

A10 Bodenprofil Gadmen

A10.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

A10.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb.A10.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.A10.2](#). [Tab.A10.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Gadmen zusammen und [Tab.A10.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

A10.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit V5 (alpine kristalline Berglandschaften (Granit, Orthogneis), steile Südhänge, Hangneigung >35%). 331 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 2.8% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

A10.1.3 Besonderheiten am Profilort

In der Umgebung des Profilortes sind an der Bodenoberfläche Steine und Blöcke zu beobachten. Es wird vermutet, dass Gehängeschutt oder eine Hangrutschung die Bodenbildung an diesem Profilort beeinflusst hat.

A10.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.A10.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die von Fichten, Krautpflanzen und Moosen stammende Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt. Der Abbau ist gehemmt. Unter der Streuauflage ist daher ein geringmächtiger Fermentationshorizont entstanden. Mit der Horizontfolge L-F-Ah1 wird die Humusform als Moder klassiert.



Abb. A10.1 (links) Bodenprofil Gadmen

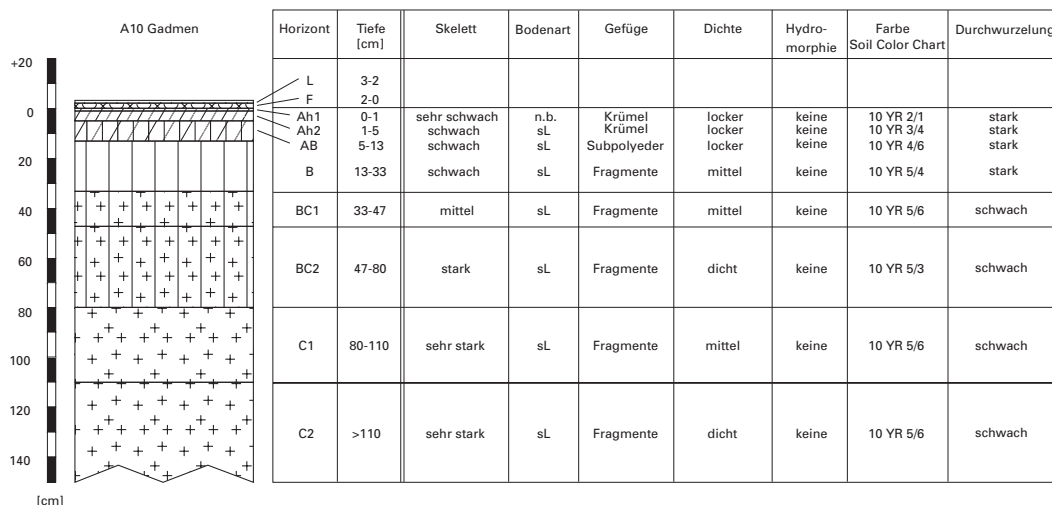
Abb. A10.2 (rechts) Bestand am Profilort Gadmen

Tab. A10.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Gadmen	
Lokalname	Schwand (Kanton Bern, Gemeinde Gadmen)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1210, Innertkirchen Koordinaten 671320/176990
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 51: Labkraut-Fichten-Tannenwald (<i>Galio-Abietetum</i>)
Horizontfolge	L-F-Ah1-Ah2-AB-B-BC1-BC2-C1-C2
Humusform	Moder
Bodentyp	Braunerde
Bodentyp nach FAO (1988)	Dystric Cambisol

Tab. A10.2 **Bodenbildungsfaktoren am Profilort Gadmen**

Relief	Höhe ü. M.	1330 m	
	Exposition	S	
	Neigung	70%	
	Geländeform	Hangfuss	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Helvetikum; Metagranitoide (Gruppe der nördlichen Gneise des Aarmassivs)	
	Lithofazies (nach Tuchs Schmid 1995)	Nr. 1: Granitoide Plutonite physikalische Verwitterbarkeit Gestein: klein chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein Tongehalt Gestein: sehr niedrig	
Klima	T/N Jahresmittel	4.9°C/1807 mm	
	T/N Januarmittel	−3.0°C/120 mm	
	T/N Julimittel	13.8°C/170 mm	
	Tage mit Schneedecke	146	
	Wärmegliederung	ziemlich rauh	
	Länge der Vegetationsperiode	150–165 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (25–30 m Höhe)	55%	55% Fichte (<i>Picea abies</i>)
	Strauchschicht	10%	–
	Krautschicht	75%	Wald-Wachtelweizen (<i>Melampyrum sylvaticum</i>) Drahtschmiele (<i>Avenella flexuosa</i>) Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) Wald-Habichtskraut (<i>Hieracium murorum</i>) Rundblättriges Labkraut (<i>Galium rotundifolium</i>)
	Moosschicht	80%	–

