

S15 Bodenprofil Laura 3

S15.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

S15.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb.S15.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.S15.2](#). [Tab.S15.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Laura 3 zusammen und [Tab.S15.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

S15.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit V7 (alpine kristalline Berglandschaft, steile Nordhänge, Hangneigung > 35%). 354 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 3.0% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

S15.1.3 Besonderheiten am Profilort

Bei starkem Wind ist an der Bodenoberfläche mit Streuverlagerung zu rechnen. Das Profil liegt rund 10 m östlich eines Waldrandes unterhalb einer Fettwiese. Damit ist es im Einflussbereich der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung.

S15.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.S15.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die Streuschicht besteht überwiegend aus Fichten- und Tannennadeln, vereinzelt aus Buchenblättern. Die Streu wird innerhalb eines Jahres weitgehend zersetzt. Mit der Horizontfolge L-Ah wird die Humusform als Mull klassiert.

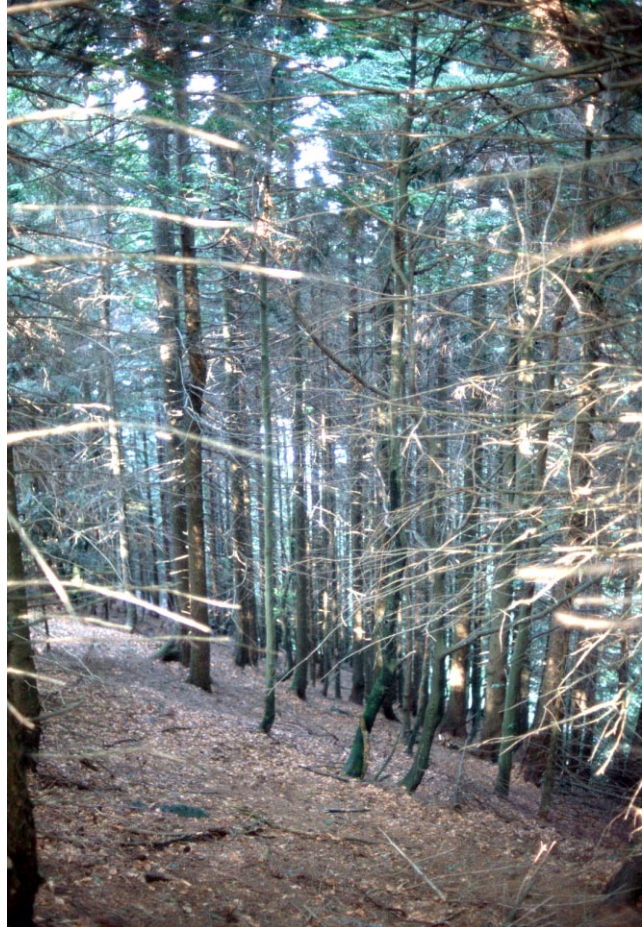


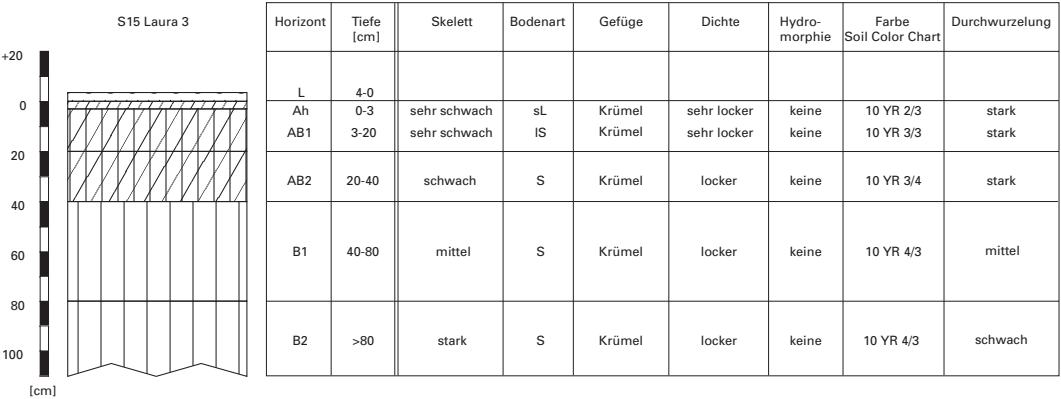
Abb. S15.1 (links) Bodenprofil Laura 3

Abb. S15.2 (rechts) Bestand am Profilort Laura 3

| Tab. S15.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Laura 3 | |
|---|--|
| Lokalname | Laura 3 (Kanton Graubünden, Gemeinde Roveredo) |
| Lage | Landeskarte 1:25 000 Blatt 1314, Passo S. Jorio Koordinaten 728825/119130 |
| Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972) | Nr. 47: Landschilf-Fichten-Tannenwald (<i>Calamagrostio villosae-Abietetum</i>) |
| Horizontfolge | L-Ah-AB1-AB2-B1-B2 |
| Humusform | Mull |
| Bodentyp | Braunerde |
| Bodentyp nach FAO (1988) | Dystric Cambisol |

| Tab. S15.2 | | Bodenbildungsfaktoren am Profilort Laura 3 | |
|-----------------|------------------------------|--|--|
| Relief | Höhe ü. M. | 1390 m | |
| | Exposition | E | |
| | Neigung | 60 % | |
| | Geländeform | Mittelhang | |
| Ausgangsgestein | Tektonik/Geologie | Penninikum, Moräne inkl. rezente Moränen (aus Gneis) | |
| | Lithofazies | Nr. 29: Moräneablagerungen (grobklastisch) | |
| | (nach Tuchschnid 1995) | physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein: | variabel sehr niedrig–mittel |
| Klima | T/N Jahresmittel | 5.4°C/1768 mm | |
| | T/N Januarmittel | –1.6°C/76 mm | |
| | T/N Julimittel | 14.6°C/141 mm | |
| | Tage mit Schneedecke | 157 | |
| | Wärmegliederung | ziemlich rauh | |
| | Länge der Vegetationsperiode | 150–165 Tage | |
| Pflanzen | Schicht | Deckung | häufigste Arten |
| | Baumschicht (25–30 m Höhe) | 90 % | 60 % Fichte (<i>Picea abies</i>) 15 % Weiss-Tanne (<i>Abies alba</i>) |
| | Strauchschicht | 20 % | – |
| | Krautschicht | 10 % | Wolliges Reitgras (<i>Calamagrostis villosa</i>) Wald-Habichtskraut (<i>Hieracium murorum</i>) Gemeiner Sauerklee (<i>Oxalis acetosella</i>) Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) Wald-Hainsimse (<i>Luzula sylvatica</i>) |
| | Moosschicht | 10 % | – |
| | | | |

Tab. S15.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Laura 3
 Bodenart: sL sandiger Lehm, IS lehmiger Sand, S Sand



Der Mineralboden lässt sich aufgrund seiner Morphologie in fünf Horizonte unterteilen. Die obersten 3 cm sind bräunlich schwarz gefärbt und heben sich deutlich vom sonst homogenen, dunkel-braunen bis matt gelblich braunen Erscheinungsbild des Profils ab. Der Skelettgehalt ist bis 20 cm Tiefe sehr schwach und steigt mit zunehmender Profiltiefe bis stark skeletthaltig an. Die Bodenart ist bis 3 cm Tiefe ein sandiger Lehm, von 3 bis 20 cm ein lehmiger Sand und ab 20 cm Tiefe Sand. Der Boden weist durchwegs gut ausgeformte Krümelstrukturen auf, was auf eine hohe biologische Aktivität hinweist. Die Dichte ist bis 20 cm Tiefe sehr locker, darunter bis zur Profilschleife locker. Im ganzen Profil sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Mit der Horizontfolge L-Ah-AB1-AB2-B1-B2 wird der Boden als Braunerde klassiert. Auffälligste Merkmale sind die profilumfassend ausgebildete Krümelstruktur, die lockere Dichte sowie der wenig differenzierende Farbverlauf.

