

M11 Bodenprofil Langenthal-Rickenzopfen

M11.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

M11.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb.M11.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.M11.2](#). [Tab.M11.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Langenthal-Rickenzopfen zusammen, und [Tab.M11.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

M11.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit K4 (mittleres Molassehügelland mit teilweiser glazialer Überformung; Mulden, Akkumulationsrinnen). 5 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 0.04 % der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

M11.1.3 Besonderheiten am Profilort

Das Profil Rickenzopfen ist eines von drei Bodenprofilen der Toposequenz Langenthal (Richard und Lüscher 1983). Die Toposequenz besteht aus den Lokalformen Riedhof, Ober-Rickenzopfen und Unter-Rickenzopfen. Das Profil Rickenzopfen repräsentiert die Muldenlage der Toposequenz, entspricht also der Lokalform Unter-Rickenzopfen.

M11.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.M11.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die Streu stammt vor allem von der Tanne und der Fichte aus der Baumschicht, wobei auch die Kraut- und Zwergstrauchschicht einen nicht vernachlässigbaren Streuanteil liefert. An der Bodenoberfläche liegt eine 13 cm mächtige organische Auflage mit einem Fermentations- und einem Humusstoffhorizont. Mit der Horizontfolge L-F-H-AE-ES wird die Humusform als Feuchtrohhumus klassiert.

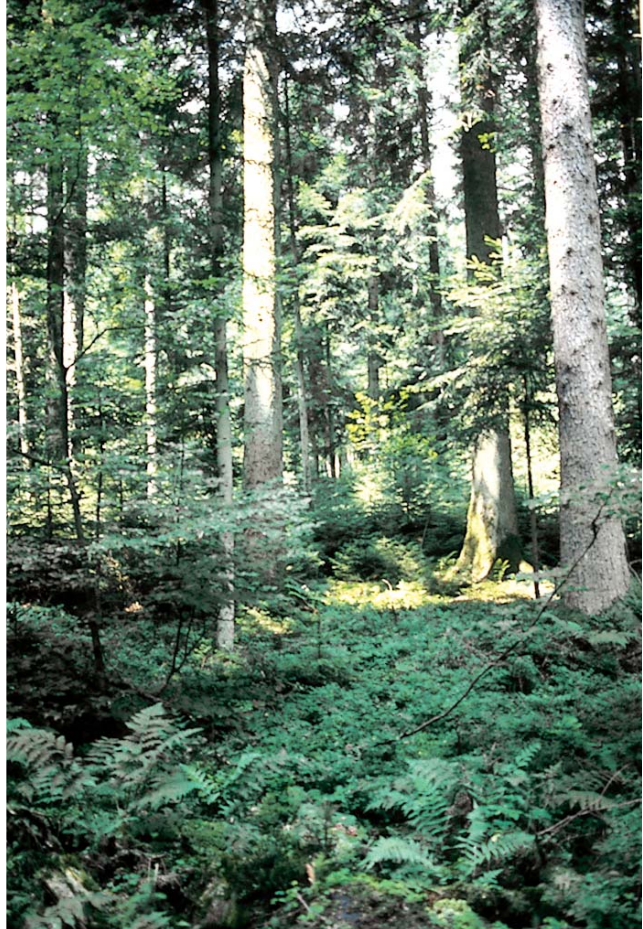


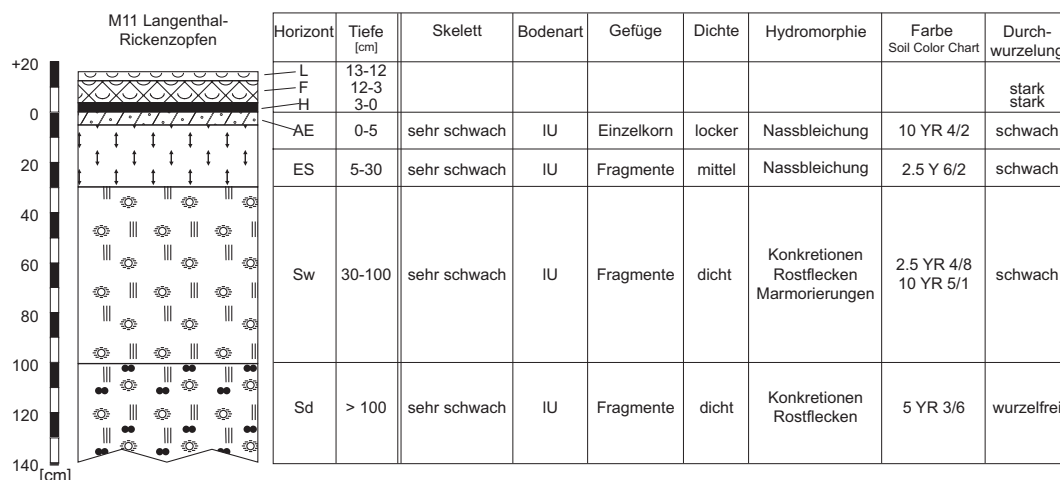
Abb. M11.1 (links) Bodenprofil Langenthal-Rickenzopfen

Abb. M11.2 (rechts) Bestand am Profilort Langenthal-Rickenzopfen

Tab. M11.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Langenthal-Rickenzopfen	
Lokalname	Unter-Rickenzopfen (Kanton Bern, Gemeinde Langenthal)
Lokalform	17, Band 3 (Richard und Lüscher 1983)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1128, Langenthal Koordinaten 629520/229500
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 46: Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald (<i>Bazzanio-Abietetum</i>)
Horizontfolge	L-F-H-AE-ES-Sw-Sd
Humusform	Feuchtrohhumus
Bodentyp	Stagnogley
Bodentyp (FAO 1988)	Dystric (Humic) Gleysol

Tab. M11.2	Bodenbildungsfaktoren am Profilort Langenthal-Rickenzopfen		
Relief	Höhe ü. M.	490 m	
	Exposition	unbestimmt	
	Neigung	3%	
	Geländeform	Ebene	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; Grundmoräne des Rhonegletschers aus der Risseiszeit	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr. 29: Moräneablagerungen (grobklastisch) physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein: sehr niedrig–mittel	
Klima	T/N Jahresmittel	9.1°C/1181 mm	
	T/N Januarmittel	–0.2°C/84 mm	
	T/N Julimittel	19.2°C/100 mm	
	Tage mit Schneedecke	40	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200–205 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (35–40 m Höhe)	75%	50–75% Weiss-Tanne (<i>Abies alba</i>) 5–25% Fichte (<i>Picea abies</i>)
	Strauchschicht	25%	–
	Krautschicht	20%	Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) Gemeiner Sauerklee (<i>Oxalis acetosella</i>) Breiter Wurmfarf (<i>Dryopteris dilatata</i>)
	Moosschicht	100%	–

Tab. M11.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Langenthal-Rickenzopf
Bodenart: IU Schluff-Lehm



Der 1.4 m tief aufgeschlossene Mineralboden lässt sich aufgrund der morphologischen Merkmale in vier Horizonte gliedern. Farblich ist das Profil aufgrund der Vernässungsdynamik recht deutlich differenziert. Unmittelbar unter der organischen Auflage sind die nassgebleichten obersten 30 cm der Mineralerde an ihrer gräulichen Farbe gut erkennbar. In 30–100 cm Tiefe erscheinen neben gräulichen, nassgebleichten Zonen auch grosse rostfarbene Bereiche, in denen zudem punktförmige Konkretionen sichtbar sind. Ab 100 cm Tiefe ist die Feinerde dann rötlich braun, wobei Rost und Konkretionen farbbestimmend sind. Der Boden enthält kaum Skelett und die Feinerde ist schluff- und sandreich. Das Gefüge ist nicht deutlich ausgebildet, indem die Fragmentstruktur dominiert. Die stark nassgebleichten oberen Bodenschichten haben eine geringe bis mittlere Dichte. Ab 30 cm Tiefe nimmt die Dichte zu, der Boden ist aber vor allem ab 100 cm Tiefe dicht gelagert. Wurzeln wurden im Profil bis 100 cm Tiefe beobachtet.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wird die Horizontfolge L-F-H-AE-ES-Sw-Sd vergeben und der Boden als Stagnogley klassiert. In Bezug auf den Vernässungsgrad gilt der Stagnogley als sehr stark pseudovergleyt. Die Vernässung und die Nassbleichung erfolgen durch Stauwasser.

Ergänzende Bodenmerkmale

Das Ausgangsgestein ist in 140 cm Tiefe noch nicht erreicht. Wir gehen davon aus, dass es karbonathaltig ist. Wie tief die Kalkgrenze liegt, wissen wir nicht. Die Feinerde ist gemäss pH-Hellige im ganzen Profil sehr sauer. Aufgrund der intensiven Vernässung muss angenommen werden, dass der Boden nicht von allen Baumarten tief durchwurzelt werden kann. Das Profil wurde am 19. 6. 1975 ausgehoben. Damals lag der Wasserspiegel des Stauwassers in 160 cm Tiefe.