Tab. A10.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Gadmen
Bodenart: sL sandiger Lehm; n.b. nicht bestimmt



Im Mineralboden können aufgrund der morphologischen Merkmale acht Horizonte unterschieden werden. In diesem Boden nimmt der Skelettgehalt von sehr schwach direkt unter der Bodenoberfläche bis sehr stark ab 80 cm Tiefe im Ausgangsgestein zu. Farblich hebt sich die schwarze Zone direkt unterhalb der organischen Auflage vom übrigen Oberboden ab. Weiter unten ist der Mineralboden durch unterschiedlich braune bis gelb-braune Farben gekennzeichnet. Die Zone von 33 bis 80 cm Tiefe wirkt auf der [Abb. A10.1](#) etwas heller als die darüber bzw. darunter liegenden Bereiche. Unterhalb von 80 cm Tiefe zeigt die intensiver gelblich-braune Farbe eine intensivere Bodenentwicklung an als in der unmittelbar darüber liegenden Zone. Eine mögliche Erklärung für diesen Sachverhalt konnte im Feld nur im Zusammenhang mit dem allfälligen Einfluss einer Hangrutschung gefunden werden ([Kap. A10.3.2](#)). Mit der Fühlprobe wurde die Bodenart im ganzen Profil als sandiger Lehm bestimmt. Das Gefüge ist in den obersten 5 cm krümelig, in 5 bis 15 cm Tiefe ist eine Subpolyederstruktur und ab 13 cm Tiefe einer Fragmentstruktur vorhanden. Der Oberboden ist locker gelagert. Im übrigen Teil des Profils ist die Dichte mittel bis dicht. Im Profil sind keine hydromorphen Merkmale vorhanden.

Aufgrund der morphologischen Merkmale werden die Horizonte mit L-F-Ah1-Ah2-AB-B-BC1-BC2-C1-C2 gekennzeichnet und der Boden als Braunerde klassiert.

Ergänzende Bodenmerkmale

Gemäss pH-Hellige sind alle Horizonte sehr sauer. Die Durchwurzelung des Bodens ist bis 33 cm Tiefe stark, darunter bis zur Aufschlusstiefe nur noch schwach. Im Profil sind im Hinblick auf das Wurzelwachstum keine unüberwindbaren Hindernisse erkennbar.

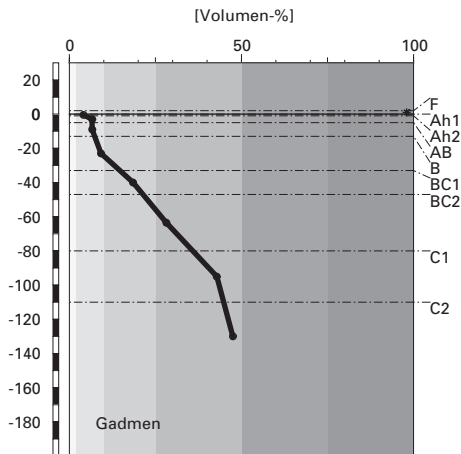
A10.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

A10.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Skelettgehalt

Der Skelettgehalt nimmt mit der Tiefe linear und stark zu ([Abb. A10.3](#)). Die obersten 33 cm sind schwach skeletthaltig, aber bereits ab rund 50 cm Tiefe ist der Boden mit einem Skelettanteil von 25–50% stark skeletthaltig. Auffällig ist, dass der Boden einzelne recht grosse Gesteinsblöcke enthält.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