Ergänzende Bodenmerkmale

Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde im ganzen Profil sehr sauer. Im Boden sind keine Hindernisse für das Wurzelwachstum erkennbar. Die Durchwurzelung ist bis 40 cm stark, mittel von 40–80 cm Tiefe und nur noch schwach ab 80 cm.

S15.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

S15.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Skelettgehalt

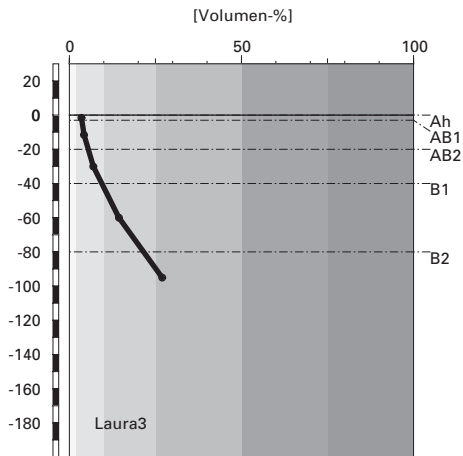
Der Skelettgehalt nimmt vom Oberboden zur Tiefe hin kontinuierlich zu (Abb. S15.3). Die obersten 40 cm sind schwach, der B1-Horizont mittel und der B2-Horizont stark skeletthaltig.

Bodenart

Die Feinerde setzt sich im gesamten Profil überwiegend aus Sand zusammen, Schluff und vor allem Ton sind nur mit kleinen Anteilen vertreten (Abb. S15.4). Der Sand- und Schluffgehalt sind in allen Horizonten bemerkenswert konstant. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich, je nach Horizont, um leichten bis sehr leichten Boden.

Die im Bodenprofil mittels Fingerprobe ermittelte Bodenart stimmt gut mit den Laborwerten überein (Tab. S15.3).

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

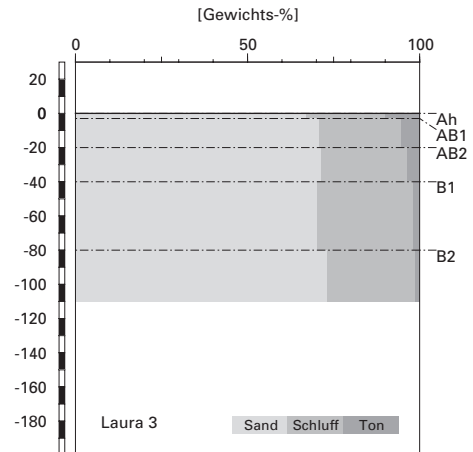


Abb. S15.3 (links) Skelettgehalt

Abb. S15.4 (rechts) Bodenart

Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde ist im gesamten Profil äusserst gering (**Abb. S15.5**).

Damit stimmen die im Labor ermittelten Dichtewerte recht gut mit jenen überein, die an der Profilwand mittels Eindringwiderstand eines Messers erhoben wurden (**Tab. S15.3**).

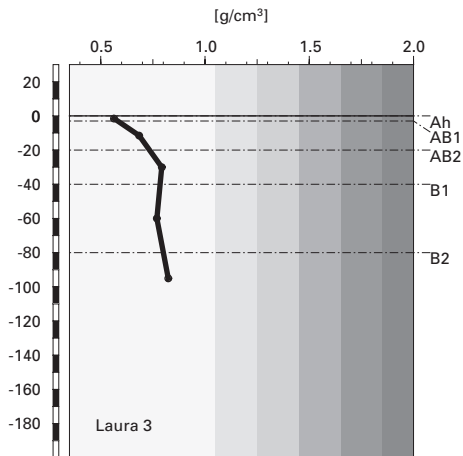
Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Alle Horizonte dieses Bodens sind hoch durchlässig, da sie sehr locker sind (**Abb. S15.6**).

Pflanzenverfügbares Wasser

Der relativ geringe Skelettgehalt wirkt sich positiv auf das Speichervermögen des Bodens aus. Dieses beträgt bis 120 cm Tiefe 251 l/m² und ist damit äusserst hoch (**Abb. S15.7**).

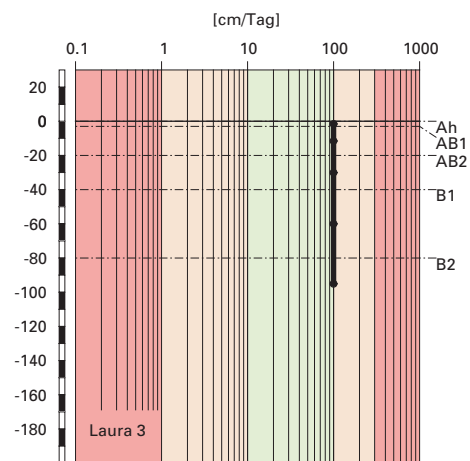
Feinerde-Dichte



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. S15.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. S15.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

S15.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Im Boden wurden keine hydromorphen Merkmale festgestellt, was angesichts der hohen Wasserdurchlässigkeit nicht erstaunt ([Abb. S15.6](#)). Gesättigte Phasen sind, falls sie überhaupt vorkommen, von derart kurzer Dauer, dass sie nicht zu Vernässungsmerkmalen führen.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Alle Baumarten können diesen Boden mindestens profilumfassend durchwurzeln, da die Dichte der Feinerde im ganzen Profil weniger als 1.4 g/cm³ beträgt und die Durchlüftung des Bodens stets ausreichend ist. Die Gründigkeit des Bodens ist nicht eingeschränkt und wird mit >120 cm als sehr tiefgründig bewertet. Der Wurzelraum wird vom aktuellen Bestand, der überwiegend aus Fichten und Tannen besteht, gut genutzt. Wurzeln sind

pflanzenverfügbares Wasser

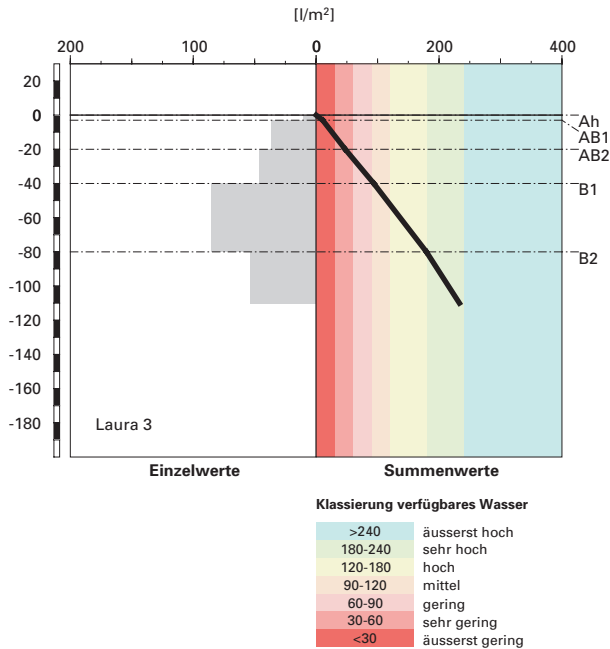


Abb. S15.7 Pflanzenverfügbares Wasser

bis zur Profilsohle (110 cm) vorhanden und dringen sicher noch tiefer in den Unterboden ein.