M11.2.1 **Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte**

Skelettgehalt

Alle Horizonte dieses stark vernässten Bodens sind nahezu skelettfrei (Abb. M11.3). Der geringe Skelettgehalt dürfte nicht nur geologisch, sondern auch durch den hohen Verwitterungsgrad des Bodens bedingt sein.

Bodenart

In allen Horizonten überwiegt der Schluffanteil deutlich, es ist aber auch reichlich Sand und Ton vorhanden (Abb. M11.4). Die Anteile der einzelnen Korngrössenklassen sind über das gesamte Profil hinweg relativ konstant. Gemessen am Tonanteil handelt es sich profilumfassend um mittelschweren Boden. Die im Labor bestimmte Bodenart stimmt in allen Horizonten gut mit jener überein, welche mittels Feldmethode an der Profilwand geschätzt wurde (Tab. M11.3).

Bodendichte

In diesem Profil wurde ausnahmsweise die Boden-Dichte anstelle der Feinerde-Dichte gemessen. Da der Boden kaum Skelett enthält, entspricht die Boden-Dichte der Feinerde-Dichte. Die Dichte ist im humosen AE-Horizont äusserst gering, nimmt dann mit der Tiefe deutlich zu und erreicht in 100 cm Tiefe mit 1.63 g/cm^3 einen maximalen Wert (Abb. M11.5). Der als mittel bis hoch zu bezeichnende Dichtewert im Sd-Horizont ist wahrscheinlich zum Teil geologisch bedingt, denn beim Ausgangsgestein handelt es sich um eine Riss-Grundmoräne.

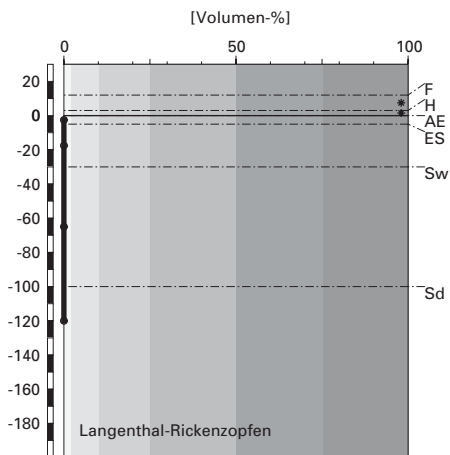
Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Gemäss Abb. M11.6 ist nur gerade der AE-Horizont hoch durchlässig, während alle übrigen Horizonte eine mittlere Durchlässigkeit haben. In diesem Bodenprofil haben Labormessungen von Richard und Lüscher (1983) ergeben, dass die von uns geschätzte und in Abb. M11.6 dargestellte Leitfähigkeit im Sd-Horizont zu gross ist. Aufgrund der Messwerte gehen wir davon aus, dass die Leitfähigkeit im Sd-Horizont gering ist.

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Speicherkapazität des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser wird bis 120 cm Tiefe mit 302 l/m^2 als äusserst hoch klassiert (Abb. M11.7). Der geringe Skelettgehalt und der hohe Schluffanteil wirken sich positiv auf die Speicherleistung aus.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

>75	extrem stark
50-75	sehr stark
25-50	stark
10-25	mittel
2-10	schwach
<2	sehr schwach

Bodenart

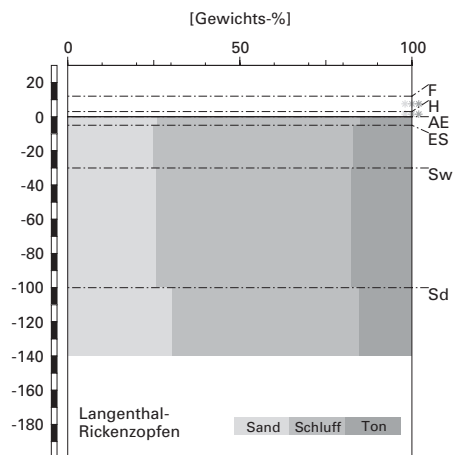


Abb. M11.3 (links) Skelettgehalt

Abb. M11.4 (rechts) Bodenart

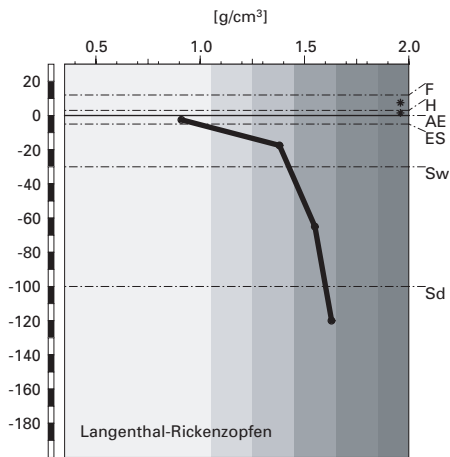
M11.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Anzeichen für den extremen Luft- und Wasserhaushalt dieses Stagnogleys sind Vernässungsmerkmale, die bis an die Oberfläche des Mineralbodens vorkommen sowie die stark ausgeprägte Nassbleichung. Daraus lässt sich folgern, dass längere gesättigte Phasen mit ungenügender Durchlüftung und entsprechender Sauerstoffarmut auftreten. Die auf morphologischen Kriterien basierende Einschätzung des Luft- und Wasserhaushalts steht etwas im Widerspruch zur Wasserleitfähigkeitskurve, welche im Sd-Horizont eine immerhin mittlere Durchlässigkeit angibt (Abb. M11.6). Wie weiter oben bereits erwähnt wurde, gehen wir aufgrund von Messwerten von einer geringen Wasserleitfähigkeit im Sd-Horizont aus. Die Vernässung mit Stauwasser erfolgt also durch den als Wasserstauer wirkenden Sd-Horizont.

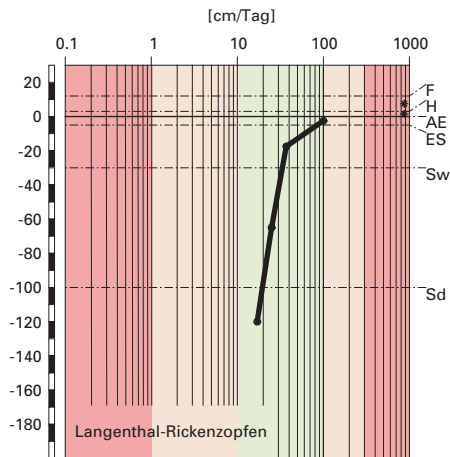
Boden-Dichte



Klassierung Dichte

>1.85	sehr hoch
1.65-1.85	hoch
1.45-1.65	mittel
1.25-1.45	gering
1.05-1.25	sehr gering
<1.05	äusserst gering

gesättigte Wasserleitfähigkeit (k_{sat})



Klassierung k_{sat}

>300	äusserst hoch
100-300	sehr hoch
40-100	hoch
10-40	mittel
1-10	gering
<1	sehr gering

Abb. M11.5 (links) Dichte des Bodens

Abb. M11.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Aufgrund der zeitweise bis an die Bodenoberfläche reichenden, intensiven Vernässung und der damit einher gehenden, ungenügenden Durchlüftung ist die Gründigkeit des Bodens für gewisse Baumarten begrenzt. Empfindliche Baumarten wie beispielsweise die Buche und die Fichte können den Boden nur bis an die Obergrenze des Sd-Horizontes und damit bis rund 100 cm Tiefe durchwurzeln. Weniger empfindliche Baumarten wie die Tanne, die Waldföhre oder die Eiche vermögen dagegen auch den Sd-Horizont zu erschliessen.

Obwohl der Wurzelraum für empfindliche Baumarten nur 100 cm mächtig ist, dürften die toleranten Baumarten den Boden bis mindestens 120 cm Tiefe durchwurzeln. Der Boden wird damit als sehr tiefgründig klassiert. Der Wurzelraum wird vom aktuellen Mischbestand aus Tannen und Fichten nicht vollständig genutzt, denn Wurzeln wurden lediglich bis 100 cm Tiefe beobachtet.

pflanzenverfügbares Wasser

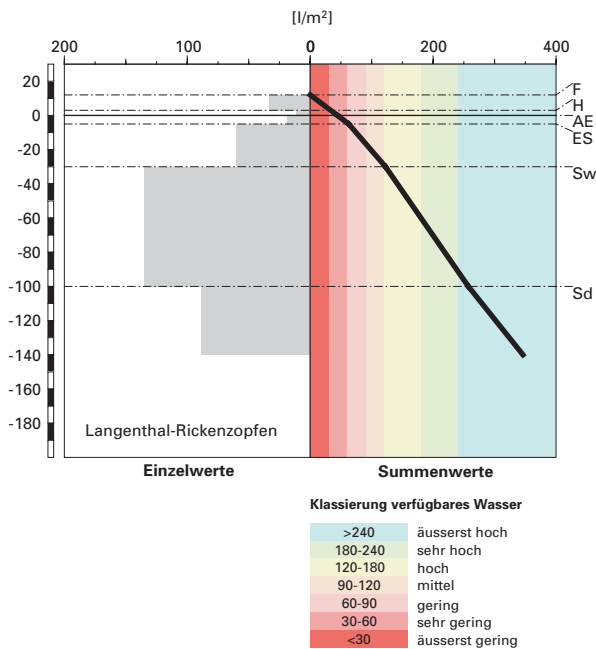


Abb. M11.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Die Durchwurzelbarkeit ist ab 30 cm Tiefe nicht nur durch temporäre Sauerstoffarmut, sondern auch durch die relativ grosse Dichte eingeschränkt, denn der als kritisch erachtete Wert von 1.4 g/cm^3 wird dort mit $1.55\text{--}1.63 \text{ g/cm}^3$ überschritten (Abb. M11.5).