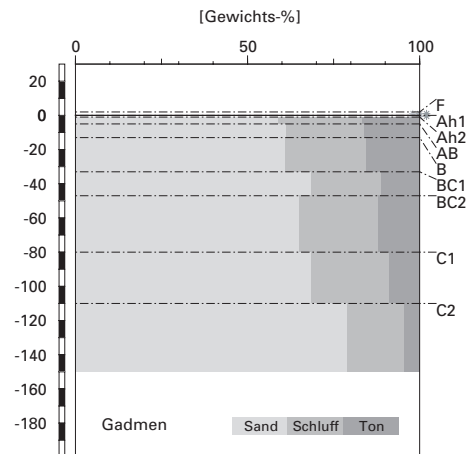


Abb. A10.3 (links) Skelettgehalt

Abb. A10.4 (rechts) Bodenart

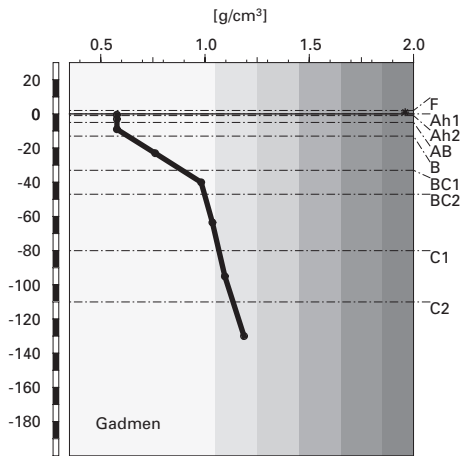
Bodenart

In der Feinerde überwiegt der Sandanteil markant (**Abb. A10.4**). Er nimmt mit zunehmender Tiefe zu, was gut mit dem Verwitterungszustand des Bodens übereinstimmt. Die wenig verwitterten C-Horizonte enthalten am wenigsten Ton und Schluff. Gemessen am Tongehalt handelt es sich bis 80 cm Tiefe um mittelschweren, in den C-Horizonten um leichten bis sehr leichten Boden. Feld- und Laborbestimmung der Bodenart stimmen gut überein, ausser in den untersten beiden Horizonten, in welchen der Tonanteil überschätzt wurde (**Tab. A10.3**).

Dichte der Feinerde

Die Dichte der Feinerde nimmt mit der Tiefe zwar deutlich zu, wird im gesamten Profil aber dennoch als äusserst gering bis sehr gering klassiert (**Abb. A10.5**). Im C2-Horizont erreicht die Feinerde-Dichte mit 1.19 g/cm^3 den maximalen Wert.

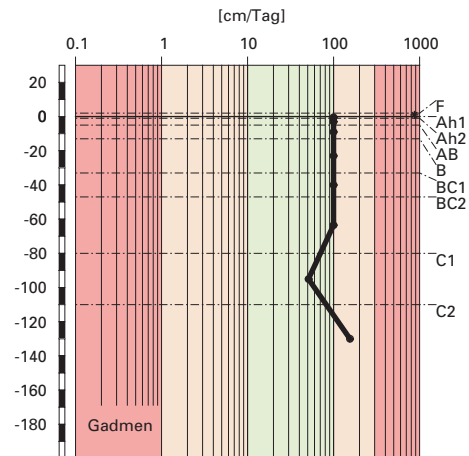
Feinerde-Dichte



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. A10.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. A10.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Die Feinerde ist profilumfassend derart locker und sandig, dass die Durchlässigkeit in allen Horizonten hoch bis sehr hoch ist (Abb. A10.6).

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit 205 l/m² als sehr hoch klassiert (Abb. A10.7).

A10.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Diese Braunerde ist so stark durchlässig (Abb. A10.6), dass sich keine Ver-nässungsmerkmale bilden. Gesättigte Phasen mit ungenügender Durch-lüftung sind somit höchstens von kurzer Dauer.

pflanzenverfügbares Wasser

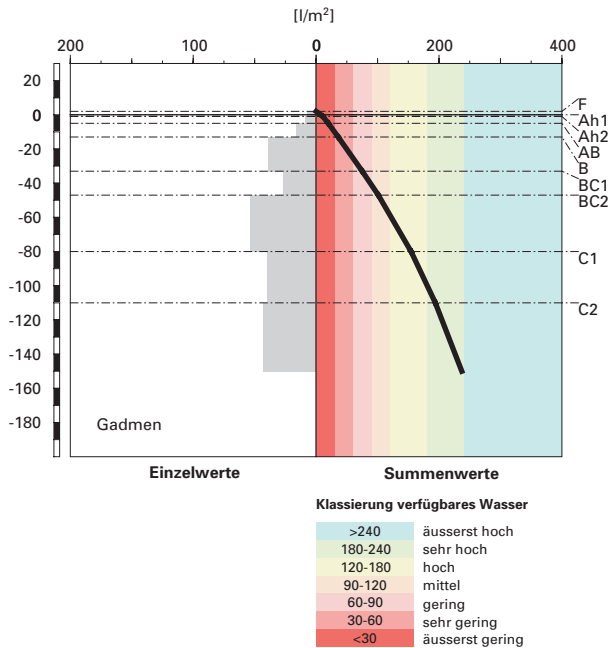


Abb. A10.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Boden kann von allen Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelt werden, da die Dichtewerte überall weniger als 1.4 g/cm^3 betragen und die Durchlüftung in allen Horizonten stets ausreichend ist. Der Wurzelraum ist nicht eingeschränkt und wird mit $>120 \text{ cm}$ Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Der Boden wird vom aktuellen Fichtenbestand gut genutzt, denn Wurzeln sind, wenn auch nur in spärlicher Anzahl, bis zur Profilsohle (150 cm) vorhanden und dringen wahrscheinlich noch tiefer in den Unterboden ein.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Für die Referenztiefe von 120 cm ergeben unsere Berechnungen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne bedeutende Niederschläge nach rund 25 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da der Boden tiefer als 120 cm durchwurzelbar ist und ein günstiges Klima herrscht, wird das Risiko für Trockenstress an diesem Fichten-Tannen-Standort (EK 51) als klein beurteilt.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis rund 50 cm Tiefe relativ wenig Skelett enthält. Das Gelände ist jedoch mit 70% Neigung so steil, dass ein Einsatz von schweren Maschinen nicht in Betracht fällt.