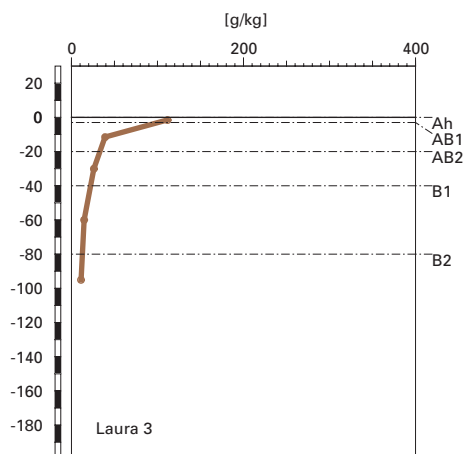
Wasserversorgung des Baumbestandes

Der bis 120 cm Tiefe berechnete Wasservorrat reicht in Trockenperioden ohne bedeutende Niederschläge für rund 30 Tage. Danach leidet der Baumbestand an Wassermangel. Da der Boden tiefer als 120 cm durchwurzelbar ist, dürfte Trockenstress noch später eintreten. Das Risiko für Trockenstress bewerten wir an diesem Fichten-Tannenstandort unter den gegebenen klimatischen Bedingungen als klein.

Bodenbefahrbarkeit

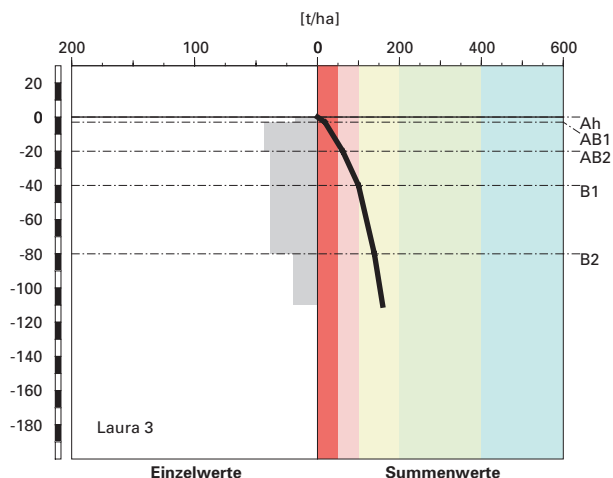
Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis 40 cm Tiefe skelettarm ist. Ein Befahren des Bestandes ist allerdings nicht möglich, denn die Hangneigung ist zu gross.

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

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

Abb. S15.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. S15.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

S15.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

S15.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Das Bodenprofil befindet sich in einem Fichtenbestand mit beigemischten Buchen und Tannen. Der Deckungsgrad der Baumkronen beträgt 90%, so dass sich nur eine spärliche Krautvegetation von Wald-Habichtskraut, wolligem Reitgras und gemeinem Sauerklee entwickelte. Die anfallende Streu stammt fast ausschliesslich von den Bäumen und ist mässig bis schlecht abbaubar. Es hat sich eine 4 cm mächtige Streuschicht (L) gebildet. Die Humusform ist ein Mull.

Der nur 3 cm mächtige Ah-Horizont hebt sich durch seine bräunlich-schwarze Farbe deutlich vom übrigen Mineralboden ab. Er enthält 11.2% organischen Kohlenstoff (C_{org} , [Abb. S15.8](#)). Im AB1-Horizont beträgt der

C_{org}-Gehalt nur noch 3.9% und er nimmt bis in den B2-Horizont weiter auf 1.1% ab. Daraus resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 159 t/ha (Abb. S15.9).

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Mit Ausnahme des Ah-Horizontes ist der Anteil der Tonfraktion im gesamten Profil deutlich unter 10% (Abb. S15.4). Die Abnahme vom Ah- in den AB1-Horizont von 10.2 auf 5.4% ist markant. In grösserer Profiltiefe ist eine stetige Abnahme auf 1.3% im B2-Horizont zu beobachten.

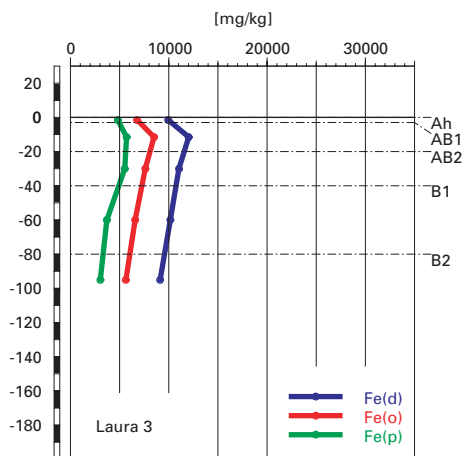
Das Dithionit-extrahierbare Eisen (Fe_d) nimmt vom Maximum im AB1-Horizont bis in den B2-Horizont linear ab (Abb. S15.10). Der Ah-Horizont hat einen um rund 2 g/kg geringeren Gehalt als der AB1-Horizont. Berücksichtigt man die Verdünnung durch die organische Substanz, so sind die Gehalte in diesen beiden Horizonten gleich hoch.

Das Oxalat-extrahierbare Eisen (Fe_o) ist genau gleich verteilt wie Fe_d, besitzt jedoch im Vergleich zu diesem in jedem Horizont um 3.5 g/kg geringere Gehalte (Abb. S15.10). Dem gegenüber nimmt das Oxalat-extrahierbare Aluminium (Al_o) mit der Profiltiefe zu, im Oberboden stärker als im Unterboden (Abb. S15.11).

Die Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte (Al_p bzw. Fe_p) haben eine fast identische Tiefenverteilung (Abb. S15.10 und S15.11). Sie haben das Maximum in den AB-Horizonten und nehmen gegen den B2-Horizont ab. Der Ah-Horizont enthält, ähnlich wie beim Fe_d und Fe_o, deutlich weniger Al_p und Fe_p als der AB1-Horizont. Berücksichtigt man die Verdünnung mit organischer Substanz, sind die Fe_p-Gehalte im Ah- und im AB1-Horizont gleich gross, der Al_p-Gehalt im Ah-Horizont bleibt jedoch um 1.4 g/kg kleiner.

Das Fe_o/Fe_d-Verhältnis bewegt sich im Oberboden um 0.7 und nimmt in den BC-Horizont linear auf 0.6 ab (Abb. S15.12). Die Verhältnisse der Pyrophosphat- zu den Oxalat-extrahierbaren Gehalten nehmen mit der Profiltiefe ab (Abb. S15.12). Die Abnahme ist beim Al_p/Al_o-Verhältnis linear von 0.85 auf 0.4. Das Fe_p/Fe_o-Verhältnis ist im Ah- und den AB-Horizonten mit 0.7 grösser als in den B-Horizonten mit 0.5.