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm kann gemäss unseren Berechnungen davon ausgegangen werden, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 40 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da nicht nur das Wasserspeichervermögen des Bodens, sondern auch das Klima günstig ist, wird das Risiko für Trockenstress an diesem natürlichen Nadelwaldstandort (E & K 46) als klein bewertet. Für die ausschliesslich in den oberen Horizonten wurzelnden Baumarten wie Buche und Fichte ist das Risiko etwas grösser als für die Tiefwurzler.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis in grosse Tiefen nahezu skelettfrei ist und zudem viel Schluff enthält. Im Winter ist das Befahren aus bodenphysikalischer Sicht fast immer problematisch, weil dieser Boden dann oft bis nahe an die Bodenoberfläche mit Wasser gesättigt ist und höchstens oberflächlich gefriert. Beim Befahren werden zudem die in der organischen Auflage in grosser Zahl wachsenden Wurzeln beschädigt.

M11.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

M11.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Am Profilort Rickenzopfen bilden Tannen und Fichten die Baumschicht. Diese hat einen Deckungsgrad von 75%. Zusätzlich zu einer spärlichen Strauchschicht gedeihen in der Krautschicht mit einem Deckungsgrad von 20% Heidelbeere, gemeiner Sauerklee und breiter Wurmfarne. Zudem kommt auf der ganzen Fläche eine üppige Moosschicht vor. Die Streu ist insgesamt schlecht abbaubar und es hat sich unter der Streuschicht ein 9 cm dicker F- und ein 3 cm mächtiger H-Horizont gebildet.

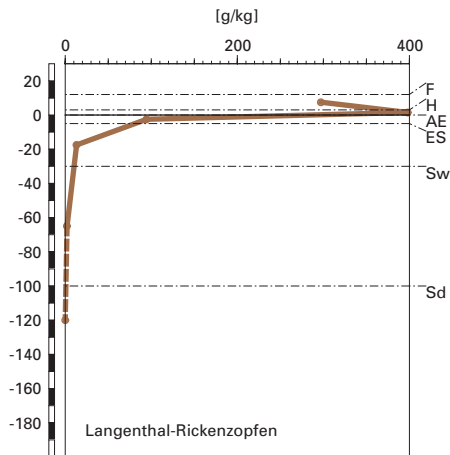
Entsprechend ihrer vorwiegend organischen Zusammensetzung haben der F- und der H-Horizont einen Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) von rund 30% bzw. 40% (Abb. M11.8). Im Mineralboden herrschen graue bis gelb braune Farbtöne vor, was auf einen nicht allzu grossen C_{org} -Gehalt schliessen lässt. Nur der AE-Horizont hat mit 9.5% einen mittleren C_{org} -Gehalt. Im ES- bzw. Sw-Horizont nimmt dieser auf rund 1 bzw. 0.2% ab und im Sd-Horizont ist kein organischer Kohlenstoff mehr bestimmbar. Aus den C_{org} -Gehalten ergibt sich ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 179 t/ha (Abb. M11.9), wobei für die Berechnung des Vorrates im F- und H-Horizont jeweils eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen wurde.

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt ist im ganzen Boden mehr oder weniger konstant (Abb. M11.4). Er schwankt zwischen 15% und 18%.

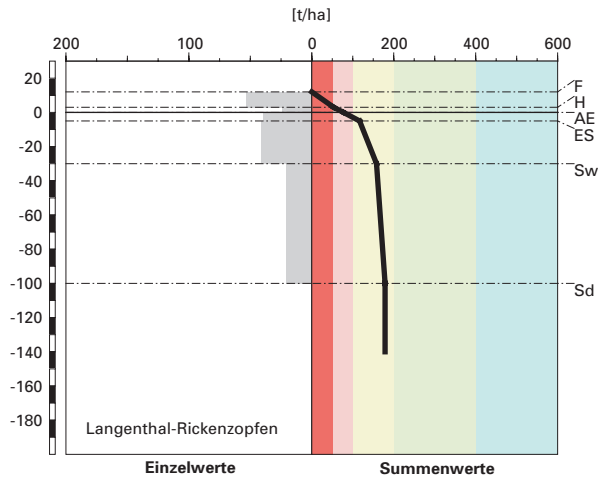
Der Dithionit- (Fe_d) und der Oxalat-extrahierbare Eisengehalt (Fe_o) sind über die Profiltiefe ähnlich verteilt. Der grösste Gehalt befindet sich im Sw-Horizont. In den höher und tiefer gelegenen Horizonten nimmt der Gehalt ab (Abb. M11.10). Der Oxalat-extrahierbare Aluminiumgehalt (Al_o) sowie die

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

>400	sehr hoch
200-400	hoch
100-200	mittel
50-100	gering
<50	sehr gering

Abb. M11.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. M11.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- (Al_p) und Eisengehalte (Fe_p) sind im AE-Horizont am grössten. Vom AE- in den ES-Horizont ist bei allen eine markante Abnahme zu beobachten. Unterhalb 30 cm Tiefe ist die Abnahme nur noch gering (Abb. M11.10 und M11.11). Auch die Verhältnisse verlaufen ähnlich (Abb. M11.12). Die grössten Verhältnisse sind im AE-Horizont zu finden. Mit der Profiltiefe erfolgt zuerst eine markante Abnahme in den ES-Horizont. Tiefer im Profil ist die Abnahme geringer. Das Al_p/Al_o -Verhältnis kann im Sd-Horizont nicht berechnet werden, da Al_p in diesem Horizont nicht bestimmbar ist.

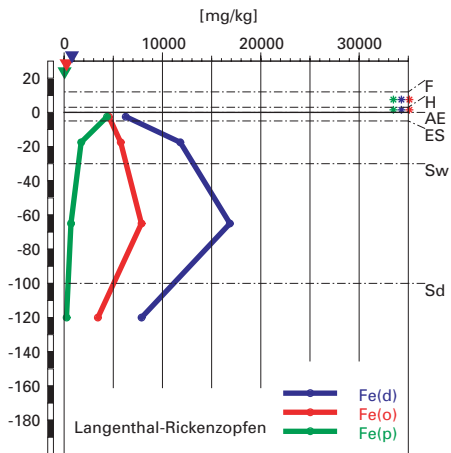
M11.3.2

Bodenkundliche Interpretation

Die vor allem von der Tanne, der Fichte und von Moosen stammende Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt. Es haben sich ein 9 cm dicker F- und ein 3 cm mächtiger H-Horizont gebildet. Die Humusform mit der Horizontfolge L-F-H-AE-ES wird als Feuchtrohhumus klassiert. Die

Eisen-Oxide

(Gehalte)



Aluminium-Oxide

(Gehalte)

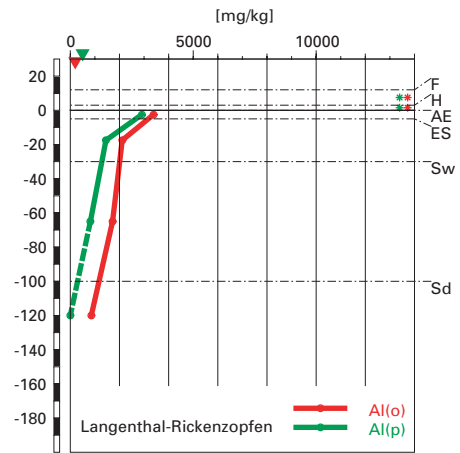


Abb. M11.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. M11.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

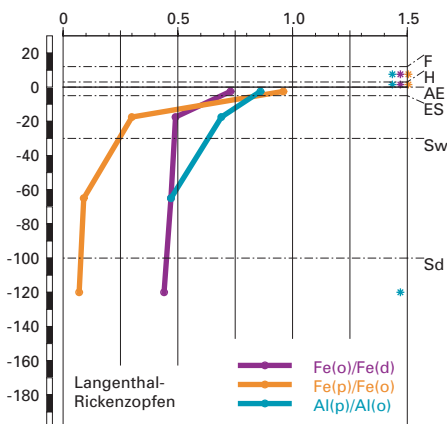


Abb. M11.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

starke Verzögerung im Streuabbau ist durch die Streuqualität, die sehr stark sauren pH-Verhältnisse und die oft bis an die Bodenoberfläche reichende Vernässung verursacht. Die Streu von Fichte und Tanne enthält viele phenolische Substanzen und ist schlecht abbaubar. Die schlechte Streuqualität drückt sich in einem mässig weiten C/N-Verhältnis von 22 bzw. 23 im F- bzw. H-Horizont aus. Dies wird durch das mässig weite bzw. weite C/P-Verhältnis von 613 bzw. 900 im F- bzw. H-Horizont bestätigt. Das mässig weite C/N-Verhältnis in der organischen Auflage ist mit einer niedrigen Mineralisierung der organischen Substanz verbunden. Das deckt sich mit unserer Abschätzung der Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen. In der sehr stark sauren Feinerde sind die Pilze stärker vertreten als die Bakterien. Im Gegensatz zu den Bakterien bauen die Pilze die organische Substanz nicht vollständig ab. Zudem ist die biologische Aktivität nicht nur aufgrund des pH-Wertes niedrig, sondern auch in Folge der starken Vernässung.

