen diese teilweise an oder sind nur oberflächlich geringfügig durch Eis zu Grundmoränen überformt. Diese Böden weisen Haft- und Stauwasser auf. Unter Deckschichten in den Hängen und auf Rücken und Plateaus wirken diese Gesteine als Stauer.

2. Tonverlagerung in den Lössen und teilweise auch Decklehmen im Rahmen der Bildung der Parabraunerden. Die mit der Tiefe um 10 bis 20 % zunehmenden Tongehalte führen zu gehemmter Sickerung und zu Bildung von Stauwasser.

3. Deck- und Hanglehme mit Tonanteilen im Feinboden von über 40 % (tonige Lehme und schluffige Tone). Hier entsteht Haftnässe.

4. Hangwasser unterhalb von Quellhorizonten.

5. Grundwasser in flachen Muldentälern (nur wenige Flächen).

Abb. 5 zeigt mit vier Beispielen einen Querschnitt durch das Spektrum der Böden mit Stau- und Haftnässe. Es treten in den Baselbieter Waldböden alle Intensitäten der Vernässung in unterschiedlichen Tiefen auf. In der schwächsten Stufe sind es feine Rostflecken und kleine Eisen- und Eisen/Mangan-Konkretionen. Diese finden sich verbreitet auch in lehmreicheren Gehängeschutten und Hanglehmen und zeigen dort geringfügige Haftnässe an. Pseudovergleyung durch Stauwasser dokumentiert sich im Boden in der schwächeren Ausprägung durch Rostfleckung, die zum Stauhizont hin dichter wird und grössere Flecken ausprägt, und durch zunehmenden Gehalt auch grösserer Eisen-Mangan-Konkretionen. Starke Pseudovergleyung prägt Marmorierung aus,





Bodentyp	Parabraunerde-Pseudogley	Pseudogley	Pseudogley-Braunerde	Pseudogley
Ort	Oberwil (Birlibänz)	Arisdorf (Vogelsand)	Wintersingen (Leimen)	Gelterkinden (Berg)
				
Gestein/Substrat	Verschwemmter Löss	Löss (vermutlich Risszeitlich)	Gehängelehm über Tonmergel	Tonmergel
Art der Vernässung	Stauwasser Hangnässe im Untergrund	Stauwasser	Haftnässe Stauwasser	v.a. Haftnässe Stauwasser im Unterboden
Tiefe der Vernässung (Beginn)	35 cm	15 cm	50–60 cm	15 cm
Stärke der Vernässung	mittel	Sehr stark	Gering-mittel	mittel
Ursachen der Vernässung	Tiefgründige Verlehmung. Tonverlagerung.	Tonverlagerung. Stau durch Keupermergel im Untergrund.	Hoher Tongehalt. Wasserstau durch den Tonmergel. Vom oberen Hang zufließendes Wasser.	Hoher Tongehalt.
Folgen der Vernässung	Verdichtungsgefährdung.	Durchwurzelung eingeschränkt. Starke Verdichtungsgefährdung.		Verdichtungsgefährdung.

Abb. 5: Böden mit Vernässung (Beispiele).

wie sie im Pseudogley auf Löss auf Abb. 5 markant sichtbar ist. Voll entwickelte Pseudogleye mit Vernässung ab 15 bis 30 cm Tiefe wurden auf Lössen, Decklehmen und Tonmergeln gefunden. Auf Lössen und Decklehmen ist die am stärksten ausgeprägte Pseudovergleyung nicht alleine durch Tonanreicherung im Unterboden bedingt. Hierfür braucht es zusätzlich die stauende Wirkung eines unter der Deckschicht liegenden Gesteins (tertiärer Mergel oder Keupermergel).

Bei stärkster Vernässung beginnt der vernässte Bodenbereich im Winter und im Frühjahr schon in 15 cm Tiefe. Häufig setzen die vernässten Bereiche erst in 40 bis 60 cm Tiefe ein oder liegen noch tiefer im Unterboden. Für die Auswirkungen der Vernässungen ist die Tiefenlage entscheidend. Im Unterboden kann Stauvernässung zum Beispiel in geschichteten Gehängeschutten eine wünschbare zusätzliche Wasserversorgung bieten. Oberflächennahe Vernässung kann den Wurzelraum einschränken. Die Beobachtungen zeigen allerdings, dass hierfür lang anhaltende und starke Vernässung in Kombination mit hoher Lagerungsdichte des Bodens erforderlich ist (Dauer der Vernässung bis in den Juni, Wiedervernässung bis 50 cm unter Flur schon im September). Eine solche Situation kann bodenbürtig alleine nicht entstehen. Hierfür braucht es seitliches Zuflusswasser oder stagnierendes Wasser auf Verebnungen oder in flachen Mulden auf Plateaus. Der Pseudogley auf Löss (Abb. 5) steht stellvertretend für eine solche Situation. Hier endet die Durchwurzelung in 70 cm Tiefe nahezu vollständig.

Die Verdichtungs- und Verformungsempfindlichkeit des Bodens hängt nebst Körnung, Steingehalt und Humusgehalt hauptsächlich vom Wassergehalt ab. Mit zunehmendem Wassergehalt nehmen die Reibungs- und die Bindungskräfte zwischen den Bodenteilchen ab. Besonders kritisch ist der Bereich nahe der Sättigung. Die Vernässungen sind deshalb ein entscheidender Faktor für die Tragfähigkeit des Bodens und sollten im Rahmen einer bodenschonenden Bewirtschaftung beim Einsatz von Forstmaschinen stark beachtet werden (Lüscher et al. 2009).

4. Wichtige Eigenschaften der Waldböden

4.1 Wasserspeichervermögen

Gespeicherte Wassermengen

Das Wasserspeichervermögen von Böden wird von der Bodenart, vom Skelettgehalt, von der Gründigkeit und in geringem Umfang auch von der Lagerungsdichte bestimmt. Die ausnutzbaren Wasserreserven hängen zusätzlich von der Tiefe des effektiv durchwurzelten Raumes ab. Daraus resultiert ein sehr breites Spektrum der gespeicherten Wassermengen. Ökologisch massgebend ist das pflanzenverfügbare Wasser, welches in den Mittelporen von 0.2 bis 50 µm Durchmesser gegen die Schwerkraft zurückgehalten wird (Blume et al. 2002).

Die Bodenarten der Waldböden in der Nordwestschweiz variieren in einem recht weiten Bereich (Abb. 6). Die Feinerde enthält aber in fast allen Fällen mindestens 30 % Schluff. Somit fehlen lehmig-tonige, sandig-tonige und stark sandige Böden weitgehend. Im Wesentlichen lassen sich bezogen auf die Wasserspeicherfähigkeit drei Gruppen von Bodenarten unterscheiden:

- Lehmbestimmte Böden: Mittelporenanteil ca. 12–17 %
- Schluffbestimmte Böden: Mittelporenanteil ca. 22–26 %
- Lehmig-sandige Böden: Mittelporenanteil ca. 18–21 %

Die an Mittelporen reichen schluffbestimmten Böden aus Lösslehm und teilweise aus Decklehm mit einem Schluffanteil von 55 bis 75 % sind gleichzeitig die tiefgründigen und skelettfreien oder nahezu skelettfreien Böden. Das Spektrum der Wasserspeicherfähigkeit ist deshalb sehr gross. Die besten Waldböden aus Lösslehm speichern 10- bis 15-mal mehr pflanzenverfügbares Wasser als die flachgründigsten Böden auf Kalk (zum Vergleich siehe Abb. 1).