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

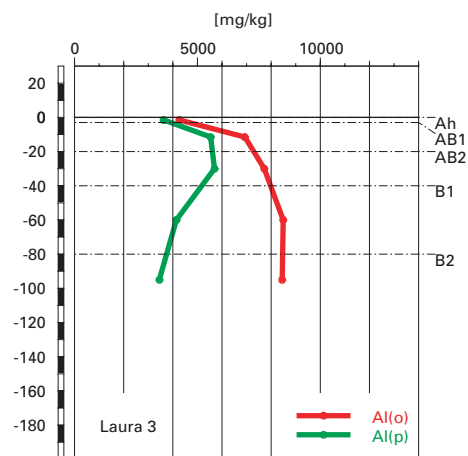


Abb.S15.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb.S15.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

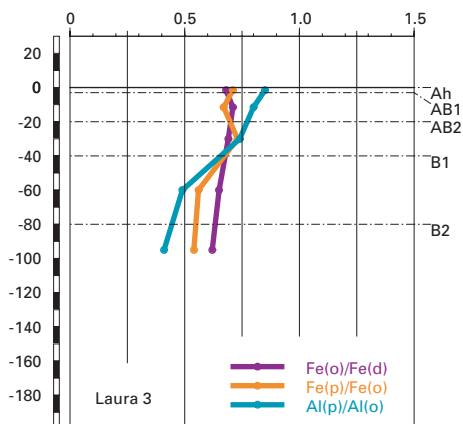


Abb.S15.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Der Streuabbau am Profilort wird durch das ziemlich rauhe Klima (durchschnittliche jährliche Niederschläge: 1768 mm und durchschnittliche Jahrestemperatur: 5.4 °C), an diesem in mittlerer Höhenlage (1390 m. ü. M.) und in E-Exposition gelegenen Standort, geprägt. Die anfallende Streu ist nicht sehr artenreich sowie mässig bis schlecht abbaubar. Trotzdem hat sich nur eine 4 cm dicke Streuschicht gebildet und es sind keine Anzeichen eines F-Horizontes zu beobachten, was zur Klassierung der Humusform als Mull führt. Offensichtlich sind die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse für einen fast vollständigen Streuabbau innerhalb eines Jahres ausreichend. Die Krümelstruktur im gesamten Profil deutet auf eine hohe biologische Aktivität hin. Die C/N- und C/P-Verhältnisse im Ah-Horizont werden mit 18 bzw. 178 als mittel bzw. mässig eng klassiert, was mit einer mittleren Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden ist. Die nicht mineralisierte organische Substanz wird in Form von gelösten oder dispergierten Humusstoffen in die Tiefe verlagert, wo sie an aktive Oberflächen von anorganischen Al- und Fe-Verbindungen adsorbiert. Dadurch wird sie stabilisiert und vor einer weiteren schnellen Mineralisierung geschützt. So konnte sich im Mineralboden ein im gesamtschweizerischen Vergleich mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 159 t/ha aufbauen.

Der Anteil der Tonfraktion ist im ganzen Profil mit Ausnahme der obersten 3 cm (Ah-Horizont) sehr klein. Dies ist unter anderem gesteinsbedingt, da der Gneis praktisch keine Tonminerale enthält und zudem im Boden bei den aktuellen pH-Werten von < 4.5 keine Tonmineralneubildung stattfindet. Der grössere Wert im Ah-Horizont von 10% dürfte ein Artefakt der Messung sein, da der Horizont relativ viel organische Substanz enthält.

Die Tiefenverteilungen von Fe_d und Fe_o sind identisch und typisch für eine Braunerde. Die Gehalte nehmen mit der Profiltiefe entsprechend dem kleiner werdenden Verwitterungsgrad des Bodens ab. Allenfalls kann im Oberboden vom Ah- in den AB1-Horizont eine leichte Eisenverlagerung interpretiert werden, auch wenn die Verdünnung der Gehalte durch die organische Substanz berücksichtigt wird. Diese Interpretation wird durch die Tiefenverteilung von Fe_p gestützt. Das mit der organischen Substanz assoziierte Eisen zeigt eine leichte Anreicherung in den AB-Horizonten. Bei den pH-Werten im Oberboden zwischen 4.0 und 4.3 ist noch kein freies Eisen in der Bodenlösung vorhanden. Eine allfällige Verlagerung müsste in komplexierter Form erfolgen, nachdem organische Komplexbildner Eisen aus seiner anorganischen Verbindung herausgelöst haben. Dies wird durch das Tiefenprofil von Fe_p angedeutet.

Im Gegensatz zum Eisen sind die Anzeichen einer Verlagerung beim Aluminium viel deutlicher. Al_o nimmt mit der Profiltiefe konvexartig zu und Al_p zeigt eine dem Fe_p analoge Tiefenverteilung, die jedoch viel stärker ausgeprägt ist. Wird ein Verlagerungsindex als Quotient zwischen dem maximalen Al_o - bzw. Fe_o -Gehalt und dem über diesem Maximum liegenden minimalen Al_o - bzw. Fe_o -Gehalt berechnet, so ergibt sich für Eisen ein Wert von 1.1 und für Aluminium von 1.6. Damit wird Aluminium stärker verlagert als Eisen und zwar bis in den B2-Horizont, der einen pH-Wert von 4.5 aufweist.

Das profilumfassend relativ weite Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist Ausdruck für eine Behinderung der Kristallisation von sekundären Eisen(hydr)oxiden. Die Verhältnisse der Pyrophosphat- zu Oxalat-extrahierbaren Gehalte sind vor allem im Oberboden relativ weit, was auf die grosse Bedeutung der Komplexbildung mit organischer Substanz bei den amorphen Al- und Fe-Verbindungen hinweist.

Die aufgrund von morphologischen Kriterien vorgenommene Klassierung des Bodens als Braunerde wird durch die Interpretation der chemischen Eigenschaften gestützt. Die oben beschriebene beginnende Eisenverlagerung ist zu schwach, als dass der Boden als podsoliierte Braunerde klassiert werden könnte. In einer Braunerde mit pH-Werten zwischen 4.0 und 4.5 kann eine Al-Verlagerung hingegen durch saure Auswaschung von Aluminium stattfinden.

S15.4 Themenbereich «Säurezustand»

S15.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Der Boden in Laura 3 ist profilumfassend stark sauer und der pH-Wert nimmt mit der Tiefe nur wenig zu. Er beträgt im Ah-Horizont 4.0 und im B2-Horizont 4.5 (Abb. S15.13). Alle Horizonte liegen in der gut puffernden Säureklasse 4.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Mit Ausnahme des 3 cm mächtigen Ah-Horizontes ist der Kationenaustauscher im Einklang mit den niedrigen pH-Werten überwiegend mit Aluminium belegt (Abb. S15.14). Diese Horizonte besitzen eine mässige Basensättigung, die unterhalb von 3 cm Tiefe nur wenig variiert (Abb. S15.15). Im Ah-Horizont ist die Basensättigung mässig hoch.