Beim unvollständigen Abbau fallen organische Säuren an und aus den Abbauprodukten wird Humus gebildet. Diese Humusstoffe gehen Verbindungen mit Aluminium und Eisen ein und werden so vor weiterem Abbau geschützt. Da der Boden im regionalen Vergleich sehr grosse Al_o - und Fe_o -Gehalte hat, ist ein grosses Potential für diese Humusstabilisierung vorhanden. Dies erklärt den im gesamtschweizerischen Vergleich mittleren Vorrat an organischem Kohlenstoff von 179 t/ha ([Abb. M11.9](#)).

Das Stauwasser, welches zeitweise sehr hoch ansteht und die organische Auflage erreicht, löst organische Säuren, die in Folge des unvollständigen Streuabbaus anfallen, und verlagert diese beim Versickern in tiefer gelegene Horizonte. Dabei wird auch Aluminium und Eisen in organisch komplexierter Form verlagert. Zusätzlich wird Aluminium und Eisen in gelöster anorganischer Form verlagert, da der pH-Wert bis in den Sw-Horizont 3.8 oder weniger beträgt. Bei Eisen ist ein weiterer Transportmechanismus möglich, da es im Gegensatz zu Aluminium redoxsensitiv ist. Bei Vernässung und entsprechend sinkendem Redoxpotential wird Eisen reduziert und in die besser lösliche zweiwertige Form überführt. Dadurch wird seine Mobilität grösser. Den reduktiven Lösungsprozessen sind auch kristalline Eisenverbindungen unterworfen, weshalb das Fe_o/Fe_d -Verhältnis bis in grosse Tiefen mit rund 0.5 relativ gross ist ([Abb. M11.12](#)). Die Verlagerung von Eisen ist an den Maxima von Fe_o und Fe_d im Sw-Horizont ersichtlich, wobei der Verlagerungsindex für Fe_o rund 1.7 beträgt. Das Maximum befindet sich im Sw-Horizont, weil der pH-Wert im Sd-Horizont 4.3 beträgt. Eine Verlagerung von Eisen in oxidierte gelöste anorganische Form ist damit nur bis 100 cm Tiefe, also bis an die Obergrenze des Sd-Horizontes möglich.

Beim Oxalat-extrahierbaren Aluminium ist kein Maximum im Unterboden erkennbar, da die pH-Verhältnisse im gesamten aufgeschlossenen Boden eine Lösung und Verlagerung von Aluminium in anorganischer wie auch organisch komplexierter Form zulassen. Vermutlich wird Aluminium durch lateralen Fluss oder durch Sickerwasser aus dem erschlossenen Boden ausgewaschen.

Die Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte folgen der Tiefenverteilung des organischen Kohlenstoffes. Das Fe_p/Fe_o -Verhältnis von rund 1 zeigt, dass im Oberboden alle amorphen Eisenverbindungen mit der organischen Substanz assoziiert sind. Mit der Tiefe nimmt dieser Anteil rasch ab und beträgt im Sd-Horizont nur noch 7%. Bei Aluminium sind diese Anteile mit Ausnahme des AE-Horizontes etwas grösser, weil Al_p durch den dispergierenden Effekt des Pyrophosphat-Extraktes stärker beeinflusst wird als Fe_p .

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als Stagnogley bezeichnet. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese Klassierung. Insbesondere kann die für einen Stagnogley typische Nassbleichung gut nachvollzogen werden. Dabei wird Aluminium und Eisen in organisch komplexierter und gelöster anorganischer Form mit dem fluktuierenden Stauwasser verlagert. Das Maximum von Fe_o befindet sich über dem Sd-Horizont. Im Sd-Horizont sind die Bedingungen für eine grosse Eisenlöslichkeit nicht gegeben.

M11.4 Themenbereich «Säurezustand»

M11.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Die Feinerde ist im ganzen Profil sehr stark bis stark sauer (Abb. M11.13). Der tiefste pH-Wert beträgt 2.5 und befindet sich im F-Horizont. Bis in 30 cm Tiefe nimmt der pH-Wert sprunghaft auf 3.8 und danach bis zur Profilsohle nur noch langsam auf 4.3 zu. Bis in eine Tiefe von 100 cm befindet sich die Feinerde in der Säureklasse 5, im darunter folgenden Sd-Horizont in der Säureklasse 4.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Obwohl am Kationenaustauscher insgesamt die sauren Kationen überwiegen, ist die organische Auflage reich an austauschbaren Nährstoffkationen (Abb. M11.14). Während diese im F-Horizont am Austauscher dominieren,

herrschen bereits im H-Horizont die sauren Kationen vor. In guter Übereinstimmung mit den tiefen pH-Werten erscheinen bis in den AE-Horizont neben dem dominierenden Aluminium auch nennenswerte Mengen von Eisen und Protonen am Kationenaustauscher. Mit zunehmender Tiefe und damit mit zunehmendem Stauwassereinfluss wird der Anteil austauschbarer Nährstoffkationen grösser. Im Sd-Horizont, der durch lang andauernde Vernässungsphasen gekennzeichnet ist, sind die meisten Austauscherplätze mit basischen Kationen, zu etwa gleichen Anteilen mit Magnesium und Kalzium, belegt.

Die Basensättigung ist im F-Horizont mit rund 65% als mässig hoch zu bewerten (Abb. M11.15). Bereits in den obersten Mineralerdehorizonten ist sie aber nur noch gering bis sehr gering. Im Sw-Horizont nimmt sie deutlich zu und im stark vernässten Sd-Horizont ist sie mit über 80% hoch.

M11.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

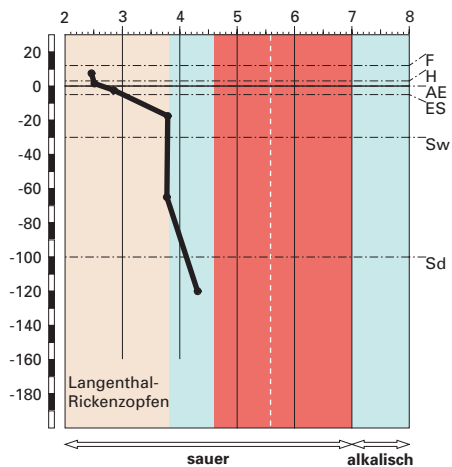
Stand der Bodenversauerung

Die hohe Basensättigung im Sd-Horizont lässt darauf schliessen, dass der nicht aufgeschlossene Untergrund karbonathaltig ist und sich in der Säureklasse 1 befindet. Der Tiefenverlauf des pH-Wertes erstreckt sich damit über fünf Säureklassen, so dass der Boden als sehr stark versauert klassiert wird. Der gesamte aufgeschlossene Teil des Bodens befindet sich in den Säureklassen 4 oder 5, wo die Säuren entweder durch Auflösung von Aluminium-, oder in der Säureklasse 5 zusätzlich durch Auflösung von Eisenverbindungen gepuffert werden. Der Boden ist profilumfassend versauert, denn eine Versauerungsfront kann nicht erkannt werden.

Im stark vernässten Sd-Horizont ist der Anteil basischer Kationen trotz der stark sauren Bedingungen grösser als jener der austauschbaren sauren Kationen. Infolge der lang andauernden Vernässung wird im Sd-Horizont die Auswaschung der in den oberen Profilpartien verdrängten Nährstoffkationen aus dem Boden gehemmt. Zusätzlich kann angenommen werden, dass basische Kationen durch Diffusion aus dem basenreichen Untergrund aufsteigen und im Sd-Horizont am Kationenaustauscher zurückgehalten werden. Obwohl der Boden aufgrund des Tiefenverlaufes des pH-Wertes als sehr stark versauert beurteilt wird, zeigt sich dies an der Belegung des Kationenaustauschers nicht in dem Ausmass, wie in Böden auf nicht karbonathaltigem Gestein. Dies hat, wie später gezeigt wird, positive Wirkungen auf das Pflanzenwachstum.