Im Jura liegen fast alle Böden im Bereich der Lehme. Die Bodenart ist also nicht der entscheidende differenzierende Faktor der standörtlichen Differenzierung des Wasserspeichervermögens. Die Speicherfähigkeit hängt hier primär vom Skelettgehalt und von der Gründigkeit

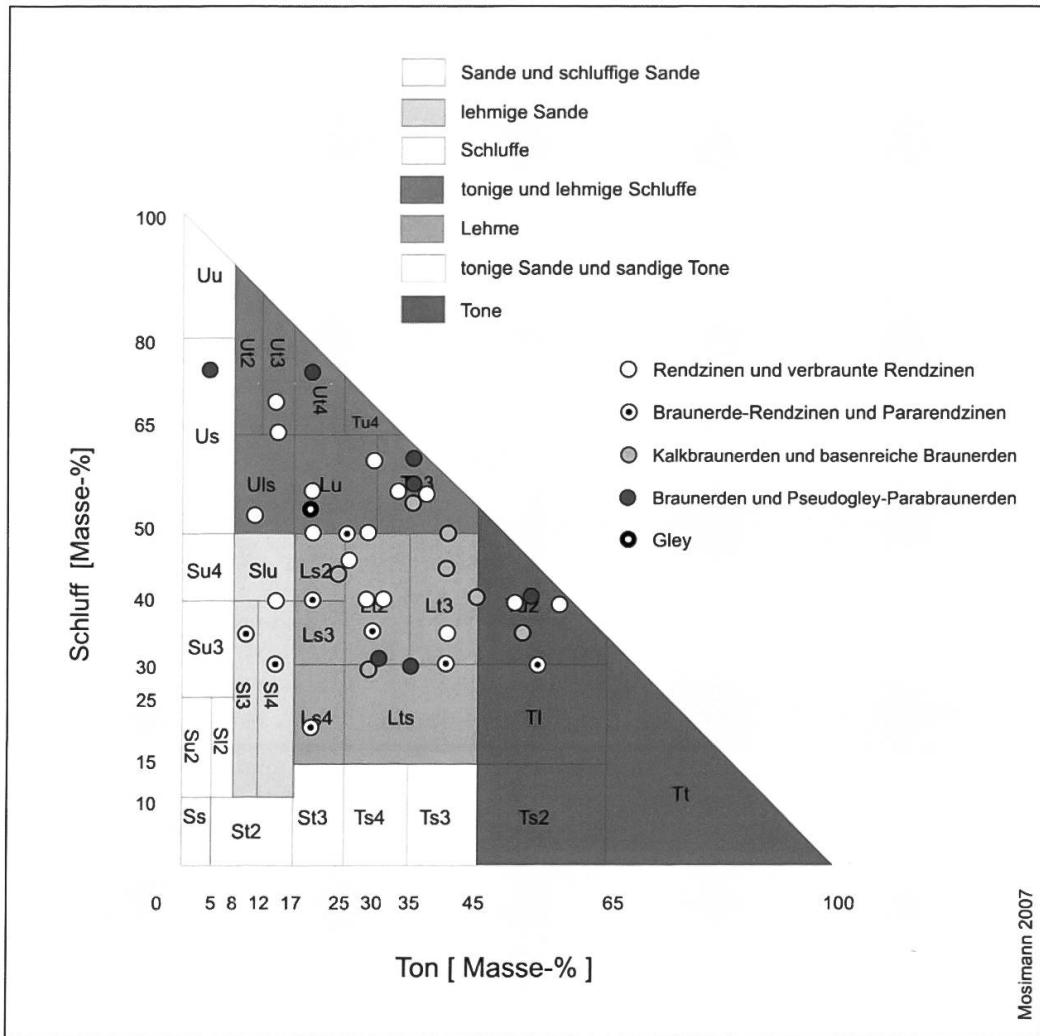


Abb. 6: Bodenarten der Haupthorizonte im Mineralboden verschiedener Waldböden im Kanton Basel-Landschaft.

ab. Abb. 7 präsentiert diesen Zusammenhang. Die Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser nimmt von zirka 20 mm bei sehr flachgründigen und extrem skelettreichen Böden auf über 200 mm bei tiefgründigen und skelettarmen Böden zu. Gründigkeit und Skelettgehalt hängen zudem zusammen. Flachgründige Böden sind häufig skelettreich und nie skelettarm. Tiefgründige Böden enthalten auch auf den Gehängeschutten im Jura im Durchschnitt nie mehr als 50 % Steine. Deshalb steigt die Speicherkapazität mit zunehmender Gründigkeit stark an.

Im standardisierten Vergleich der Speicherkapazität aller Standorte empfiehlt sich eine Bezugstiefe von 100 cm. Dies schliesst den gesamten Hauptwurzelraum und den wichtigeren Teil des Nebenwurzelraums der Waldbäume ein. Abb. 8 verdeutlicht das breite Spektrum des Wasserspeichervermögens. Besonders häufig

und für die meisten Böden im Jura charakteristisch sind Werte zwischen 20 und 140 mm pflanzenverfügbar gespeicherten Wassers (rund 80 % der Fälle). Werte bis 40 mm sind typisch für Rendzinen und verbrauchte Rendzinen auf Kalkstein, sehr flachgründigen Kalkschutten und reinen Kalkschottern ohne Feinmateriallinsen und Lehmauflagen. Im Wertebereich von 40 bis 140 mm liegen die meisten Böden auf Gehängeschutten, Tonmergeln (Keuper, Lias und Oxfordien), Juranagelfluh, Deckenschottern und umgelagerten Substraten aus Lehm oder Schwemmlöss mit höherem Geröllanteil. Werte über 140 mm werden nur in Braunerden, Parabraunerden und Pseudogleyen auf Decklehm und Lösslehm erreicht.

Die für die Bäume effektiv verfügbaren Wassermengen sind auch auf Standorten ohne Hang- oder Grundfeuchte teilweise höher als die Vergleichswerte für 100 cm Bodentiefe. In