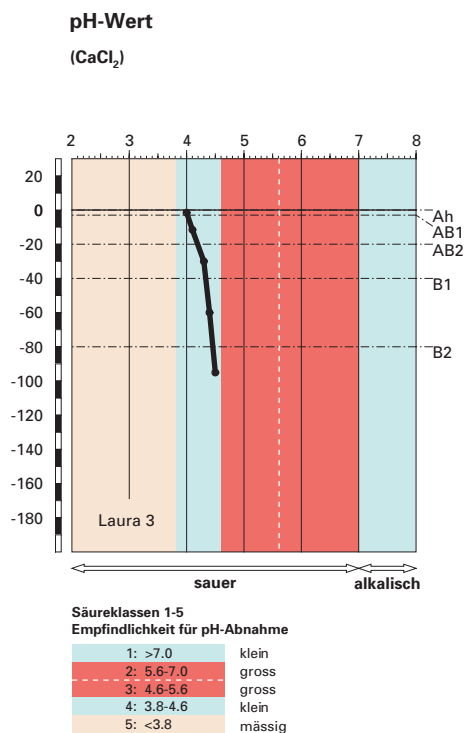


Abb. S15.13 pH-Wert und Säureklassen

S15.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

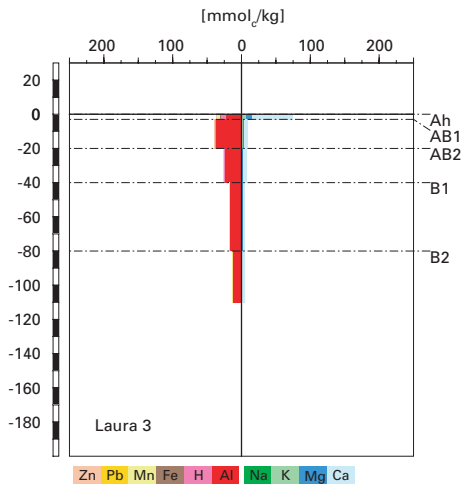
Diese stark saure Braunerde hat sich aus einer gneishaltigen Moräne entwickelt. Der pH-Wert nimmt mit der Profiltiefe nur um 0.5 Einheiten zu. Eine eindeutige Versauerungsfront ist nicht ersichtlich, bzw. liegt tiefer als der unterste Horizont, da dieser eine Al-Sättigung des Austauschers von rund 72% hat. Im ganzen Profil erfolgt die Säurepufferung durch Auflösung von Al-Verbindungen, was die hohe Al-Belegung des Austauschers erklärt. Eine Ausnahme macht diesbezüglich der Ah-Horizont, welcher durch den Streufall laufend mit Nährstoffkationen versorgt wird.

Aufgrund der tief liegenden Versauerungsfront (>110 cm) und der Belegung der Kationenaustauscherplätze der Feinerde mit sauren Kationen im ganzen Profil von 78%, wird der Boden als stark versauert eingestuft.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit des Bodens für eine weitere pH-Abnahme ist sehr klein, denn das ganze Profil befindet sich im sehr effizienten Al-Pufferbereich der

austauschbare Kationen



Basensättigung

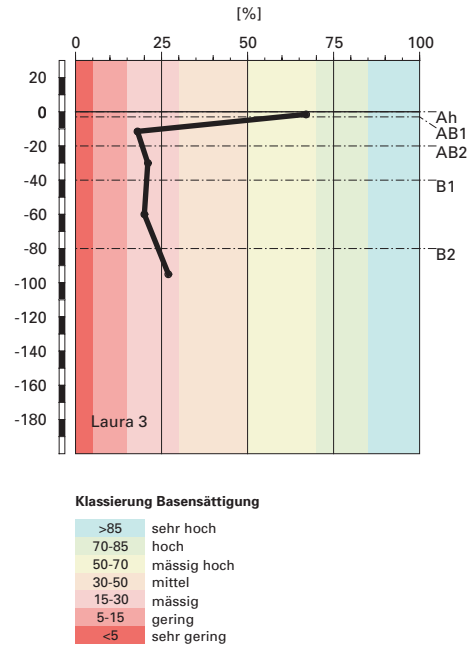


Abb. S15.14 (links) Belegung des Kationenaustauschers

Abb. S15.15 (rechts) Basensättigung

Säureklasse 4. Eine pH-Abnahme bis in die Säureklasse 5 ist allenfalls im Ah-Horizont zu erwarten. Dies dürfte aber auf die Basensättigung dieses Horizontes keine grossen Auswirkungen haben, da diese durch den Nährstoffkreislauf vergleichsweise hoch bleiben wird.

Erstaunlicherweise ist trotz der tiefen pH-Werte das BC/Al-Verhältnis in keinem Horizont kritisch. Zwischen 3 und 80 cm Tiefe betragen die Werte allerdings nur 0.22–0.25 und liegen somit nahe dem als kritisch erachteten Wert von 0.2. Durch eine anhaltende Säurezufuhr und -pufferung in der Säureklasse 4 ist damit zu rechnen, dass das BC/Al-Verhältnis in nicht allzu ferner Zukunft in den kritischen Bereich gelangen wird, wodurch mit nachteiligen Folgen für das Pflanzenwachstum gerechnet werden muss.

S15.5 Themenbereich «Schwermetalle»

S15.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Die Schwermetalle Cr, Ni und Cu nehmen in diesem Profil von oben nach unten zu, wobei bei Cr und Ni der maximale Gehalt im AB2- und bei Cu im B1-Horizont erreicht wird (Abb. S15.16). Die Gehalte an Zn und Pb sind im Ah-Horizont stark erhöht. Darunter gibt es ein zweites Maximum im AB2- (Pb) bzw. B1-Horizont (Zn).

S15.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein, einer Moräne aus Gneis, liegen der Cr-, Cu- und Zn-Gehalt im B2-Horizont oberhalb, der Ni-Gehalt innerhalb und der Pb-Gehalt unterhalb typischer Wertebereiche. Da für Moräne (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 24, Glaziallehme) für die Beurteilung beigezogen.

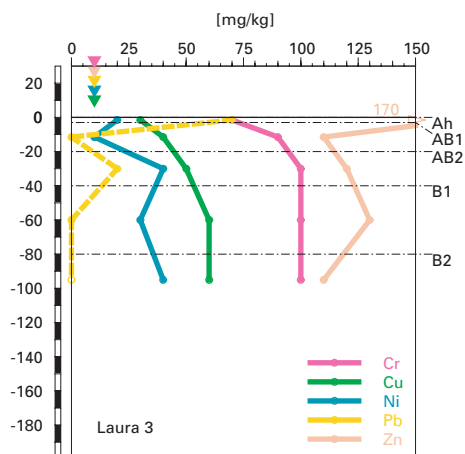
Anmerkung: Da das Ausgangsgestein, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht aufgeschlossen ist, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im B2-Horizont beigezogen. Da es sich dabei zwar weder um einen Anreicherungs- noch um einen Auswaschungshorizont handelt, er aber relativ weit entwickelt ist, ist es nicht möglich, sichere Aussagen darüber zu machen, ob die auf dem B2-Horizont beruhende Beurteilung realistisch ist.