Die insbesondere in den tieferen Partien des Bodens austauschbar gebundenen Nährstoffe können vermutlich von Baumarten mit tiefgreifendem Wurzelwerk genutzt werden, was aus dem aussergewöhnlichen Basenreichtum der organischen Auflage geschlossen werden kann.

pH-Wert (CaCl₂)



Säureklassen 1-5
Empfindlichkeit für pH-Abnahme

1: >7.0	klein
2: 5.6-7.0	gross
3: 4.6-5.6	gross
4: 3.8-4.6	klein
5: <3.8	mässig

austauschbare Kationen

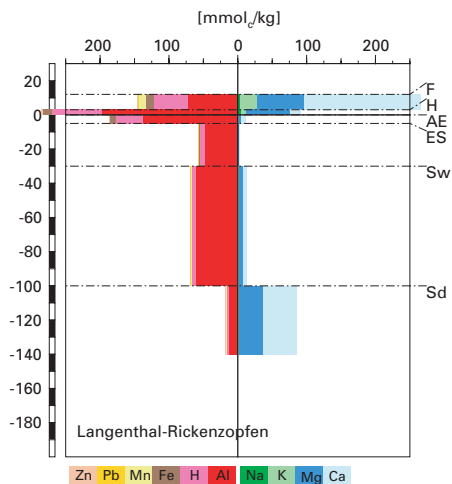
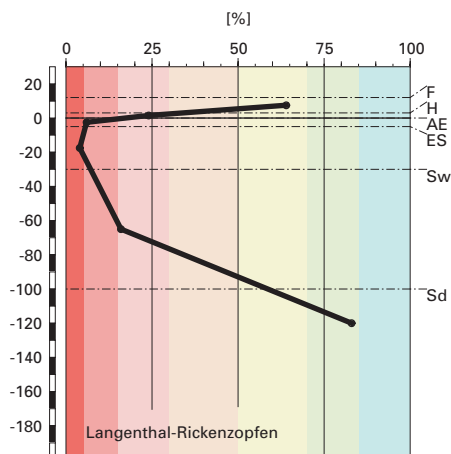


Abb.M11.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb.M11.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Basensättigung



Klassierung Basensättigung

>85	sehr hoch
70-85	hoch
50-70	mässig hoch
30-50	mittel
15-30	mässig
5-15	gering
<5	sehr gering

Abb.M11.15 Basensättigung

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit des Bodens für eine weitere pH-Abnahme wird insgesamt als sehr klein beurteilt, weil sich die Feinerde nirgends in den schwach puffernden Säureklassen 2 oder 3 befindet. Da aber die oberen Horizonte bis zum Übergang in den Sd-Horizont in der nur mässig puffernden Säureklasse 5 liegen, besteht hier ein erhöhtes Risiko für eine weitere pH-Abnahme, umso mehr als die sehr stark saure organische Auflage eine permanente Säurequelle bildet, aus der starke Säuren in den Mineralboden eingewaschen werden.

Das Risiko für das Pflanzenwachstum durch Al-Toxizität beeinträchtigt zu werden ist klein, denn das BC/Al-Verhältnisses liegt nur in knapp 20% der Feinerde unter dem kritischen Grenzwert von 0.2. Die kritische Zone befindet sich in den obersten 30 cm des Bodens. Allerdings ist zu beachten, dass im 70 cm mächtigen Sw-Horizont das BC/Al-Verhältnis nur wenig mehr als 0.2 beträgt. Bei einer weiteren pH-Abnahme, mit der in diesem Horizont gerechnet werden muss, nimmt das Risiko für das Pflanzenwachstum deshalb zu. Im basenreichen, staunassen Sd-Horizont werden jedoch auch in Zukunft Bedingungen vorherrschen, welche es den Pflanzen ermöglichen, die ungünstigen Wachstumsverhältnisse in den oberen Bodenpartien teilweise zu kompensieren.

M11.5 Themenbereich «Schwermetalle»

M11.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

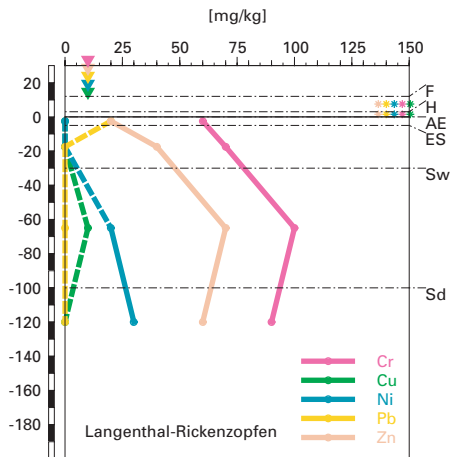
Mit Ausnahme von Pb zeigen in diesem Boden alle Schwermetalle eine ähnliche Tiefenverteilung (Abb. M11.16). Vom Minimum im AE-Horizont nehmen die Gehalte an Cr, Ni, Zn und Cu bis zum Sw-Horizont zu, wo sie mit Ausnahme vom Ni-Gehalt ihr Maximum erreichen und darunter wieder etwas zurückgehen. Der Ni-Gehalt hingegen nimmt im Sd-Horizont nochmals etwas zu. Blei ist nur gerade im AE-Horizont nachweisbar.

M11.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Rissmoräne liegen der Cu- und Pb-Gehalt im Sd-Horizont unterhalb, der Ni- und Zn-Gehalt innerhalb und der Cr-Gehalt oberhalb typischer Wertebereiche. Da für Moräne (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch

Cr, Cu, Ni, Pb, Zn

(effektive Totalgehalte)



Cr, Cu, Ni, Pb, Zn

(HNO₃-extrahierbare Gehalte)

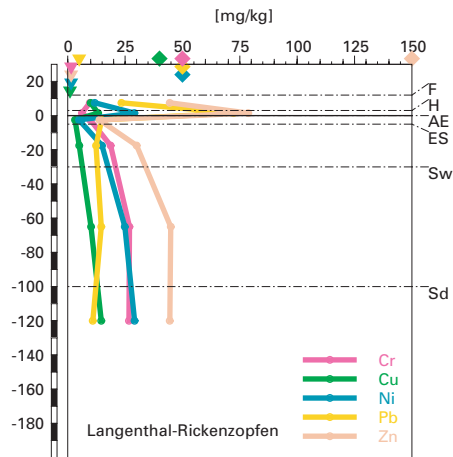


Abb.M11.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb.M11.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 24, Glaziallehme und -tone) für die Beurteilung beigezogen. Im Vergleich zu den Angaben für das Gebiet Mittelland sind der Ni-, Cu- und Pb-Gehalt sehr niedrig bis niedrig, der Zn-Gehalt erhöht und der Cr-Gehalt hoch.

Anmerkung: Weil das Ausgangsgestein, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht aufgeschlossen werden konnte, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im Sd-Horizont beigezogen. Da bei den stark sauren Verhältnissen in diesem Horizont eine Auswaschung von Schwermetallen in den Untergrund nicht auszuschliessen ist, dürften die auf dem Sd-Horizont basierenden Beurteilungen eher zu tief sein.

M11.5.3

Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den F-, H- und AE-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb.M11.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm³; Tab. A91 in Zimmermann et al. 2006) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg; Abb.M11.17), da die Dichte kleiner ist als 1 g/cm³. Mangels Messwerten wurde für die organischen Auflage-Horizonte jeweils eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen.

Die Konzentrationen aller Schwermetalle sind in den obersten drei Horizonten bezogen auf die VBBo sehr niedrig. Der Cr-Gehalt im ES-Horizont ist niedrig, darunter erhöht (Abb.M11.17). Der Ni-Gehalt ist im ES-Horizont sehr niedrig, im Sw-Horizont niedrig und im Sd-Horizont erhöht. Die Gehalte an Cu, Zn und Pb sind in den drei unteren Horizonten sehr niedrig bis niedrig. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

M11.5.4 Anreicherungsfaktoren

Weil das Ausgangsgestein, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht aufgeschlossen werden konnte, wurden die Anreicherungsfaktoren relativ zu den Gehalten im Sd-Horizont berechnet. Da bei den stark sauren Verhältnissen in diesem Horizont eine Auswaschung von Schwermetallen in den Untergrund nicht auszuschliessen ist, können keine Aussagen über An- oder Abreicherung gegenüber dem Ausgangsgestein gemacht werden.