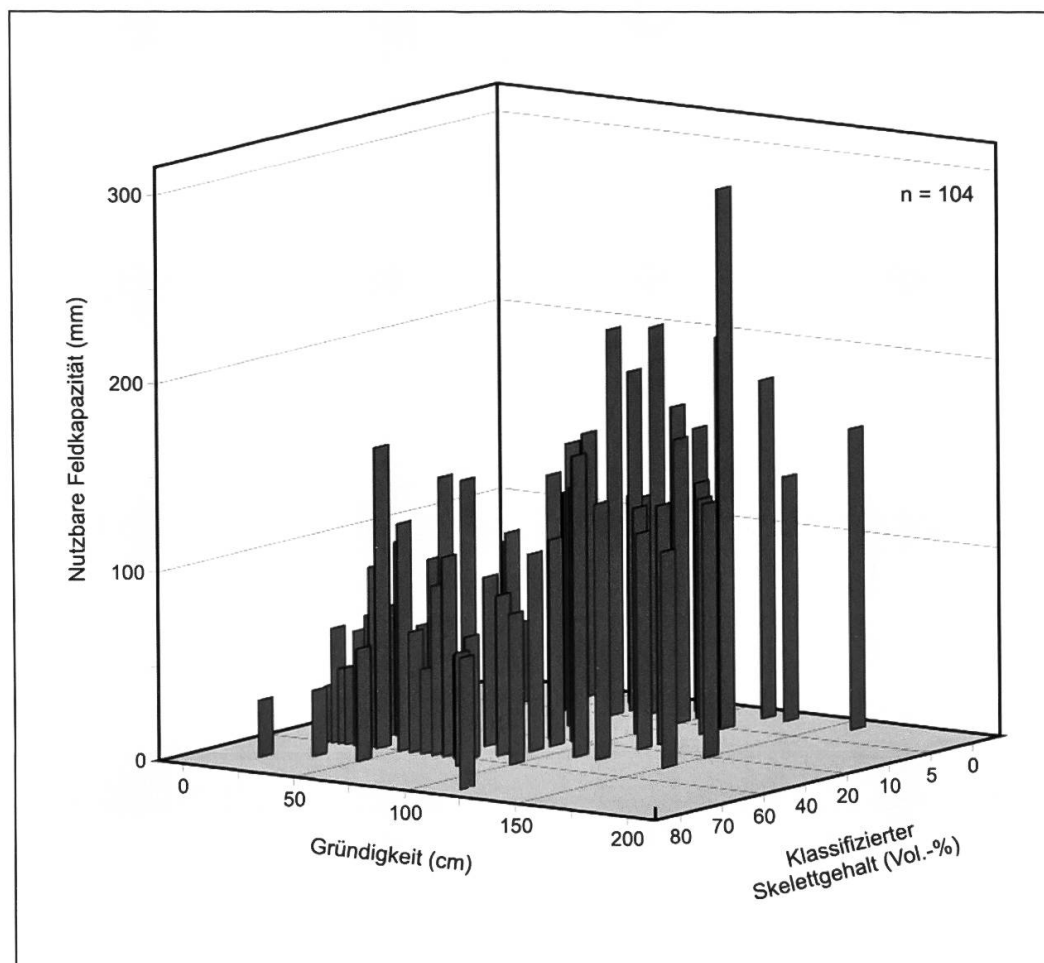


Abb. 7: Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser in Abhängigkeit von Gründigkeit und Steingehalt (Bodenskelett).

Böden auf anstehendem Kalk reichen die Wurzeln fast immer auch in die Klüfte des in Steine und Blöcke zerlegten Kalkes hinein. In diesen Klüften befindet sich meistens eingeschwemmter Lehm aus der Kalkverwitterung, der natürlich Wasser zurückhält. Diese zusätzlich verfügbare Wassermenge kann nur grob abgeschätzt werden. Sie beträgt unter der Annahme eines Kluftvolumens von zirka 10 bis 15 % und einer Wurzeltiefe in den Klüften bis maximal zwei Meter etwa 10 bis 30 mm. Sehr gut bestimmen lassen sich dagegen die zusätzlichen Wasserreserven in den Böden mit mehr als 100 cm Gründigkeit. Sofern nicht starke Vernässung die Durchwurzelung einschränkt, speichern Böden in Decklehmen im gesamten Wurzelraum bis 270 mm pflanzenverfügbares Wasser und Böden aus Löss bis 320 mm. In tiefgründigen Böden können also unterhalb 100 cm Tiefe noch zusätzliche Wasserreserven im Umfang von 25 bis 80 % der Wasserspeicherung von 0 bis 100 cm erschlossen werden.

Vergleich der Wasserspeicherfähigkeit mit der klimatischen Wasserbilanz

Für die ökologische Beurteilung der Wasserspeicherfähigkeit eignet sich ein Vergleich mit dem klimatischen Wasserangebot. Die klimatische Wasserbilanz errechnet sich als Differenz aus Niederschlagssumme und potenzieller Evapotranspiration (ET). Tab. 2 stellt die Werte für den Tafeljura für die Normperiode 1961–1990 und die Messperiode seit Inbetriebnahme der automatischen Messstation Rünenberg (BL) zusammen. Die Werte der ET für die Normperiode sind nach Spreafico und Weingartner (2005) abgeschätzt. Bei den ET-Werten für die Periode 1983–2008 handelt es sich um die von Meteoschweiz berechneten Verdunstungswerte nach Primault. Da sich die beiden Berechnungsverfahren unterscheiden, lässt sich aus den niedrigeren Evapotranspirationswerten für die jüngere Periode nicht schliessen, dass diese abgenommen hat.

Station	Messperiode	Niederschlag in mm	Potenzielle Evapotranspiration in mm	Klimatische Wasserbilanz in mm
Lampenberg	1961–1990 Ganzes Jahr	974	614	+360
Lampenberg	1961–1990 April–September	569	565	+4
Rünenberg	1983–2008 Ganzes Jahr	1004	568	+436
Rünenberg	1983–2008 April–September	618	488	+130
Rünenberg	Trockenjahr 2003 Ganzes Jahr	624	837	-213
Rünenberg	Trockenjahr 2003 April–September	315	727	-412

Tab. 2: Klimatische Wasserbilanz für den Tafeljura. Die klimatischen Wasserbilanzen für die Normperiode 1961–1990 wurden auf der Basis von SMA (1996) und Spreafico und Weingartner (2005) errechnet. Die Werte für die Periode 1983–2008 beruhen auf den Originaldaten von Meteoschweiz für die Messstation Rünenberg.

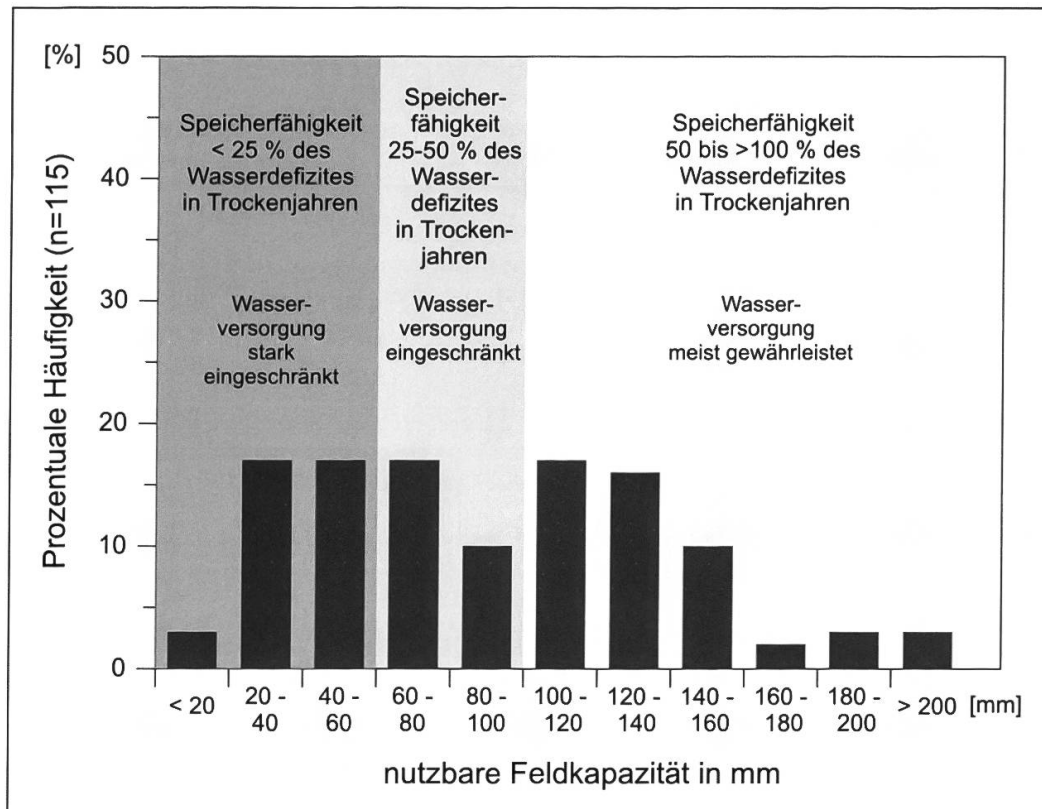


Abb. 8: Häufigkeitsverteilung der nutzbaren Feldkapazität und Vergleich mit dem klimatischen Wasserdefizit in Trockenjahren.