A10.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

A10.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Der Waldbestand am Profilort Gadmen besteht in der Baumschicht aus Fichten, welche nur 55% des Bodens überschirmen. Es gelangt viel Licht auf den Boden, so dass auf rund drei Vierteln der Fläche eine üppige Krautschicht aus Wald-Wachtelweizen, Drahtschmiele, Heidelbeere, Wald-Habichtskraut und rundblättrigem Labkraut gedeiht. Der Deckungsgrad der Mooschicht ist mit 80% bemerkenswert hoch. Die Fichtenstreu ist schlecht abbaubar. Da sie an diesem Standort aber durch die Streu zahlreicher Krautpflanzen mit guter Abbaubarkeit ergänzt wird, ist die anfallende Streu als mässig bis schlecht abbaubar zu beurteilen. Es hat sich deshalb ein Fermentationshorizont von 2 cm Mächtigkeit gebildet.

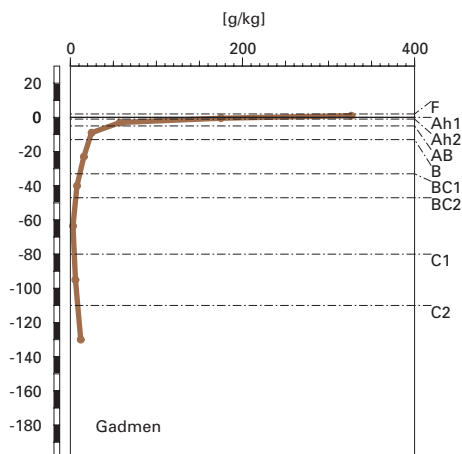
Entsprechend seiner vorwiegend organischen Zusammensetzung enthält der F-Horizont rund 33% organischen Kohlenstoff ([Abb. A10.8](#)). Der nur 1 cm mächtige Ah1-Horizont hebt sich durch seine schwarze Farbe deutlich von den tiefer gelegenen Horizonten ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) beträgt 17.5%. Auch der Ah2-Horizont hat mit 5.8% organischem Kohlenstoff eine dunkle Farbe. Der C_{org} -Gehalt nimmt mit der Tiefe weiter ab und ist unterhalb von 33 cm Tiefe kleiner als 1.5%. Er weist jedoch im BC2-Horizont ein Minimum auf und nimmt in den C2-Horizont wieder leicht auf 1.2% zu. Aus den C_{org} -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 125 t/ha ([Abb. A10.9](#)), wobei für die Berechnung des Vorrates im F-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen wurde.

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt nimmt mit der Tiefe ab ([Abb. A10.4](#)). Das Maximum liegt mit rund 17% im Ah2- und das Minimum mit 4.6% im C2-Horizont.

Die extrahierbaren Eisenverbindungen haben alle eine ähnliche Tiefenverteilung der Gehalte. Diese nehmen vom Oberboden bis zum Minimum im BC2-Horizont ab und bis zum C2-Horizont wieder auf Werte zu, die mit