Der obere Teil dieses Bodens ist durch Verarmung an Cr, Ni und Zn gekennzeichnet (Tab.M11.4). Im Sw-Horizont sind Cr und Zn etwas angereichert und Ni etwas abgereichert. Die Auswaschung aus den oberen beiden Horizonten kann mit den sehr stark sauren Verhältnissen (Abb.M11.13) sowie der Mobilisierung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen in wassergesättigten Phasen (Nassbleichung) erklärt werden. Da dieser Boden als Humusform einen Rohhumus hat, dürfte dabei auch der Transport mit gelöster organischer Substanz eine gewisse Rolle spielen. Der Grund für die leichte Anreicherung von Cr und Zn im Sw-Horizont lässt sich mit den vorhandenen Daten nicht eruieren. Bei Nickel gehen wir wegen der profilumfassenden Abreicherung und der stark sauren Verhältnisse im Sd-Horizont davon aus, dass dieses in den Untergrund ausgewaschen wurde. Die Tiefenverteilungen von Cu (Abb.M11.16 und M11.17) legen nahe, dass für dieses Schwermetall ähnliche Aussagen gelten wie für Ni. Die erhöhten Salpetersäure-extrahierbaren Pb-Gehalte in

Tab. M11.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
AE	0– 5	0.75	n.b.	<0.38	n.b.	0.38
ES	5– 30	0.67	n.b.	<0.29	n.b.	0.57
Sw	30–100	1.21	n.b.	0.73	n.b.	1.27
Sd	> 100	1.00	n.b.	1.00	n.b.	1.00

der organischen Auflage sind ein deutlicher Hinweis auf anthropogenen Eintrag (Abb. M11.17). Hingegen dürften die in der Auflage erhöhten Salpetersäure-extrahierbaren Ni-, Cu- und Zn-Gehalte auf Rückführung dieser Mikronährstoffe mit der Streu in den Oberboden zurückzuführen sein (Abb. M11.17). Dass die Ni-, Cu-, Zn- und Pb-Gehalte im F-Horizont viel kleiner sind als im H-Horizont, kann damit erklärt werden, dass die Schwermetalle sich im H-Horizont an reichern, der als Sammelgefäß für alle schlecht abbaubaren Substanzen aus dem F-Horizont angesehen werden kann. Bei Pb könnte auch der aktuell verringerte atmosphärische Eintrag für den kleineren Gehalt im F-Horizont verantwortlich sein.

M11.5.5 Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Dieser Boden ist profilumfassend stark bis sehr stark sauer (Abb. M11.13). Im Einklang damit wird die Mobilität von Ni und Zn als gross bis sehr gross, diejenige von Cr und Cu als mittel bis gross und diejenige von Pb als gering bis mittel geschätzt (Abb. M11.18). Dies, obwohl in der organischen Auflage, im AE- und im ES-Horizont der grosse Humusgehalt (Abb. M11.8) für eine Verringerung der Mobilität sorgt. Bei der in Abb. M11.18 dargestellten Mobilitätsschätzung wird allerdings die Mobilisierung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen im ES-Horizont (Nassbleichung) nicht berücksichtigt. Als Konsequenz dürfte die effektive Mobilität der Schwermetalle in diesem Horizont noch grösser sein als geschätzt.

Das Risiko einer Schwermetallauswaschung in den Untergrund wird bei diesem Boden als gross beurteilt. Dafür verantwortlich sind vor allem die stark sauren Verhältnisse im Sd-Horizont. Aufgrund der gemessenen Gehalte ist dieses Risiko vor allem für Cr, Ni und Zn von Bedeutung.

M11.5.6 Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

Im AE- und ES-Horizont liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind.

Schwermetallmobilität

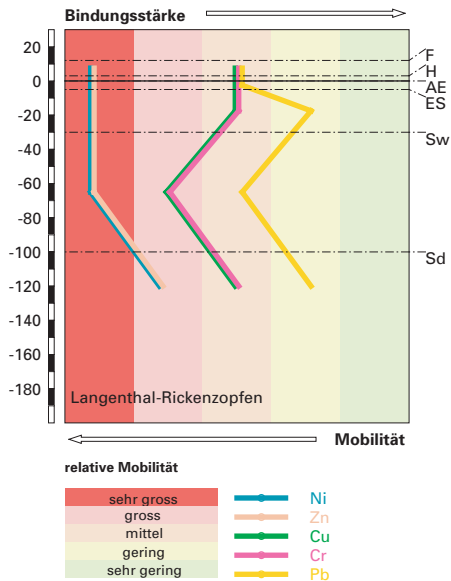


Abb.M11.18 Mobilität der Schwermetalle

M11.6 Themenbereich «Nährstoffe»

M11.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Die Nährstoffverfügbarkeit ist aufgrund der Humusform und des Bodengefüges als stark eingeschränkt zu beurteilen. Es hat sich eine organische Auflage mit einem 9 cm mächtigen F-Horizont und einem 3 cm dicken H-Horizont gebildet und im AE-Horizont ist die Feinerde nicht strukturiert, sondern liegt in Form von Einzelkörnern vor. Der Boden ist sehr stark bis stark sauer, die biologische Aktivität entsprechend stark gehemmt und zudem steht der Oberboden zeitweise unter dem Einfluss von hoch ansteigendem Stauwasser. Somit wird die schlecht abbaubare Streu von Tanne und Fichte nur zu einem kleinen Teil umgesetzt.

Das C/N-Verhältnis beträgt im F- bzw. H-Horizont 22 bzw. 23 und ist damit typisch für einen Moder. Es wird als mässig weit klassiert und ist mit einer niedrigen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Das C/N-Verhältnis ist enger als es der Feuchtrohhumus erwarten liesse. Diese Diskrepanz kann allenfalls durch den Einfluss des schwankenden

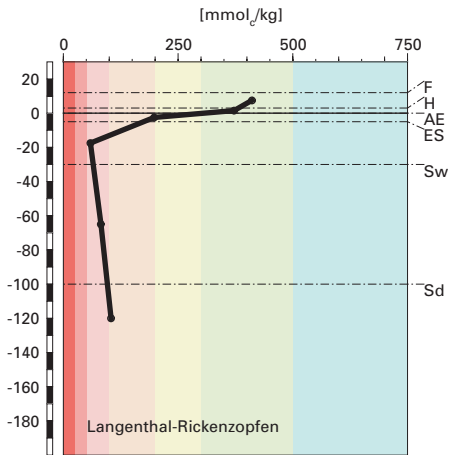
Stauwassers erklärt werden, welches zeitweise bis in die organische Auflage ansteigt. Dadurch kann im Stauwasser gelöstes Aluminium an die organische Substanz binden und diese vor weiterem mikrobiellem Abbau schützen. Da zusätzlich andere Faktoren wie der Säurezustand und die Veräussung die biologische Aktivität hemmen, darf die Nährstoffverfügbarkeit aufgrund des C/N-Verhältnisses nicht besser beurteilt werden als aufgrund der Humusform und des Bodengefüges. Das C/P-Verhältnis von 613 bzw. 900 im F- bzw. H-Horizont wird im Vergleich zum C/N-Verhältnis mit mässig weit bzw. weit etwas ungünstiger klassiert und charakterisiert die stark eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit etwas besser.

M11.6.2 **Nährstoffgehalte**

Die Kationenaustauschkapazität wird in der organischen Auflage als sehr hoch beurteilt (Abb. M11.19). Im Mineralboden ist die KAK im AE- und Sd-Horizont mittel, in den dazwischen liegenden Horizonten gering. Sie ist im ES-Horizont, welcher durch Nassbleichung geprägt ist, am geringsten. Diese Unterschiede können nicht mit dem Tongehalt erklärt werden, da dieser im ganzen Boden mehr oder weniger konstant ist. Sie können aber mit der Oberflächenladung der mineralischen Komponenten der Tonfraktion erklärt werden. Im ES-Horizont geht der Beitrag der organischen Substanz zur Kationenaustauschkapazität stark zurück. Dementsprechend wichtiger wird der Beitrag der Tonminerale und Oxide. Bei den sehr stark sauren pH-Verhältnissen im ES- und Sw-Horizont sind die Oberflächen der Oxide infolge des grossen Protonendruckes verstärkt positiv geladen, wodurch sich die Kationenaustauschkapazität in diesen Horizonten verringert.

Entsprechend der sehr stark bis stark sauren pH-Verhältnisse dominiert mit Ausnahme des F- und Sd-Horizontes im gesamten Profil Aluminium am Austauscher (Abb. M11.20). Im Mineralboden hat es bis 100 cm Tiefe sogar die Nährstoffkationen bereits weitgehend vom Austauscher verdrängt. Im F-Horizont ist die Ca-Belegung bedingt durch den Nährstoffkreislauf mit 41% hoch. Auch Mg und K sind hier in bedeutenden Anteilen am Austauscher vertreten. Im H-Horizont gehen die Anteile der Nährstoffkationen stark zugunsten von Aluminium zurück. In einem rein organischen Horizont ist dies eher ungewöhnlich, da Aluminium kein essentielles Nährelement ist. Durch das periodische Ansteigen des Stauwassers gelangt jedoch gelöstes Al in die organische Auflage und bindet dort an die organische Substanz. Dadurch wird deren Abbaubarkeit verringert, was zu einer Konservierung und entsprechenden Aluminiumanreicherung führt. Im H-Horizont sind sogar die grössten austauschbaren Aluminiumgehalte zu finden (Abb. M11.20).