Wegen der hohen Jahresniederschlagsmengen im Tafeljura von rund 1000 mm ist die klimatische Wasserbilanz im Durchschnitt für das ganze Jahr stark positiv und im Sommerhalbjahr ausgeglichen bis leicht positiv. Die klimatische Wasserbilanz zeigt höchstens während eines Monats negative Werte. Es herrscht also Wasserüberschuss. In Durchschnittsjahren ist deshalb auch auf Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität die Wasserversorgung gewährleistet oder nur geringfügig reduziert. Das Jahr 2003 demon-

striert dagegen die völlig andere Situation in Trockenjahren (Tab. 2). Das Wasserdefizit betrug für 12 Monate gerechnet über 200 mm und im Sommerhalbjahr zirka 400 mm. Fünf Monate wiesen im Jahr 2003 eine negative Wasserbilanz auf. Für eine uneingeschränkte Wasserversorgung der Bäume mussten also die Böden im Sommer 2003 über 200 mm pflanzenverfügbares Wasser bereitstellen. Diese Voraussetzung war nur auf den Böden mit den besten Speichereigenschaften gegeben. Etwa ein Drittel aller untersuchten Böden

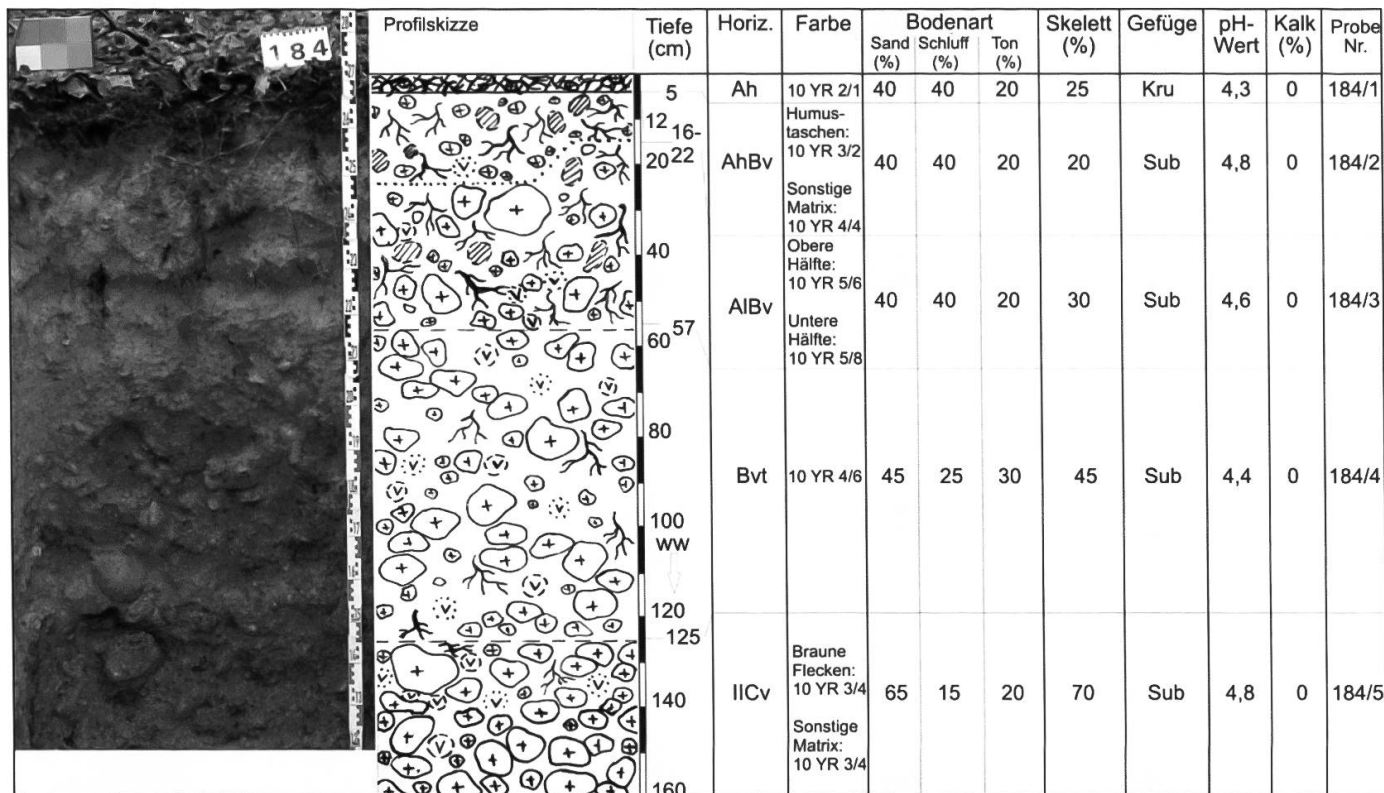


Abb. 9: Sehr stark versauerter Waldboden: Braunerde-Parabraunerde auf umgelagertem Deckenschotter (Arisdorf). Die Profilübersicht nennt die aktuellen pH-Werte. Die potenziellen pH-Werte (pH_{CaCl2}) liegen zwischen 3.6 und 3.9. Waldgesellschaft: Typischer Waldhainsimsen-Buchenwald (1).

verfügen über eine Wasserspeicherkapazität von weniger als 25 % des Wasserdefizites eines Trockenjahres, etwa ein Viertel liegt unter 50 % (Abb. 8). Bei Unterschreiten eines Bodenwassergehaltes von rund 50 % der nutzbaren Feldkapazität wird die Transpiration und damit der Stoffgewinn erheblich reduziert. Diese Situation trat im Trockenjahr 2003 an Standorten mit weniger als 50 mm Wasserspeicherung schon im April und an den günstigsten Standorten mit ≥ 200 mm Wasserspeicherung etwa Ende Juni ein.