S15.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Für den Ah-Horizont wurden wegen seines hohen Humusgehaltes (Abb. S15.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm^3 ; Tab. A351 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg ; Abb. S15.17), da die Dichte kleiner ist als $1 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Bezogen auf die VBBo liegen für Zn profilumfassend niedrige Konzentrationen bzw. Gehalte vor (Abb. S15.17). Die Pb-Konzentration im Ah-Horizont ist erhöht, die Pb-Gehalte in den darunterliegenden Horizonten sind sehr niedrig. Nickel verhält sich genau umgekehrt. Die Cr- und Cu-Konzentrationen im Ah-Horizont sind niedrig, die Gehalte dieser beiden Schwermetalle in den übrigen Horizonten hoch bis sehr hoch. Die sehr hohen Gehalte, die auch eine Überschreitung des Richtwertes der VBBo bedeuten, betreffen beim Cr den B1- und beim Cu den B2-Horizont.

Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
(effektive Totalgehalte)



Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
(HNO₃-extrahierbare Gehalte)

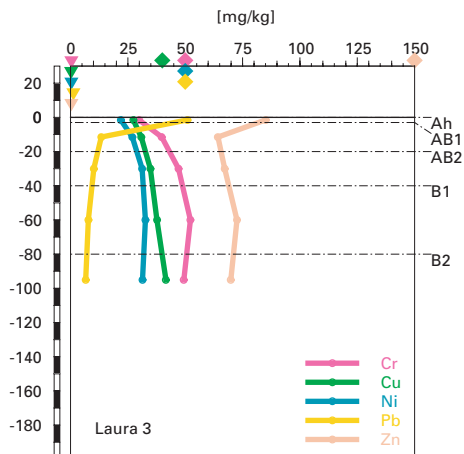


Abb. S15.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. S15.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

S15.5.4 **Anreicherungsfaktoren**

Da der C-Horizont, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht aufgeschlossen ist, wurden die Anreicherungsfaktoren relativ zum B2-Horizont berechnet. Da es sich dabei um einen relativ weit entwickelten Horizont handelt, können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung gegenüber dem Ausgangsgestein gemacht werden.

Der Ah- und der AB1-Horizont sind gegenüber dem B2-Horizont an Ni und Cu verarmt, (Tab. S15.4). Zusammen mit den im ganzen Profil mit der Tiefe zunehmenden Cu- und Ni-Gehalten (Abb. S15.16) heisst dies, dass diese beiden Schwermetalle unter den profilumfassend stark sauren Verhältnissen aus den obersten Horizonten ausgewaschen wurden. Da aufgrund der Eigenschaften der Bodenfestphase für Cu eine geringe bis sehr geringe Mobilität abgeschätzt wird (Abb. S15.18), dürfte für dieses Metall der Transport mit gelöster organischer Substanz eine wichtige Rolle spielen.

Chrom nimmt im Oberboden zwar auch mit der Tiefe zu, jedoch ist dieses Schwermetall im ganzen Profil weder ab- noch angereichert. Dies deutet auf Verdünnung der Gehalte im Ah- und AB1-Horizont durch Aufbau organischer Substanz hin (Abb. S15.8). Der im Vergleich zu den übrigen

| Tab. S15.4 Anreicherungsfaktoren | | | | | | |
|----------------------------------|---------------|---------------------|------|------|------|------|
| Horizont | Tiefe [cm] | Anreicherungsfaktor | | | | |
| | | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
| Ah | 0– 3 | 0.99 | 0.71 | 0.71 | n.b. | 2.18 |
| AB1 | 3–20 | 0.98 | 0.73 | 0.27 | n.b. | 1.09 |
| AB2 | 20–40 | 1.09 | 0.91 | 1.09 | n.b. | 1.19 |
| B1 | 40–80 | 0.96 | 0.96 | 0.72 | n.b. | 1.13 |
| B2 | > 80 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | n.b. | 1.00 |

Horizonten niedrigere Gehalt des Referenzelementes Zr im Ah-Horizont (Tab. A352 in Blaser et al. 2005) unterstützt diese Vermutung.

Aufnahme von Zn durch die Vegetation und Wiedereintrag mit der Streu sorgen dafür, dass dieses Schwermetall im Ah-Horizont deutlich angereichert ist (Tab. S15.4). Trotz der Verdünnung durch den Aufbau an organischer Substanz führt dies zu einem erhöhten Zn-Gehalt im Ah-Horizont (Abb. S15.16).

Die Tiefenverteilung von Pb (Abb. S15.16) wird durch die Anreicherung anthropogener Einträge im Ah-Horizont dominiert.

S15.5.5 Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Die Mobilität von Ni und Zn wird in diesem stark sauren Boden (Abb. S15.13) aufgrund des pH-Wertes profilumfassend als mittel bis gross eingestuft (Abb. S15.18). Nur gerade im obersten Horizont wird die Mobilität von Ni durch Bindung an feste organische Substanz etwas vermindert. Die Mobilität der übrigen Schwermetalle ist im ganzen Profil gering bis sehr gering, wobei vom Ah- bis zum B1-Horizont Bindung an feste organische Substanz mobilitätsverringend wirkt. Die beobachtete Auswaschung von Cu aus dem Oberboden (Abb. S15.16; Tab. S15.4) weist allerdings darauf hin, dass die Mobilität zumindest dieses Schwermetalls durch Bindung an gelöste organische Substanz effektiv grösser ist, als aufgrund der Eigenschaften der Bodenfestphase (pH, Humus- und Tongehalt) erwartet wird und in Abb. S15.18 dargestellt ist.

Aufgrund der abgeschätzten Mobilitäten und gemessenen Tiefenverteilungen und Anreicherungsfaktoren ist mit einer Belastung des Grundwassers mit Ni, Cu und Zn zu rechnen.

Schwermetallmobilität

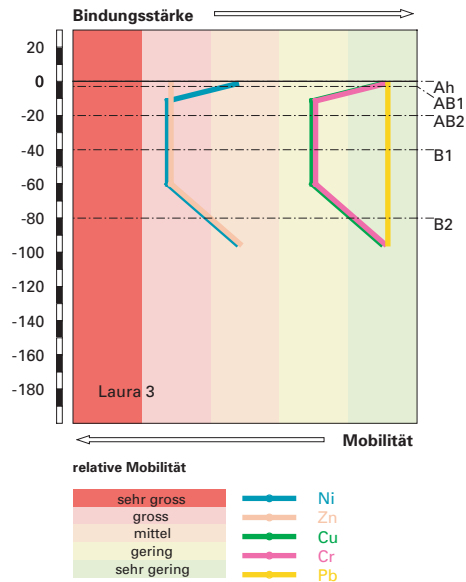


Abb. S15.18 Mobilität der Schwermetalle

S15.5.6 Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

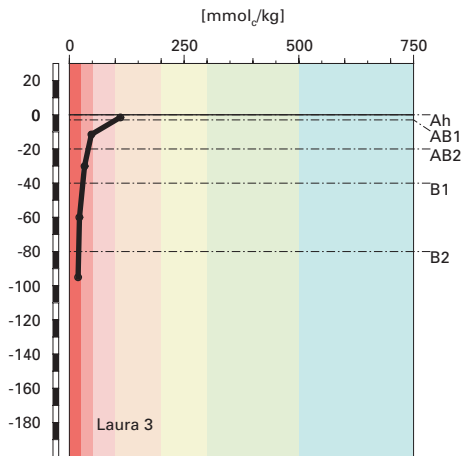
Im Ah- und AB1-Horizont sind die meisten Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Im AB1-Horizont liegt der Cr-Gehalt im Grenzbereich zur Toxizität für Mikroorganismen.