Kationenaustauschkapazität (KAK)



Klassierung KAK

>500	extrem hoch
300-500	sehr hoch
200-300	hoch
100-200	mittel
50-100	gering
25-50	sehr gering
<25	extrem gering

Austauscherbelegung mit Ca, Mg, K und Al (in % der KAK)

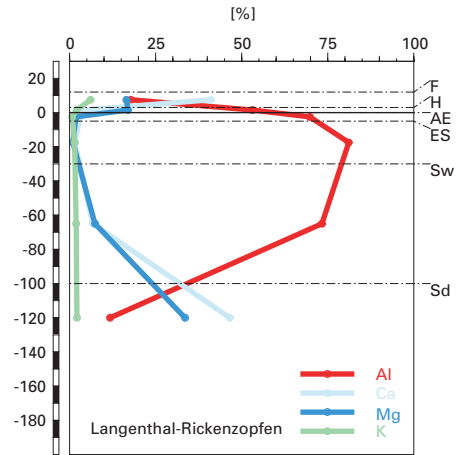


Abb.M11.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb.M11.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Im Sd-Horizont nimmt die Ca-Belegung zu Lasten von Aluminium stark zu. Das deutet darauf hin, dass sich in diesem Horizont der Einfluss der nicht erschlossenen Kalkgrenze bemerkbar macht. Auch die Mg-Belegung steigt in Abhängigkeit der Konkurrenz durch Al und Ca im Sd-Horizont stark an. Die K-Belegung ist im Mineralboden mehr oder weniger konstant.

M11.6.3 Nährstoffvorräte

In den **Abb.M11.21 bis M11.23** sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Der Ca- und Mg-Vorrat nimmt mit der Tiefe bis 100 cm ungleichmässig zu. Die Zunahme ist im ES-Horizont mit der kleinsten KAK am geringsten. Unterhalb 100 cm ist die Zunahme dagegen deutlich stärker. Der K-Vorrat nimmt dagegen über die gesamte Profiltiefe mehr oder weniger gleichmässig zu, nur im ES-Horizont ist eine geringere Zunahme festzustellen. Im

Hauptwurzelraum bis 60 cm Tiefe wird das Angebot an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Ca mittel
Mg mässig hoch
K mässig

Da der Boden bis mindestens 140 cm durchwurzelbar ist, werden die Nährstoffvorräte etwas besser eingeschätzt. Bis 140 cm Tiefe sind der Ca- und K-Vorrat hoch und der Mg-Vorrat sehr hoch. Insgesamt werden die Vorräte der Nährstoffkationen als hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffverfügbarkeit stark vom Wasserhaushalt abhängig ist. Diesbezüglich sind keine Probleme zu erwarten, da an diesem Standort nur ein kleines Risiko für Trockenstress herrscht. Die hohen Vorräte an Nährstoffkationen stehen den Pflanzen somit praktisch uneingeschränkt zur Verfügung. An diesem Standort können tief wurzelnde Baumarten die grossen Vorräte unterhalb 100 cm Tiefe nutzen, während die flach wurzelnden Baumarten mit dem relativ eingeschränkten Angebot bis 100 cm Tiefe leben müssen.

Kalzium-Vorrat

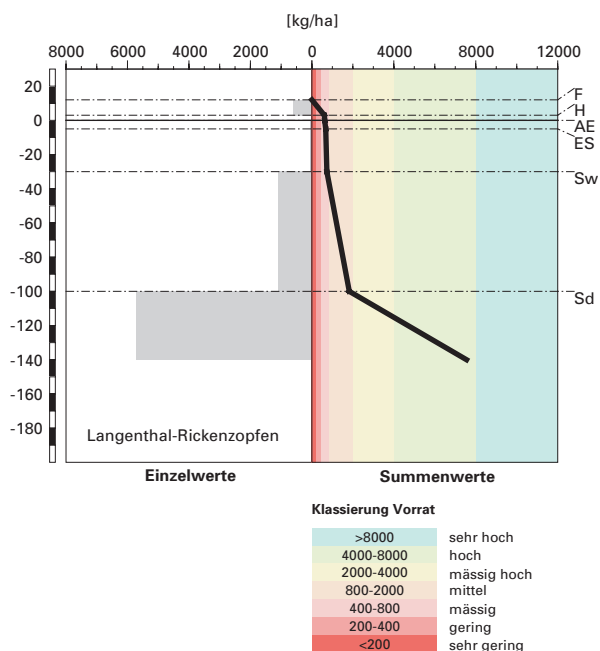


Abb.M11.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

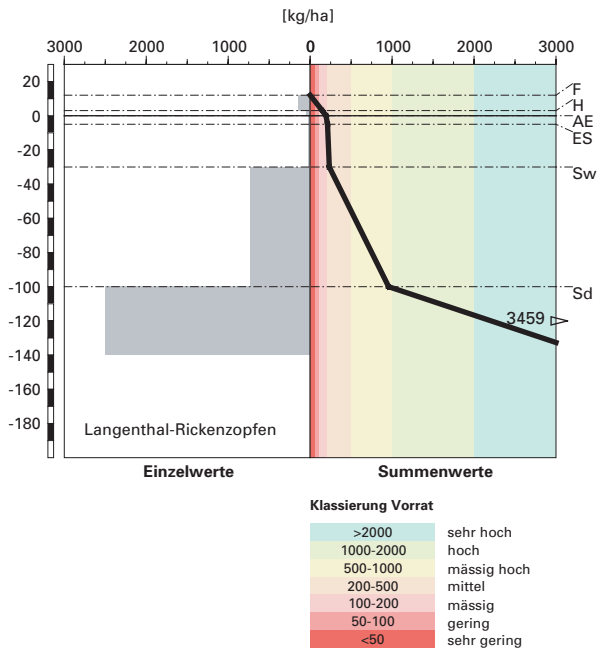


Abb.M11.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

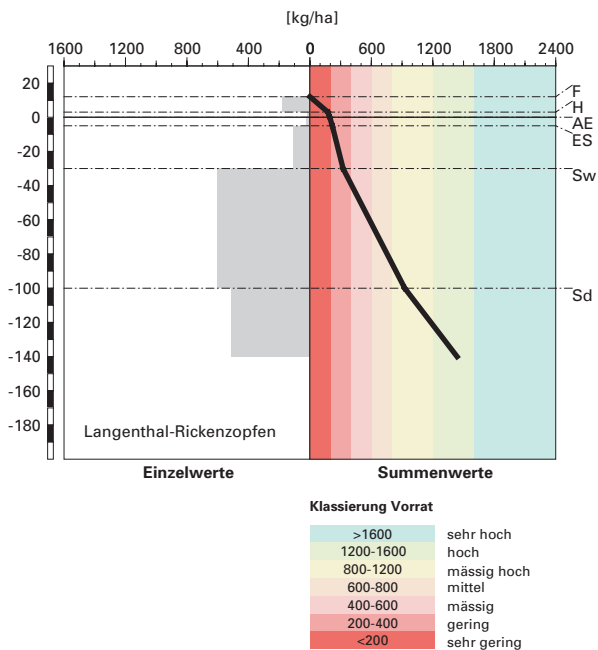


Abb.M11.23 Vorrat an Kalium

M11.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

M11.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. M11.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

M11.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Die Baumartenmischung in diesem Mischbestand aus Tanne und Fichte bewerten wir als recht naturnah. Nach Ott et al. (1997) können an diesem Tannen-Fichten-Standort (Einheit 46) verschiedene Humusformen vorkommen. Häufig sind Moder oder Rohhumus sowie deren hydromorphe Varianten Feuchtmoder oder Feuchtrohumus. Der vorhandene Feuchtrohumus ist demnach standorttypisch.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Das ziemlich milde Klima lässt dem Waldbauer grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl. Trotzdem kommen gemäss BUWAL (2005) an diesem Tannen-Fichten-Standort (Einheit 46) nur die Tanne, die Fichte und die Vogelbeere für den Hauptbestand in Frage, und im Nebenbestand kann die Buche eingebracht werden. Offensichtlich ist die Baumartenauswahl am Profilort Langenthal-Rickenzopfen trotz günstigem Klima durch nachteilige Bodeneigenschaften eingeschränkt, worauf wir gleich anschliessend näher eingehen.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

Dieser stark hydromorph gezeichnete und im Unterboden auch dichte Stagnogley lässt sich nur eingeschränkt durchwurzeln. Dies gilt vor allem für empfindliche Baumarten wie Buche und Fichte, welche an diesem häufig sehr nassen Standort ein oberflächliches Wurzelwerk ausbilden. Wir empfehlen einen genügend grossen Anteil an Baumarten einzubringen, welche diesen temporär vernässten Boden tief durchwurzeln können, wie beispielsweise die Tanne. Ihr tief greifendes Wurzelwerk vermag den Boden umfassend zu nutzen und verbessert die Verankerung des Bestandes.