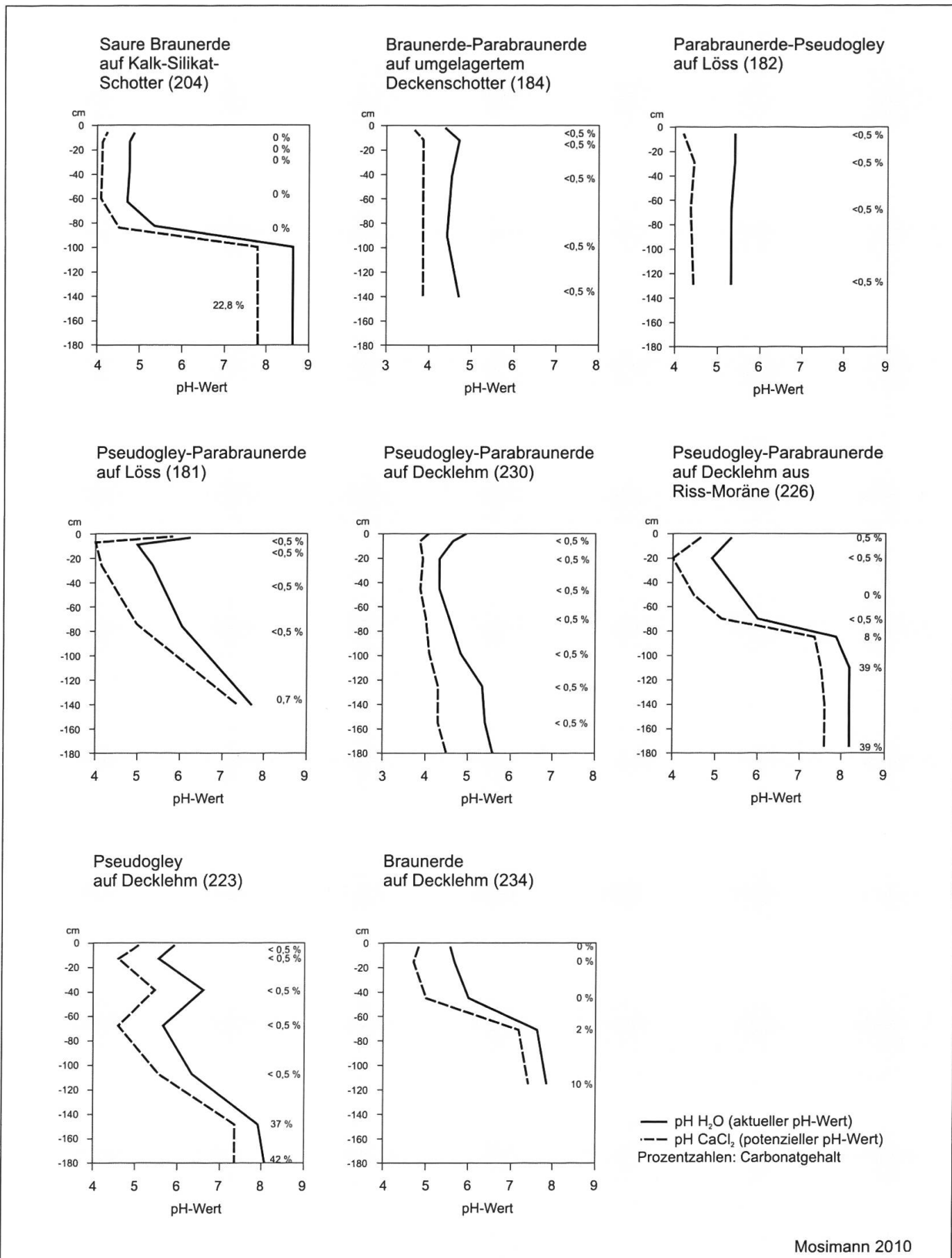
4.2 Versauerung

Der Versauerungsgrad des Bodens beziehungsweise die Bodenazidität ergibt sich aus dem Anteil der Austauscherplätze, die mit Wasserstoffionen belegt sind. Mit dem pH-Wert wird die H-Ionen-Aktivität in der Bodenlösung gemessen. Dies geschieht in wässriger Lösung (der sog. «aktuelle» pH-Wert) und in 0.01 m CaCl₂ Suspension. Die Messung in einer Lösung mit Überschuss von Ca-Ionen ergibt den potenziellen pH-Wert. Dieser Wert ist besser reproduzierbar.

Er liegt etwa 0.5 bis 1 pH-Einheiten tiefer als der aktuelle pH-Wert (siehe Abb. 10). Die folgenden Aussagen beziehen sich auf den potenziellen pH-Wert. Bei den diskutierten Werten ist also zu beachten, dass die aktuelle Azidität in der natürlichen Bodenlösung noch nicht so tief liegt.

Rund 6 % der Wälder des Baselbiets stocken auf stark versauerten Böden. Auf diesen Flächen liegen die potenziellen pH-Werte im Ober- und im Unterboden meist unter 4.5. Diese Böden befinden sich also im Silikat-Pufferbereich (Blume et al. 2002). pH-Werte im Oberboden unter 4 sind mit nur 0.2 % aller Flächen selten. Diese Abschätzungen der versauerten Flächenanteile resultieren aus der flächenhaften Modellierung der Azidität im Ober- und im Unterboden (Karten in geoViewBL einsehbar; www.geo.bl.ch).

Eine oberflächliche schwache oder mässige Versauerung gibt es teilweise auch in Böden auf Kalken, Mergeln, Tonmergeln (siehe Kap. 3.2 und Abb. 1) und auf Hanglehmen. Auf diesen Gesteinen und Deckschichten liegt die Versauerung im Oberboden aber nie unter pH 5 und im Unterboden (50 cm Tiefe) nie unter pH 6. Die Entkalkungstie-



Mosimann 2010

Abb. 10: Tiefenverlauf der pH-Werte in versauerten Waldböden.

fen betragen höchstens einige Dezimeter. Die Basensättigung liegt stets bei 100 %. Aus schwacher und mässiger Versauerung ergeben sich keinerlei Einschränkungen für die Nährstoffversorgung und die Pufferkapazität dieser Böden ist wegen der geringen Entkalkungstiefe oder kalkhaltiger Gerölle hoch. Stark versauerte Böden haben sich also nur auf wenigen Substraten entwickelt:

- Löss bzw. Lösslehme mit vollständig oder nahezu vollständig erhaltenen Parabraunerden und Parabraunerde-Pseudogleyen. Besonders starke Versauerung auf den älteren, vermutlich Riss-zeitlichen Lösslehmen.
- Jüngere und ältere Deckenschotter bzw. meistens umgelagerte und mit verschwemmtem Löss vermischte Deckenschotter (siehe Abb. 9). Die Mindel- und Günz-zeitlichen Deckenschotter (640'000 bis 400'000 Jahre vor heute) enthalten viel kristalline Gerölle und haben eine lange Verwitterungszeit hinter sich. Dabei wurden sie teilweise abgetragen und mehrfach mit umgelageretem Lösslehm und Verwitterungslehm vermischt. Die sehr stark saure Braunerde-Parabraunerde vom Bärenfels in Arisdorf BL (Abb. 9), gehört zu den am stärksten versauerten Böden des Baselbiets. Die potenziellen pH-Werte liegen durchweg unter 4 im Oxid-Hydroxid-Pufferbereich.
- Kalk-Silikat-Schotter der Rhein-Niederterrasse. Hier wurden in den letzten 10'000 Jahren die kalkigen Gerölle (im Mittel ca. 50 % Anteil) durch Karbonatverwitterung vollständig zerstört. Wegen der hohen Durchlässigkeit ist die Versauerung im Vergleich der andern stark versauerten Böden besonders weit fortgeschritten (siehe Abb. 10).
- Decklehme der Tafeljurahochflächen. Hier präsentiert sich die Versauerungssituation recht vielfältig. Zum Teil sind die Böden auf Decklehmen gleich stark versauert wie die Böden auf Lösslehm, zum Teil geringer und vor allem weniger tiefgründig.

Abb. 10 gibt einen Überblick zur Situation stark versauerter Waldböden im Baselbiet. Die Standorte unterscheiden sich in Ausmass, Tiefenverlauf und Tiefgründigkeit der Versauerung. Ursachen für die Unterschiede sind Körnung, Alter des Verwitterungsmaterials, Zusammensetzung der Deckschicht, Mächtigkeit der Deckschicht, Durchlässigkeit (Vernässung) und seitliches Zuschusswasser.

Die tiefsten pH-Werte erreichen den Bereich von 3.6 bis 3.9. Es wurde nur ein einziges Profil gefunden, in dem die potenziellen pH-Werte durchwegs bis in den tiefen Unterboden unter 4 liegen. Ansonsten begrenzen sich pH-Werte um 4 auf die obersten Dezimeter. Die stärkste Versauerung erreichen nicht die Böden auf Lösslehmen, sondern Braunerde-Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden auf altem, relativ durchlässigem Verwitterungsmaterial in Bereichen mit ≥ 1000 mm Niederschlag (umgelagerte Deckenschotter und schluffreiche Decklehme). Diese Böden sind auch tief basenarm (Kölling 1999). In den Parabraunerde-Pseudogleyen auf Lösslehm liegen die pH-Werte meist zwischen 4 bis 4.5 und steigen in unterschiedlichen Tiefen im Unterboden allmählich auf 5 an. Bei gekappten Lösslehmen wird schon in 100 bis 150 cm Tiefe der kalkhaltige Bereich erreicht.