S15.6 Themenbereich «Nährstoffe»

S15.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden wird aufgrund der Humusform Mull und der Krümelstruktur als gut beurteilt, denn die beiden Kriterien lassen auf eine hohe biologische Aktivität schliessen. Allerdings ist das C/N-Verhältnis von 18 im Ah-Horizont bloss mittel und ist damit für eine Übergangshumusform von Mull zu Moder charakteristisch. Dies tönt an, dass der Abbau der schwer zersetzbaren Nadelstreu unter dem Einfluss des

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)

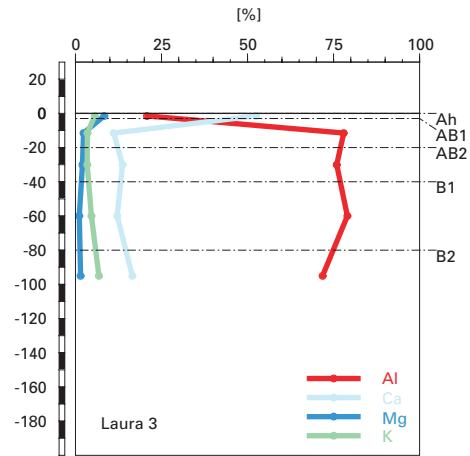


Abb. S15.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. S15.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

ziemlich rauen Klimas auf 1390 m.ü.M. etwas eingeschränkt und die Nährstoffverfügbarkeit dadurch leicht gehemmt ist. Das mässig enge C/P-Verhältnis von 178 im Ah-Horizont zeigt hingegen eine im Vergleich zum C/N-Verhältnis eher bessere Nährstoffverfügbarkeit an.

S15.6.2

Nährstoffgehalte

Als Folge der geringen Tongehalte und der Humusverteilung nimmt die Kationenaustauschkapazität vom Ah-Horizont, wo sie als mittel bewertet ist, mit der Tiefe rasch ab und ist ab 3 cm Tiefe sehr bis extrem gering (**Abb. S15.19**). Im nur 3 cm mächtigen Ah-Horizont werden die Austauscherplätze überwiegend von Nährstoffkationen, insbesondere von Kalzium belegt (**Abb. S15.20**). In allen anderen Horizonten beträgt die Basensättigung 18 bis 27%, wobei der Anteil von Kalzium etwa doppelt so gross ist, wie die Anteile von Kalium und Magnesium zusammen. Im Tiefenverlauf nimmt die Belegung des Austauschers mit Kalzium und Kalium unterhalb des

AB1-Horizontes leicht zu, wogegen jene des Magnesiums leicht abnimmt. Die K-Belegung ist mit Ausnahme des Ah-Horizontes im ganzen Profil grösser als jene von Magnesium und erreicht im B2-Horizont bemerkenswerte 7%.

S15.6.3 Nährstoffvorräte

Infolge der kleinen Kationenaustauschkapazität und der beinahe profilumfassend nur mässigen Basensättigung sind die Nährstoffvorräte bescheiden. Die Abb. S15.21–S15.23 zeigen bis 60 cm Tiefe folgende Vorräte:

Ca mässig
Mg sehr gering
K gering

Betrachtet man den ganzen durchwurzelbaren Boden, verbessert sich die Klassierung des Magnesiumvorrates von sehr gering auf gering, die Beurteilung der Vorräte an Kalzium und Kalium bleibt hingegen gleich. Die Nutzbarkeit dieser geringen bis mässigen Nährstoffvorräte ist aufgrund der guten Durchwurzelbarkeit des Bodens und dem kleinen Risiko für Trockenstress nicht eingeschränkt.

Kalzium-Vorrat

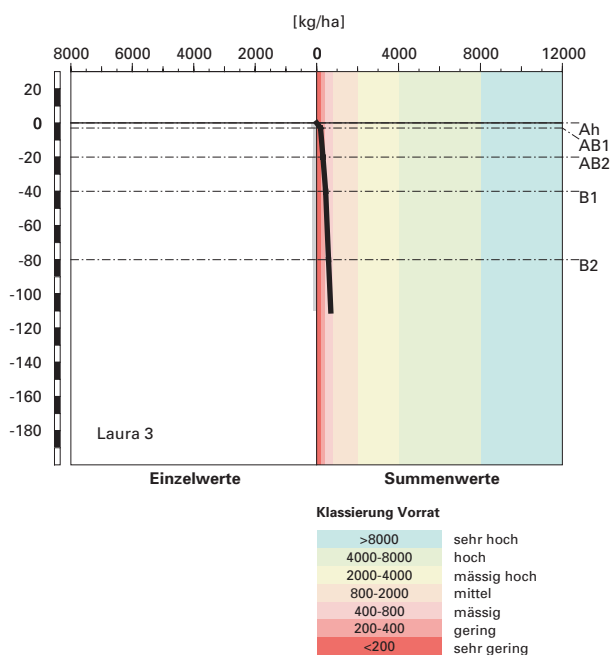


Abb. S15.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

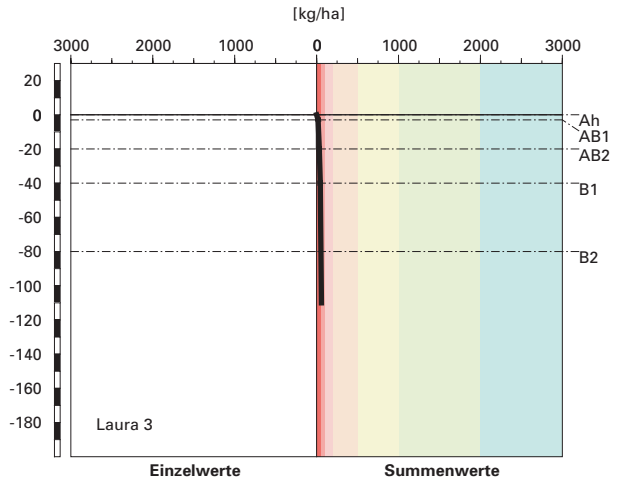


Abb. S15.22 Vorrat an Magnesium

| Klassierung Vorrat | |
|--------------------|-------------|
| >2000 | sehr hoch |
| 1000-2000 | hoch |
| 500-1000 | mässig hoch |
| 200-500 | mittel |
| 100-200 | mässig |
| 50-100 | gering |
| <50 | sehr gering |