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

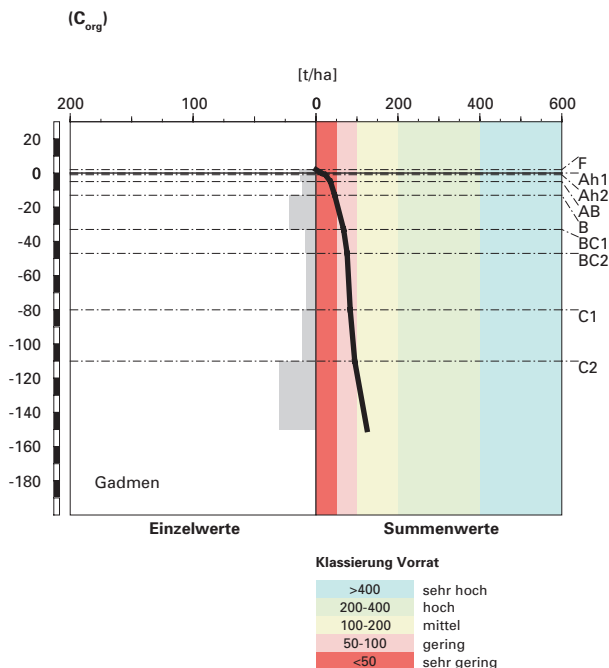


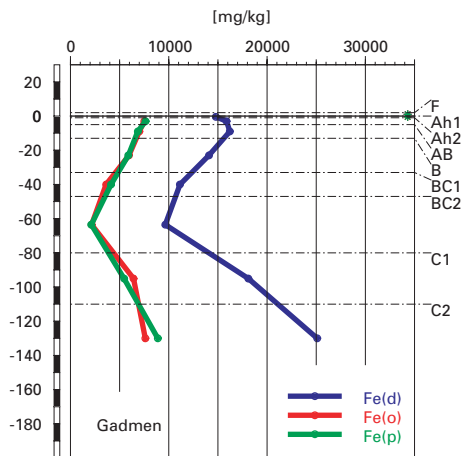
Abb. A10.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. A10.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

jenen im Oberboden vergleichbar sind (Abb. A10.10). Der Gehalt des Dithionit-extrahierbaren Eisens (Fe_d) nimmt im Oberboden vom Ah1- bis in den AB-Horizont zuerst zu, bevor er bis in den BC2-Horizont abnimmt. Wird der Fe_d -Gehalt auf die humusfreie Mineralerde bezogen, erfolgt eine ebenso lineare Abnahme vom Ah1- bis in den BC2-Horizont wie bei den Oxalat- bzw. Pyrophosphat-extrahierbaren Gehalten (Fe_o bzw. Fe_p). Auffallend ist der im gesamten Boden praktisch identische Fe_o - und Fe_p -Gehalt.

Das Oxalat- bzw. Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium (Al_o bzw. Al_p) ist ähnlich verteilt wie die Eisenfraktionen (Abb. A10.11). Das Minimum befindet sich bei beiden Fraktionen im BC2-Horizont und gegen den C2-Horizont erfolgt eine Zunahme des Gehaltes. Oberhalb des BC2-Horizontes verläuft die Abnahme vor allem des Al_p -Gehaltes etwas anders als bei den Eisenfraktionen. Vom Ah2- bis in den BC1-Horizont nimmt der Al_p -Gehalt nur unbedeutend ab, bevor eine markante Abnahme in den BC2-Horizont erfolgt. Beim Al_o ist dies weniger ausgeprägt. Ähnlich wie beim Fe_d ist die

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

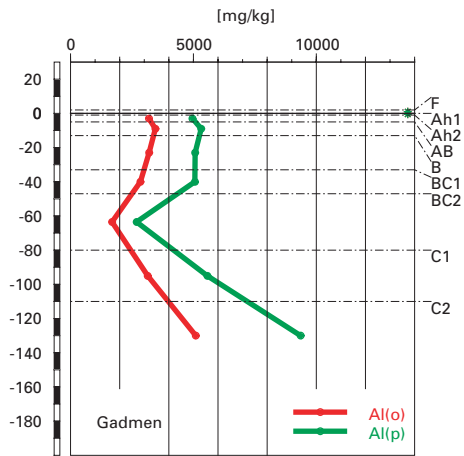


Abb. A10.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. A10.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

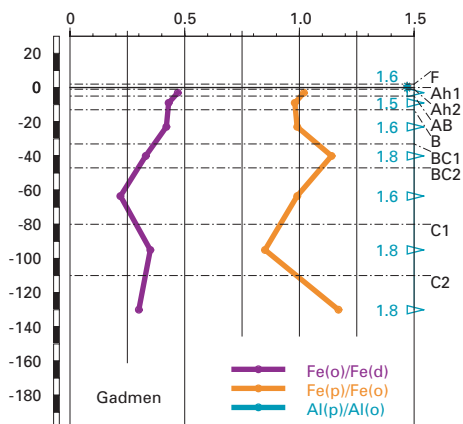


Abb. A10.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Zunahme der Aluminiumgehalte vom Ah1- in den Ah2-Horizont durch die Verdünnung mit organischer Substanz bedingt. Auffallend ist der im Vergleich zu Al_o profilumfassend grössere Al_p -Gehalt. Die Al_p -Gehalte erreichen im regionalen Vergleich im ganzen Bodenprofil sehr hohe Werte.