Die Profile in Decklehmen in Abb. 10 dokumentieren den Einfluss der Faktoren Decklehmächtigkeit, Gehalt an Geröllen und Vernässung auf den Grad der Versauerung. Das linke und das rechte Profil illustrieren die Bedeutung der Mächtigkeit des Decklehms über Kalk (Haupttrogenstein). Sie beträgt in Profil 230 nahezu 2 m und in Profil 234 60 bis 70 cm. In der geringmächtigen Deckschicht liegen die pH-Werte in gleicher Tiefe etwa 0.5 bis 0.8 Einheiten höher, weil der Lehm schon ab 20 cm vereinzelt Kalksteine enthält, aus denen in geringem Umfang Kalk nachgelöst wird. An der Grenze zur Kalkverwitterungsschicht springen die pH-Werte in den basischen Bereich.

Die drei Profile in der Reihe 230–226–223 illustrieren die Wirkung des Geröllgehaltes in der Riss-Moräne und den Wassereinfluss. Profil 226 enthält in der oberen Schicht zirka 5 % Kalkgerölle und geht in 100 cm Tiefe in die ebenfalls moränal veränderte kalkhaltige Tertiärverwitterungsschicht über. Die pH-Werte steigen mit der Tiefe deutlich rascher an als im nahezu geröllfreien Decklehm. Der Pseudogley (Profil 223) ist schon ab 20 cm Tiefe zeitweise vernässt. Stark gehemmte Sickerung und Nährstoffzuschuss aus dem vom Gesteinsuntergrund eingestauten und seitlich zufließenden Wasser hemmen die Versauerung. Die pH-Werte liegen unter diesen Bedingungen 1 bis 1.5 Einheiten höher als im Decklehm mit nur leicht gehemmter Sickerung.

Die Entkalkungstiefen in den stark versauerten Böden variieren zwischen etwa 80 cm bis über 2 m. In den Decklehmen bestimmt in erster Linie die Schichtung die Entkalkungstiefe, in den Lösslehmen die allfällige Kappung des Bodens durch Bodenerosion, das Alter und die Niederschlagszunahme im Gradient Rheingraben-Jura. Für das Risiko zunehmender Versauerung und ungenügender Basenversorgung ist neben dem Grad der Versauerung vor allem die Entkalkungstiefe massgebend.

Dichte und lang andauernde Fichtenbestockung und dichte Tannenbestockung führt zu einer zusätzlichen Versauerung des Bodens. Dieser Effekt wurde im Jahr 2008 an 40 Standorten im Baselbiet als Grundlage für die Modellierung der Azidität untersucht (Schutt 2009). Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Entscheidend für das Ausmass der zusätzlichen Versauerung sind das Niveau der natürlichen Versauerung (und damit der Boden- und Substrat- bzw. Gesteinstyp), die Dichte und das Alter des Bestandes. Die zusätzliche Versauerung in Fichtenbeständen erreicht im Oberboden auf stark sauren Böden 0.2 bis 0.5 pH-Einheiten und auf schwach bis mässig sauren Böden je nach Gestein und Substrat 0.5 bis 1 pH-Einheiten. Im Unterboden ist die Wirkung der Fichten deutlich abgeschwächt. Hier liegt die zusätzliche Versauerung in mässig und schwach sauren Böden meist nicht über 0.5 pH-Einheiten.

Auf schwach und mässig sauren Böden haben also die Fichten den Boden am stärksten verändert. Auf stark sauren Böden ist der Effekt des zusätzlichen Protoneninputs aus der Verwesung der Fichtenstreu geringer, weil die im Boden bereits erreichten H-Ionen-Konzentrationen 10- bis 100-mal höher liegen. Er reicht jedoch aus, um die Basensättigungswerte in den kritischen Bereich zu bringen.

4.3 Basensättigung

Die Basensättigung ist die Kennzahl für den Anteil der basisch wirkenden Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ und Na^+ an der Kationenaustauschkapazität. Mit Fortschreiten des Versauerungsprozesses werden immer mehr dieser Nährstoffkationen von H-Ionen und Aluminiumionen von den Austauschplätzen verdrängt. Die Basensättigung ist neben dem pH-Wert das zweite wichtige Merkmal der Bodenversauerung. Bei weit fortgeschrittener Ver-

sauerung fällt die Versorgung mit basischen Nährstoffen unter ein kritisches Niveau und der Gehalt toxisch wirkender Aluminiumionen in der Bodenlösung steigt an (Flückiger und Braun 2007).

Zwischen dem pH-Wert und der Basensättigung besteht ein Zusammenhang, weil die im Lösungsgleichgewicht mit dem festen Boden gemessene Wasserstoffionenkonzentration stark von der Belegung der Austauschplätze mit H-Ionen bestimmt wird. In der Situation aller in der Schweiz untersuchten Waldböden lässt sich Folgendes erkennen (Walthert et al. 2004): Oberhalb eines potenziellen pH-Wertes von etwa 5.5 beträgt die Basensättigung immer 100 % oder nahezu 100 %. Unterhalb pH 3.6 liegt sie stets bei 10 % und niedriger. Zwischen diesen beiden pH-Grenzen nimmt sie ab, variiert jedoch in einem sehr weiten Bereich. Bei einer Mittelung der Werte für Schritte von 0.2 pH-Einheiten kann eine lineare Abnahme der Basensättigung mit dem pH erkannt werden (Blaser et al. 2008a). Für Einzelstandorte lässt sich aber die Basensättigung nicht ohne weiteres aus dem pH-Wert ableiten.

Generell als kritisch gelten Basensättigungswerte unter 15 % (Flückiger und Braun 2007). Für eine nachhaltige Bewirtschaftung sind jedoch höhere Basensättigungswerte erforderlich: Nadelhölzer 30 %, Buche und Eiche 50 %, andere Laubbäume 60 bis 90 % (Puhe und Ulrich 2001). Die Schwelle von 50 % Basensättigung ist also für die NW-Schweiz eine wichtige Grenze.

Die Basensättigung verändert sich zurzeit spürbar. Flückiger und Braun (2004, 2007) stellten für 13 % der Walddauerbeobachtungsflächen in der Nordwestschweiz und im Mittelland eine kritische Basensättigung unter 15 % fest. Bemerkenswert ist die Dynamik der Abnahme. Zwischen 1996 und 2005 nahm die Basensättigung der Waldböden im Mittel um 5.3 % ab. Als Hauptursache der Vorratsabnahme basischer Nährstoffe wird die hohe Stickstoffdeposition gesehen.

Abb. 11 stellt den Zusammenhang zwischen pH-Wert und Basensättigung für 71 bisher untersuchte Baselbieter Waldböden dar (Fracek 2009). Diese Stichprobe wird zurzeit im Hinblick auf die Vorhersage der Basensättigung aus dem pH-Wert noch erweitert. Ein klarer Trend beim Zusammenhang und Grenzwerte des pH für bestimmte Basensättigungsbereiche lassen sich jedoch schon gut erkennen.