Tab. M11.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Langenthal-Rickenzopfen)		
Standortangaben		
Relief	Höhe	490 m ü. M.
	Exposition	unbestimmt
	Neigung	3%
Klima	Jahresniederschlag	1181 mm
	Jahrestemperatur	9.1°C
Ausgangsgestein	Grundmoräne des Rhonegletschers aus der Risseiszeit	
Baumbestand	Struktur	stufig
	Schlussgrad	75%
	Baumarten (Deckung)	50–75% Weiss-Tanne, 5–25% Fichte
	Oberhöhe	30–40 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 46: Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 46: Typischer Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Humusform	Feuchtrohhumus
	Bodentyp	Stagnogley
	Vernässungsgrad	sehr stark pseudovergleyt
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist im gesamten Bodenprofil zeitweise ungenügend. Die Vernässung ist durch Stauwasser bedingt.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist aufgrund der zeitweise ungenügenden Durchlüftung in allen Horizonten eingeschränkt durchwurzelbar. Ab 30 cm Tiefe beeinträchtigt zudem die grosse Dichte das Wurzelwachstum. Baumarten, welche empfindlich sind auf Sauerstoffarmut und auf grosse Dichte, können den Boden nur bis 100 cm Tiefe durchwurzeln. Für die weniger empfindlichen Baumarten ist der Wurzelraum mit mehr als 120 cm Mächtigkeit sehr tiefgründig. Wurzeln wurden bis 100 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht für die Tiefwurzler ein kleines und für die oberflächlicher wurzelnden Baumarten ein etwas erhöhtes Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die organische Auflage und die obersten 100 cm des Mineralbodens sind sehr stark sauer. Weiter unten im Profil ist die Feinerde stark sauer. Die Kalkgrenze verläuft unterhalb der Profilsohle, also unterhalb von 140 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	In den obersten 30 cm des Mineralbodens besteht ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie der Feuchtrohhumus weist auch das mässig weite C/N-Verhältnis in der organischen Auflage auf eine gehemmte Mineralisierung hin. Zudem lässt das weite bis mässig weite C/P-Verhältnis in der organischen Auflage eine gehemmte biologische Aktivität erwarten. Diese wird gesamthaft als niedrig klassiert.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind gross. Der Ca- und K-Vorrat sind hoch und der Mg-Vorrat ist sehr hoch.
Verankerung	Die Verankerung der Tiefwurzler wird als gut, jene der oberflächlicher wurzelnden Baumarten als mässig bewertet.	
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.	

- **Entwässerung des Bodens durch die Bäume**

Die Entwässerung dieses häufig vernässten Bodens durch tief wurzelnde Baumarten bewirkt eine Bodenverbesserung.

- **Trockenstress-Risiko für die Bäume**

Dieser häufig vernässte Standort birgt für die tief wurzelnden Baumarten ein höchstens kleines Risiko für Trockenstress, und selbst die Arten mit einem oberflächlicheren Wurzelwerk sind nur unwesentlich mehr gefährdet. Im Boden dürfte für alle Baumarten meist ausreichend Wasser verfügbar sein. Das Trockenstress-Risiko schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

- **Säurezustand und Aluminium-Toxizität**

Die organische Auflage ist sehr stark sauer und der Mineralboden ist selbst in 140 cm Tiefe noch stark sauer. In den obersten 30 cm des Mineralbodens besteht ein Risiko für Al-Toxizität. Eine Verbesserung des Säurezustandes ist erwünscht. Zwar liesse sich der Versauerung mit einer entsprechenden Baumartenwahl entgegenwirken. Da der Feuchtrohhumus jedoch standorttypisch und die Baumartenmischung naturnah sind, würden durch eine derartige Beeinflussung des Systems naturfremde Verhältnisse angestrebt. Im Hinblick auf den Säurezustand des Bodens können sich waldbauliche Eingriffe auf den Erhalt der aktuellen naturnahen Baumartenmischung beschränken.

- **Nährstoffangebot im Boden**

Die Mineralisierung der Nährstoffe im Oberboden ist niedrig, die Nährstoffumsetzung somit gehemmt. Eine Verbesserung der Mineralisierung ist erwünscht. Dies könnte mit geeigneten Baumarten, das heisst Laubhölzern mit gut abbaubarer Streu, angestrebt werden. Da der vorhandene Feuchtrohhumus jedoch standorttypisch und die Baumartenmischung naturnah sind, würde durch diesen waldbaulichen Eingriff auf naturfremde Verhältnisse hingearbeitet. In Bezug auf die Mineralisierung im Oberboden ist es daher ausreichend, die vorhandene naturnahe Baumartenmischung zu erhalten.

Viele Baumarten haben bezüglich Nährstoffversorgung des Bodens eine weite ökologische Amplitude. Das Nährstoffangebot für sich allein betrachtet wird daher an diesem Standort für die meisten Baumarten ausreichend sein. Eine Ausnahme bilden, trotz dem insgesamt grossen Vorrat an Nährstoffkationen, die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Wir gehen davon aus, dass sie aufgrund der relativ nährstoffarmen Zone in 0–30 cm Tiefe und dem damit verbundenen Risiko für Al-Toxizität im Vergleich zu den anspruchsloseren Baumarten zuwenig konkurrenzkräftig sind. Dies dürfte vor allem für die jungen Bäume gelten, während der Zeit, in der sie ausschliesslich die nährstoffarmen, oberen Bodenhorizonte durchwurzeln.

Mit tief wurzelnden Baumarten können die im Unterboden reichlich vorhandenen Nährstoffe in Umlauf gebracht werden, was sich günstig auf den Nährstoff- und Säurezustand auswirkt.

M11.7.3 **Baumartenempfehlung**

Das ziemlich milde Klima lässt grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl zu. Zahlreiche der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien, die zum Teil vom Klima abhängig sind, schränken die Baumartenauswahl jedoch ein. Einschränkende Kriterien sind die Durchwurzelbarkeit, die biologische Entwässerung und der Säurezustand des Bodens, die Mineralisierung im Oberboden und das Angebot an Nährstoffkationen. Die in [Tab. M11.6](#) enthaltene Baumartenempfehlung vom BUWAL (2005) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht müssten an diesem Waldstandort Laubbaumarten gefördert werden, welche den Boden tief durchwurzeln und einen nicht zu hohen Nährstoffbedarf haben. Der saure und periodisch vernässte Boden ist jedoch natürlicherweise von Nadelwald bewachsen, in dem manchmal vereinzelte Buchen oder Eichen beigemischt sind. Unter den natürlich vorkommenden Baumarten können die Tanne und die Eiche die von uns als kritisch erachteten Bodeneigenschaften am besten ertragen. Zudem beeinflussen sie die Bodenqualität positiv. Sie nutzen den temporär vernässten Boden tiefgründig und erhöhen mit ihrem tief verankerten Wurzelwerk die Bestandesstabilität. Ihre tief greifenden Wurzeln bringen die im Unterboden reichlich vorhandenen Nährstoffe in Umlauf und bewirken eine Wasserdrainage mit entsprechender Bodenverbesserung. Ihre nicht allzu schlecht abbaubare Streu fördert die biologische Aktivität im Oberboden, was sich günstig auf den Säurezustand des Bodens und die Verfügbarkeit der Nährstoffe auswirkt.

An diesem Waldstandort kommen natürlicherweise nur wenige Baumarten in der Baumschicht vor. Der Baumartenempfehlung in [Tab. M11.6](#) (BUWAL 2005) wird aus bodenökologischer Sicht nicht widersprochen. Besonders geeignet ist die tief wurzelnde Tanne, währenddem die Fichte

Tab. M11.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 46; BUWAL 2005)	Tanne, Fichte, Vogelbeere
Bodenkundliche Kriterien	Tanne, Fichte, (Vogelbeere)

den Boden vor allem oberflächlich durchwurzelt und damit keine vorteilhaften Auswirkungen auf den Boden und den Bestand hat. Ergänzend zu Tanne und Fichte kann die Stieleiche eingebracht werden. Wer die biologische Aktivität im Oberboden steigern will, wird einen Nebenbestand aus Vogelbeere oder Buche anstreben.

M11.8 Literatur

BUWAL, 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.

Ellenberg, H./ Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Eidgenöss. Forschungsanst. Wald Schnee Landsch. 48, 4: 587–930.

FAO, 1988: FAO/Unesco Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections and updates. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome. Reprinted with updates as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 1997. 140 S.

Ott E./Frehner M./Frey H.-U./Lüscher P., 1997: Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für die standortgerechte Waldbehandlung. Haupt, Bern. 287 S.

Richard, F./Lüscher, P., 1983: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz (Lokalformen). Hrsg. Eidg. Anst. für das forstl. Versuchsw. und Eidg. Techn. Hochschule Zürich, Inst. für Wald- und Holzforschung, Fachbereich Bodenphysik. Band 3.

Tuchschmid, M.P., 1995: Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Umweltmaterialien 32, BUWAL, Bern. 130 S.

Zimmermann, S./Luster, J./Blaser, P./Walthert, L./Lüscher, P., 2006: Waldböden der Schweiz. Band 3. Regionen Mittelland und Voralpen. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag. 848 S.