Die in praktisch allen Horizonten gleich grossen Fe_o - und Fe_p -Gehalte haben zur Folge, dass das Fe_p/Fe_o -Verhältnis im ganzen Boden Werte um 1 besitzt (Abb. A10.12). Abweichungen finden sich im BC1- und in den C-Horizonten. Beim Al_p/Al_o -Verhältnis führen die sehr grossen Al_p -Gehalte zu profilumfassend unrealistisch hohen Werten von 1.5 bis 1.8 (Abb. A10.12). Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis nimmt linear von 0.5 im Ah2- auf 0.2 im BC2-Horizont ab. Dann erfolgt eine sprunghafte Zunahme auf 0.35 im C1-Horizont und eine erneute Abnahme auf 0.3 im C2-Horizont.

A10.3.2 **Bodenkundliche Interpretation**

Die Streu am Profilort Gadmen wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig abgebaut. Unter der Streuschicht hat sich ein 2 cm mächtiger F-Horizont gebildet, womit die Humusform als Moder klassiert wird. Die Verzögerung in der Umsetzung der organischen Substanz ist vor allem durch die Qualität der Streu und zum Teil durch das Klima verursacht. Die Fichtenstreu enthält viele phenolische Substanzen und weist ein grosses C/N-Verhältnis auf. Die meisten Pflanzen der Krautschicht kommen auf stickstoffarmen Standorten häufiger vor als auf mittelmässigen bis stickstoffreichen (<http://www.wsl.ch/forest/soil/produkte/zeigerwerte/>). Deshalb wird ihr Anteil an der Streu das C/N-Verhältnis nicht wesentlich verbessern und sie bilden keine attraktive Nahrung für die Bodenorganismen. Das C/N-Verhältnis im F-Horizont wird mit 23 denn auch als mässig weit klassiert, was auf eine niedrige Mineralisierungsrate der organischen Substanz schliessen lässt. Auch das mittlere C/P-Verhältnis von 385 im F-Horizont bestätigt die nicht optimale Streuqualität. Zudem bietet das ziemlich raue Klima des auf 1330 m.ü.M. gelegenen Standortes mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 4.9°C trotz der S-Exposition vermutlich zu wenig Wärme für eine schnellere Umsetzung der organischen Substanz.

Die sehr stark bis stark sauren pH-Verhältnisse im Oberboden wirken sich ebenfalls negativ auf die biologische Aktivität aus. Es wurden allerdings einzelne Regenwürmer beobachtet und die obersten 5 cm des Mineralbodens sind krümelig, womit die biologische Aktivität insgesamt als mittel beurteilt wird. Dies deckt sich mit einem mittleren C/N-Verhältnis von 18 im humusreichen Ah1-Horizont. Zudem fällt auf, dass der Gehalt an organischem Kohlenstoff von 17.5 % im Ah1-Horizont sehr schnell auf rund 2.5% im AB-Horizont abnimmt. Die organische Substanz wird im Mineral-

boden also nicht stabilisiert, sondern zu einem grossen Teil mineralisiert, zu einem geringeren Teil verlagert. Unterhalb rund 50 cm Tiefe nimmt der C_{org} -Gehalt von 0.3% im BC2- wieder leicht auf 1.2% im C2-Horizont zu. Dies steht allerdings nicht mit einer Verlagerung im Zusammenhang, sondern mit einer vermuteten Störung im Bodenprofil, da der C1- und C2-Horizont im Vergleich zum BC2-Horizont eine dunklere Farbe aufweisen (Tab. A10.3). Der Grund könnte eine alte Hangrutschung sein, welche die C-Horizonte begraben hat. Als Folge der grossen Mineralisierungsrate der organischen Substanz im Mineralboden ist der Vorrat an organischem Kohlenstoff mit 125 t/ha (Abb. A10.9) im gesamtschweizerischen Vergleich mittel.

Der Tongehalt nimmt im Boden mit der Tiefe kontinuierlich entsprechend der abnehmenden Verwitterungsintensität ab. In den verbrauchten Horizonten hat im Lauf der Bodenentwicklung vermutlich eine Sekundärbildung von Tonmineralen stattgefunden, welche den Tongehalt erhöht. Die oben vermutete Störung im Aufbau des Bodenprofils lässt sich im Tiefenverlauf des Tongehaltes nicht erkennen.

Die Tiefenverteilung der extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen können wir mit chemischen Prozessen nicht erklären. Es ist nicht vorstellbar, dass das Minimum aller Fraktionen im BC2-Horizont durch Verlagerung zustande gekommen ist. Der pH-Wert ist für eine Verlagerung von Aluminium und Eisen in gelöster anorganischer Form bis in Tiefen von mehr als 100 cm zu gross. Für die Verlagerung in Form von metall-organischen Komplexen fehlt die organische Substanz. Wir müssen viel eher davon ausgehen, dass in diesem Gehängeschutt ein bereits entwickelter Boden von frischem Gehängeschutt überdeckt wurde. Das würde die grossen Gehalte aller Aluminium- und Eisenfraktionen im C1- und C2-Horizont, dem ehemaligen Oberboden, erklären. Im frischen Gehängeschutt setzte von neuem eine Bodenbildung mit Verbraunungsprozessen ein, was die im Vergleich zum BC2-Horizont grösseren Gehalte im Oberboden erklärt.