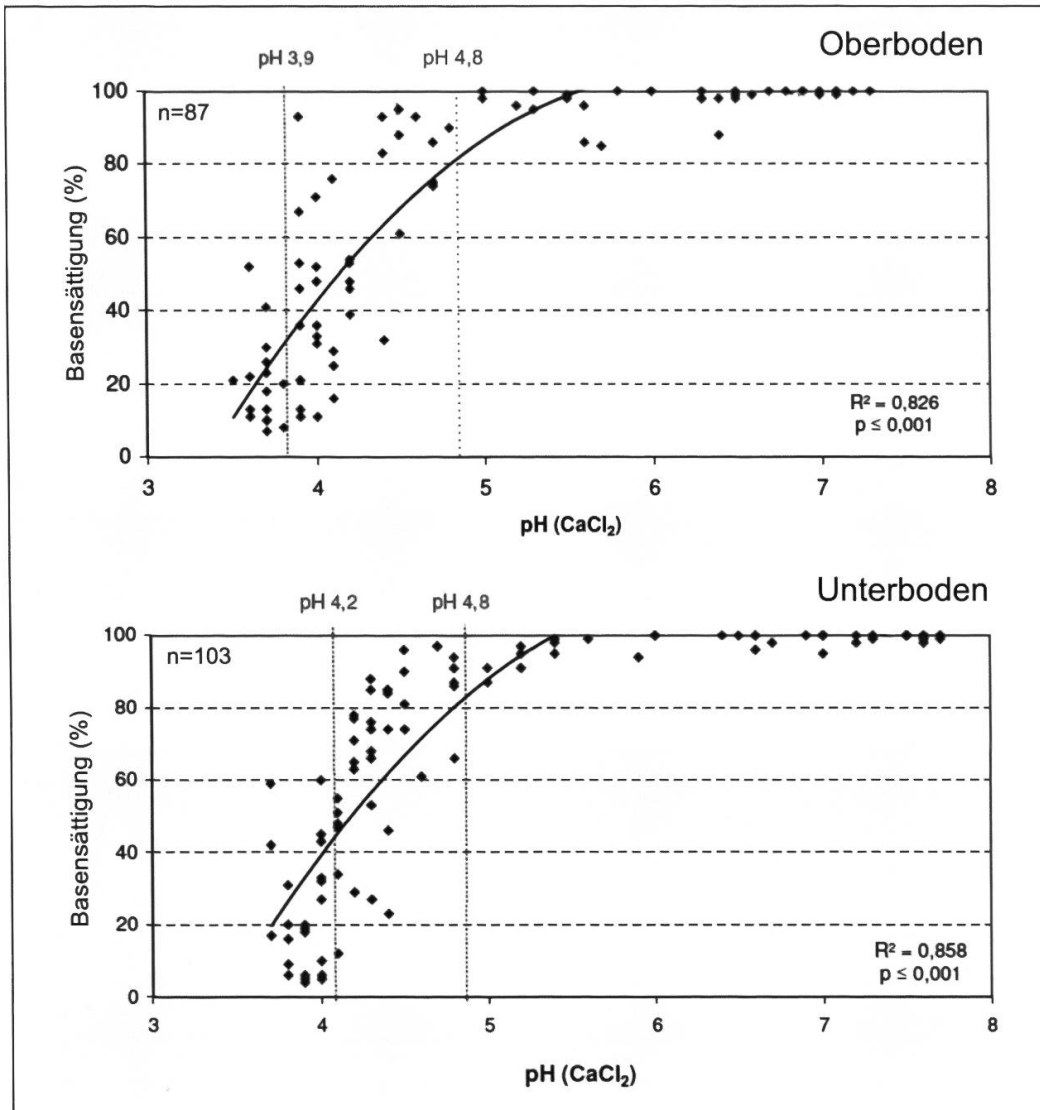


Abb. 11: Zusammenhang zwischen dem potenziellen pH-Wert und der Basensättigung. Unterhalb pH 3.9 beziehungsweise 4.2 ist die Nährstoffversorgung für die Entwicklung eines ertragreichen Waldes eingeschränkt.

Allgemein folgt der Zusammenhang zwischen pH und Basensättigung natürlich dem oben bereits beschriebenen Muster. Die pH-Grenzen zum 100 %-Sättigungsbereich und zum Bereich eingeschränkter Nährstoffversorgung sind jedoch im Vergleich zum gesamtschweizerischen Datensatz (Walther et al. 2004) modifiziert. Basensättigungen von generell > 85 % werden bei pH-Werten bis 4.8 erreicht. Generell unter 60 % liegen die Basensättigungswerte unterhalb eines pH-Wertes von etwa 4, mit geringfügigen Unterschieden im Ober- und im Unterboden. Dies entspricht annähernd dem gesamtschweizerischen Befund. Zwischen pH 4 und 4.8 existiert die bekannte, sehr grosse Streuung der Basensättigungswerte. Zur besseren Differenzierung der Abhängigkeit zwischen pH-Wert und Basensättigung lassen

sich nach dem jetzigen Stand der untersuchten Standorte folgende Zusammenhänge für die Basensättigung im Oberboden (0–20 cm) erkennen (Fracek 2009):

- In sauren Braunerden auf Kalk-Silikat-Schottern liegt die Basensättigung bei pH-Werten < 4.5 generell unter 50 %.
- Auf Hanglehmen liegt die Basensättigung auch bei pH-Werten < 4.8 über 80 % (Pufferung durch eingemischte Kalksteine).
- Auf Lössen und Decklehmen kann im pH-Bereich 4 bis 4.8 bisher kein Zusammenhang erkannt werden. Bei pH-Werten ≤ 4 beträgt die Basensättigung in 6 von 7 Fällen < 30 %.
- Unter Waldgesellschaften mit der pflanzenökologischen Reaktionsstufe «leicht sauer» liegt die Basensättigung bei pH-Werten ≤ generell unter 30 %.

Auf Grund der bisherigen Untersuchungen können die pH-Bereiche in den Böden der Baselbieter Wälder in drei Nährstoffversorgungsbereiche eingeteilt werden:

pH > 4.8: Keine Einschränkung der Nährstoffversorgung. Genügend Nährstoffangebot für ein gutes Wachstum aller Baumarten.

pH 4 bis 4.8: Nährstoffversorgung kann eingeschränkt sein. Grosse Unterschiede der Standorte.

pH < 4: Nährstoffversorgung eingeschränkt, besonders für ein gutes Wachstum der Laubbäume.

5. Schlussfolgerungen

In der Nordwestschweiz existiert eine grosse Vielfalt verschiedener Böden. Sie gehören zu drei Bodenlandschaften: 1. Lösshügelland mit seinen Ausläufern im Hochrheintal, am Jurarand und im Laufener Becken, 2. Tafeljura und 3. Faltenjura. Die Bodenlandschaft Tafeljura unterscheidet sich vom Faltenjura durch Böden auf den Tafeljurahochflächen, die sich auf Decklehmen, Grundmoränen, Juranagelfluh und Tonmergeln entwickelt haben. Alle ökologisch wichtigen Bodeneigenschaften variieren in einem weiten Bereich und zum Teil sehr kleinräumig. Für den Wald besonders wichtig sind dabei die grossen Unterschiede bei der Wasserspeicherung und dem Versauerungsgrad sowie der Basensättigung. Die Waldböden im Kanton BL bieten dem Wald also eine riesige Vielfalt an Standortbedingungen. Mit dieser grossen Vielfalt unterscheiden sich die Wuchspotenziale der Standorte, aber auch die Risiken. Das Wissen über die Waldböden ist eine wichtige Grundlage für die Waldentwicklung, die schonende Waldbewirtschaftung, den Schutz der ökologischen Bodenfunktionen und die Abschätzung von Risiken.

Karten stellen die modellgestützt ermittelten Waldbodeneigenschaften Gründigkeit, Skeletthalt, Vernässung und Azidität flächendifferenziert und hoch aufgelöst dar (www.geo.bl.ch). Diese Karten und das erarbeitete Wissen lassen sich weiter in Wert setzen, zum Beispiel für die Abgrenzung von Standorten mit ungenügender Nährstoffversorgung, Versauerungsgefährdung, Trockenstressrisiko und in Kombination mit Klimaparametern auch für die Abschätzung des Waldbrandrisikos. Das Wissen soll aber auch ganz

allgemein für den Wert der Ressource Waldböden sensibilisieren. Deshalb werden 40 Waldböden in allgemein verständlicher Form im Internet präsentiert (www.phygeo.uni-hannover.de/forschung/waldboden/Wabo/Praesentation.html) und fünf Böden für Exkursionen und die praktische Ausbildung offen zugänglich gehalten. Dem gleichen Zweck dienen 15 in Harz konservierte Bodenmodelle, die an Ausstellungen und im Unterricht für Demonstrationszwecke eingesetzt werden.