Kalium-Vorrat

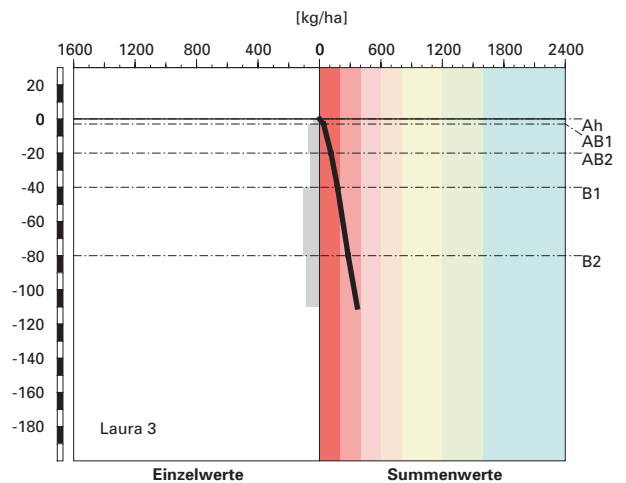


Abb. S15.23 Vorrat an Kalium

| Klassierung Vorrat | |
|--------------------|-------------|
| >1600 | sehr hoch |
| 1200-1600 | hoch |
| 800-1200 | mässig hoch |
| 600-800 | mittel |
| 400-600 | mässig |
| 200-400 | gering |
| <200 | sehr gering |

S15.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

S15.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. S15.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

S15.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand ist ein Mischwald aus Fichten und Tannen. Im Nebenbestand kommen einige Buchen vor. Diese Baumartenmischung bewerten wir trotz hohem Fichtenanteil als ziemlich naturnah. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Standort (EK Nr. 47) häufig Moder an. In der Umgebung des Bodenprofils kommt stellenweise Moder vor. Beim Profil ist jedoch ein Mull vorhanden, was nicht standorttypisch ist.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Tannen-Fichten-Standort (Nr. 47) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Tanne, Fichte, Lärche, Birke und Vogelbeere. Diese relativ kleine Auswahl ist vor allem durch das ziemlich rauhe Klima bedingt.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

Da dieser Boden von allen Baumarten tief durchwurzelt werden kann, schränkt dieses Kriterium die Baumartenauswahl nicht ein.

■ Entwässerung des Bodens durch die Bäume

Der Boden ist gut durchlüftet und sehr durchlässig. Daher ist das Kriterium der biologischen Entwässerung des Bodens bei der Baumartenwahl vernachlässigbar.

■ Trockenstress-Risiko für die Bäume

Das Risiko für Trockenstress ist klein. Im Boden dürfte für alle Baumarten ein stets ausreichender Wasservorrat verfügbar sein. Dieses Kriterium schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

■ Säurezustand und Aluminium-Toxizität

Die Feinerde ist profilumfassend stark sauer und das kritische BC/Al-Verhältnis wird in 3–80 cm Tiefe fast erreicht. Eine Verbesserung des Säurezustandes ist in diesem Boden erwünscht. Da die aktuelle Baum-

| | | |
|--|------------------------------|---|
| Tab. S15.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Laura 3) | | |
| Standortangaben | | |
| Relief | Höhe | 1390 m |
| | Exposition | E |
| | Neigung | 60% |
| Klima | Jahresniederschlag | 1768 mm |
| | Jahrestemperatur | 5.4°C |
| Ausgangsgestein | karbonatfreie Moräne | |
| Baumbestand | Struktur | einschichtig |
| | Schlussgrad | 90% |
| | Baumarten (Deckung) | 60% Fichte, 15% Weiss-Tanne |
| | Oberhöhe | 25–30 m |
| Waldgesellschaft | nach E&K 1972 | Nr. 47: Landschilf-Fichten-Tannenwald |
| | nach BUWAL 2005 | Nr. 47: Typischer Wollreitgras-Tannen-Fichtenwald |
| Bodenkennwerte | | |
| Bodensystematik | Bodentyp | Braunerde |
| | Humusform | Mull |
| Wasser- und Lufthaushalt | Durchlüftung | Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale erkennbar, was zeigt, dass der Boden stets gut durchlüftet ist. |
| | Durchwurzelbarkeit | Der Boden ist für alle Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Der mehr als 120 cm mächtige Wurzelraum wird als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln sind bis zur Profilssole vorhanden. |
| | pflanzenverfügbares Wasser | Wir bewerten das Risiko für Trockenstress unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen als klein. |
| Säurezustand | pH-Wert/Kalkgrenze | Der Boden ist profilumfassend stark sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei. |
| | Aluminium-Toxizität | Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität. Die kritische Grenze von 0.2 ist jedoch in 3–80 cm Tiefe fast erreicht. |
| Nährstoffe | Verfügbarkeit im Oberboden | Im Gegensatz zur Humusform Mull und zum mässig engen C/P-Verhältnis weist das mittlere C/N-Verhältnis auf eine gehemmte biologische Aktivität hin. Die Mineralisierungsrate wird insgesamt als mittel klassiert. |
| | Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K) | Die Vorräte der Nährstoffkationen sind gering (Mg, K) bis mässig (Ca). |
| Verankerung | | Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet. |
| Befahrbarkeit | | Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis 40 cm Tiefe skelettarm ist. Ein Befahren des Bestandes ist allerdings nicht möglich, denn die Hangneigung ist zu gross. |

artenmischung ziemlich naturnah und die Humusform ein Mull ist, besteht jedoch keine Möglichkeit, den Säurezustand mit der Baumartenwahl wesentlich zu verbessern.

■ Nährstoffangebot im Boden

Die Nährstoffumsetzung im Oberboden ist trotz der Humusform Mull leicht gehemmt. Eine Erhöhung der Mineralisierungsrate ist potentiell möglich, kann aber, wie bereits beim Säurezustand festgestellt, nicht mit der Baumartenwahl erreicht werden. Eine Förderung der biologischen Aktivität drängt sich angesichts der Humusform Mull ohnehin nicht auf.

Viele Baumarten haben bezüglich Nährstoffversorgung des Bodens eine weite ökologische Amplitude. Das Nährstoffangebot dürfte daher an diesem Standort für die meisten Baumarten ausreichend sein. Eine Ausnahme bilden die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Das Angebot an Kalium und Magnesium im Mineralboden stufen wir für ein konkurrenzstarkes Gedeihen der Edellaubhölzer (z.B. Bergahorn) als zu gering ein.

S15.7.3 **Baumartenempfehlung**

Dem Waldbauer stehen vor allem wegen dem ziemlich rauen Klima nur wenige Baumarten für die Waldverjüngung zur Verfügung. Die zu einem grossen Teil durch das Klima gegebene Baumartenauswahl (Tab.S15.6, BUWAL 2005) ist aus bodenkundlicher Sicht aufgrund des Säurezustandes und Nährstoffangebotes zu hinterfragen.

Mit dem Erhalt der naturnahen Baumartenmischung bleibt die Mineralisierungsrate der Nährstoffe im Oberboden stabil und die Humusform ein Mull, und auch die Produktion von organischen Säuren bei den Abbauprozessen verbleibt unverändert. Die Lärche mit ihrer sehr schwer abbaubaren Streu sollte aus bodenkundlicher Sicht nur vereinzelt beigemischt werden.

Tab. S15.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand

| Referenz | Baumarten |
|--|--|
| Grundlagenwerke (Einheit 47; BUWAL 2005) | Tanne, Fichte, Lärche, Birke, Vogelbeere |
| Bodenkundliche Kriterien | Tanne, Fichte, Birke, Vogelbeere, (Lärche) |

Blaser, P. / Zimmermann, S. / Luster, J. / Walthert, L. / Lüscher, P., 2005: Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseite. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag.

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

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.

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