Verschiedene weitere Interpretationen von bodenchemischen Grössen stützen diese Hypothese. Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis weist zweimal eine lineare Abnahme auf (Abb. A10.12), was einen zur Tiefe hin abnehmenden Anteil amorpher, während der Verbraunung entstandener Eisenoxide (Fe_o) am Dithionit-extrahierbaren Eisen (Fe_d) anzeigt. Das erste Mal im «neu entstandenen, jungen» Boden bis 80 cm Tiefe und das zweite Mal im überdeckten «alten» Boden vom C1- bis in den C2-Horizont. Während der Fe_o -Gehalt stark von der Bodenentwicklung beeinflusst ist, trifft dies für das Salpetersäure-extrahierbare Eisen nicht zu. Wird nun das Verhältnis von Salpetersäure-extrahierbarem Eisen zu Fe_o gebildet (Tab. A81 und A84 in Blaser et al. 2005), so ist es, unter der Annahme von nicht stattfindenden Verlagerungsprozessen, in jenen Horizonten kleiner, welche weiter entwickelt sind,

da in diesen Horizonten mehr amorphe, Oxalat-extrahierbare Eisenverbindungen gebildet wurden. Dieses Verhältnis nimmt im Bodenprofil Gadmen von rund 4 im Ah2-Horizont auf rund 14 im BC2-Horizont zu und geht dann sprunghaft auf 5 im C1- und C2-Horizont zurück. Damit können die grossen Fe_0 -Gehalte im Oberboden sowie in den C1- und C2-Horizonten auf Bodenentwicklungsprozesse zurückgeführt werden. Interessanterweise ist das Verhältnis von Salpetersäure-extrahierbarem Eisen zu Fe_0 im überdeckten und im rezenten Oberboden etwa gleich gross. Auch die Tiefenverteilungen der Salpetersäure-extrahierbaren Schwermetallgehalte lassen sich mit einer Überschiebung und einem entsprechend geschichteten Bodenprofil erklären (Kap. A10.5).

Die Verhältnisse der Pyrophosphat- zu Oxalat-extrahierbaren Elementgehalte lassen sich nicht interpretieren, da die Werte vor allem beim Aluminium unrealistisch gross sind. Vermutlich wirkt der Pyrophosphat-Extrakt in diesem Boden derart stark dispergierend, dass weit mehr als das an die organische Substanz gebundene Aluminium bzw. Eisen extrahiert wird.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als Braunerde klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese Klassierung für die obersten 80 cm des Mineralbodens. Die Gehalte der Aluminium- und Eisenverbindungen, des organischen Kohlenstoffs sowie der Salpetersäure-extrahierbaren Schwermetalle (Kap. A10.5) über die gesamte Aufschlusstiefe von 150 cm lassen vermuten, dass an diesem Standort eine Hangrutschung stattfand. Diese überschüttete einen bereits entwickelten Boden und im abgelagerten, rund 80 cm mächtigen Gehängeschutt setzte von neuem eine Bodenentwicklung ein. Die mit C1 und C2 bezeichneten Horizonte sind überdeckte, ehemalige Oberbodenhorizonte.

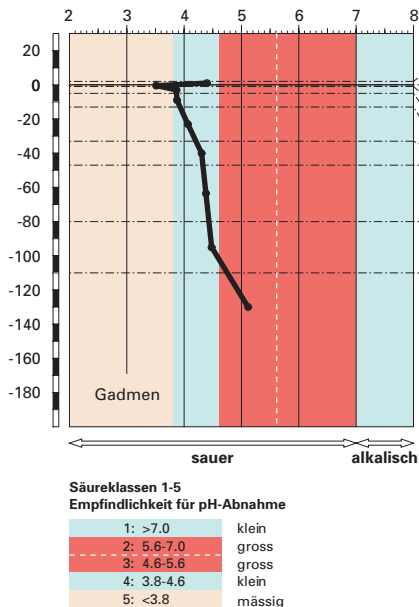
A10.4 Themenbereich «Säurezustand»