6. Dank

Die umfangreichen Waldbodenuntersuchungen im Rahmen des Projektes «Modellierung von Waldbodeneigenschaften» wurden vom Kanton Basel-Landschaft grosszügig gefördert. Ein herzlicher Dank dafür gebührt Dr. Roland Bono (Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft) und Kantonsforstingenieur Ueli Meier (Amt für Wald beider Basel). In diesen Dank einschliessen möchte ich auch ihre Mitarbeiter Daniel Schmutz und Sylvia Nussbaum sowie alle Kreisforstingenieure und Revierförster, die uns über die vielen Jahre bei den Feldarbeiten organisatorisch unterstützt haben. Massgeblichen Anteil an den aufwändigen Feld- und Laboruntersuchungen und den anschliessenden Auswertungen haben Dipl.Geogr. Philipp Herbst, Dipl. Geogr. Kristin Fracek, Dipl.Geogr. Mareike Schutt, Dipl.Geogr. Gundula Paul und Robert Schauer. Statistische Auswertungen zu den Flächenanteilen von Bodeneigenschaften führte Dr. Uwe Meer durch. Ihr engagierter und unermüdlicher Einsatz hat diese Arbeit erst möglich gemacht.

7. Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Hannover (Kommission: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart).
- Barsch, D. (1969): *Studien zur Geomorphogenese des zentralen Berner Juras*. Basler Beiträge zur Geographie, H. 9, Basel.
- Bartholet, H.U. (1964): *Geologie des Tafel- und Faltenjuras zwischen Eptingen und Oltingen*. Tätigkeitsberichte der Naturforschenden Gesellschaft Baselland 23, 43–130.

- Bitterli-Brunner, P. & H. Fischer (1988): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000 Blatt 1067 Arlesheim. Erläuterungen. Landeshydrologie und -geologie (Hrsg.), Bern.
- Blaser, P., Walthert, L. & E. Graf Pannatier (2008a): The sensitivity of Swiss forest soils to acidification and the risk of aluminium toxicity. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171: 605–612.
- Blaser, P., Walthert, L., Zimmermann, S., Graf Pannatier, E. & J. Luster (2008b): Classification schemes for the acidity, base saturation and acidification status of forest soils in Switzerland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 171: 163–170.
- Blume, H.P. und 13 Co-Autoren (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin.
- Burnand, J. & B. Hasspacher (1999): Waldstandorte beider Basel. Quellen und Forschungen zur Geschichte und Landeskunde des Kantons Basel-Landschaft, Band 72. Liestal.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (1996): Handbuch Waldbodenkartierung. Bern.
- Flückiger, W. & S. Braun (2004): Wie geht es unserem Wald? Ergebnisse aus Dauerbeobachtungsflächen von 1984 bis 2004, Bericht 2. Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, Schönenbuch.
- Flückiger, W. & S. Braun (2007): Die Stickstoffbelastung der Schweizer Wälder und ihre Auswirkungen. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel* 10: 3–20.
- Fracek, K. (2009): Basensättigung in Waldböden des Kantons Basel-Landschaft (Schweiz). Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Azidität und Basensättigung unter verschiedenen Standortbedingungen und Ableitung von Pedotransferfunktionen für die Vorhersage der Basensättigung in der Modellierung von Waldbodeneigenschaften. Diplomarbeit am Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover, Hannover.
- Gauer, J. (2009): Böden als Waldstandorte. *Handbuch der Bodenkunde* 32. Erg.Lfg., Weinheim.
- Gutachterausschuss Forstliche Analytik (Hrsg.) (2005): *Handbuch forstliche Analytik. Effektive Kationenaustauschkapazität, 147–150; Potentielle (totale) Kationenaustauschkapazität, 113–117.* Bonn.
- Hantke, R. (1980): Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Band 2. Thun.
- Hauber, L. (1960): Geologie des Tafel- und Faltenjura zwischen Reigoldswil und Eptingen. *Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, Neue Folge*, 112. Lieferung. Bern.
- Herbst, P. & T. Mosimann (2010): Prognose ökologisch wichtiger Waldbodeneigenschaften mit Random Forest in der Nordwestschweiz – Vergleich der Vorhersagen mit wissensbasierter empirisch-statistischer Modellierung. *Geomatik Schweiz* 4/2010, 140–144.
- Kölling, C. (1999): Ordination von Waldökosystemen nach Stoffkonzentrationen der Lösungsphase und bodenchemischen Tiefengradienten. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 162: 89–95.
- Lüscher, P., Frutig, F., Sciacca, S., Spjevak, S. & O. Thees (2009): Physikalischer Bodenschutz im Wald. Bodenschutz beim Einsatz von Forstmaschinen. *Merkblatt Praxis* 45, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 12 S.
- Mosimann, T. (2005): Waldböden des Kantons Basel-Landschaft. Bodenprofile der Gebiete Brislach, Reigoldswil–Lauwil–Bretzwil und des Tafeljuras zwischen Waldenburger- und Diegtal. *Geosynthesis Sonderband 1, Veröffentlichungen der Abteilung für Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geographischen Institut der Universität Hannover.*
- Mosimann, T. (2006): Waldböden des Kantons Basel-Landschaft Band 2. Bodenprofile der Gebiete Allschwil/Oberwil, Arisdorf und Wintersingen. *Geosynthesis Sonderband 2, Veröffentlichungen des Instituts für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover.*
- Mosimann, T. (2009): Waldböden des Kantons Basel-Landschaft Band 3. Bodenprofile der Gebiete Reinach, Muttenz, Pratteln, Wittinsburg, Rümlingen, Gelterkinden, Ormalingen, Hemmiken, Rothenfluh, Rünenberg, Wenslingen und Oltingen. *Geosynthesis Sonderband 4, Veröffentlichungen des Instituts für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover.*
- Puhe, J. & B. Ulrich (2001): Global climate change and human impacts on forest ecosystems. *Ecological Studies* 143. Berlin-Heidelberg.
- Rehfuess, K. (1981): Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Hamburg und Berlin.
- Schlichting, E., H.P. Blume & K. Stahr (1995): *Bodenkundliches Praktikum.* Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin, Wien.
- Schutt, M. (2009): Bodenversauerung durch Nadelhölzer in Wäldern des Kantons Basel-Landschaft. Untersuchungen zum Ausmass der Versauerung und Ableitung von Vorschlägen für die Vorhersage der Azidität in der Modellierung von Waldbodeneigenschaften. Diplomarbeit am Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie der Leibniz Universität Hannover, Hannover.
- SMA (Hrsg.) (1996): *Klimatologie 1961–1990. Bereinigte Zeitreihen. Die Ergebnisse des Projektes KLIMA90.* Schweizerische Meteorologische Anstalt Zürich.
- Spreatico, M. & R. Weingartner (2005): *Hydrologie der Schweiz. Ausgewählte Aspekte und Resultate. Berichte des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Serie Wasser Nr. 7.* Bern.
- Walthert, L., S. Zimmermann, P. Blaser, J. Luster & P. Lüscher (2004): *Waldböden der Schweiz 1. Grundlagen und Region Jura.* Bern.

*Prof. Dr. Thomas Mosimann
Institut für Physische Geographie und
Landschaftsökologie
Leibniz Universität Hannover
Schneiderberg 50
D-30167 Hannover
und
Vorstatt 6
CH-4426 Lauwil*