A10.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Im F-Horizont beträgt der pH-Wert 4.4 (Abb. A10.13). Im Ah1-Horizont beträgt er nur noch 3.5, nimmt im Mineralboden mit der Tiefe jedoch stetig zu. Die Feinerde im Ah1-Horizont ist sehr stark sauer und befindet sich in der Säureklasse 5. Bis in eine Tiefe von 110 cm nimmt der pH-Wert zuerst sprunghaft, dann nur noch langsam zu, wobei der Boden aber stets im stark sauren Bereich und damit in der Säureklasse 4 verbleibt. Im C2-Horizont nimmt der pH-Wert etwas stärker zu. Die Feinerde ist hier noch mässig sauer und befindet sich in der Säureklasse 3.

pH-Wert (CaCl₂)



austauschbare Kationen

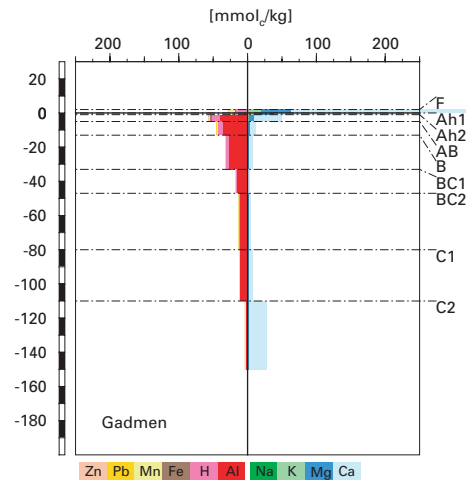


Abb. A10.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb. A10.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Im F- und Ah1-Horizont dominieren am Kationenaustauscher die Nährstoffkationen und im Ah2-Horizont sind Nährstoffkationen und saure Kationen ungefähr zu gleichen Anteilen gebunden (Abb. A10.14). Zwischen 5 und 110 cm Tiefe ist der Kationenaustauscher primär mit sauren Kationen, insbesondere mit Aluminium belegt, wogegen im C2-Horizont die Nährstoffkationen wieder überwiegen.

Die Basensättigung ist trotz der tiefen pH-Werte, die bis in 110 cm Tiefe gemessen wurden, vergleichsweise hoch und ist bis in den C1-Horizont als mässig bis mittel zu klassieren (Abb. A10.15). Im Ah1-Horizont ist sie mit fast 90% sogar sehr hoch. Im Ah2-Horizont beträgt sie beinahe 50% und ist damit mehr als doppelt so gross wie in den Horizonten zwischen 5 und 47 cm Tiefe, wo sie weniger als 20% beträgt. Unterhalb dieser Zone nimmt die Basensättigung rasch zu und ist im C2-Horizont mit beinahe 90% sehr hoch.

Basensättigung

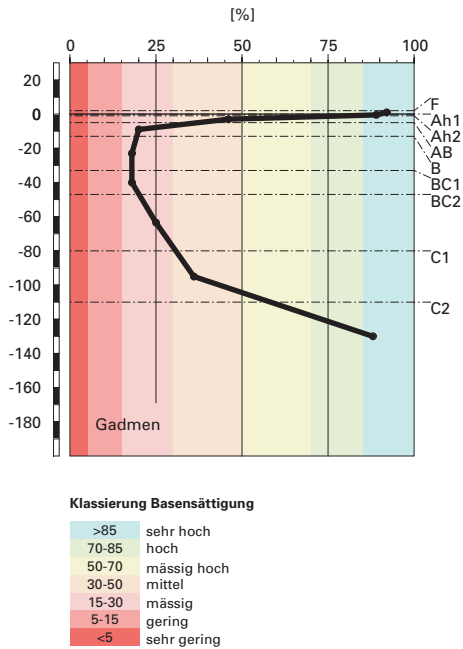


Abb. A10.15 Basensättigung

A10.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Obwohl im Profil keine Kalkgrenze festgestellt werden konnte, deuten die Analysenergebnisse darauf hin, dass diese Braunerde im Untergrund karbonathaltig ist, denn anders kann die überdurchschnittlich hohe Basensättigung im ganzen Profil, insbesondere im C2-Horizont dieses weder durch Stau- noch Grundwasser beeinflussten Bodens nicht erklärt werden. In der Nähe ist karbonathaltiges Gestein anstehend. Möglicherweise wurde am Profilort karbonathaltiger Gehängeschutt abgelagert. Trotzdem wird der Boden als karbonatfreies Profil beurteilt, da die geologischen Informationen aus Kartenwerken und die geologische Beurteilung im Feld auf karbonatfreies Gestein hinweisen.

Unter diesem Gesichtspunkt ist der Boden mässig versauert. 53% der Austauscherplätze der gesamten Feinerde des Bodens sind mit sauren

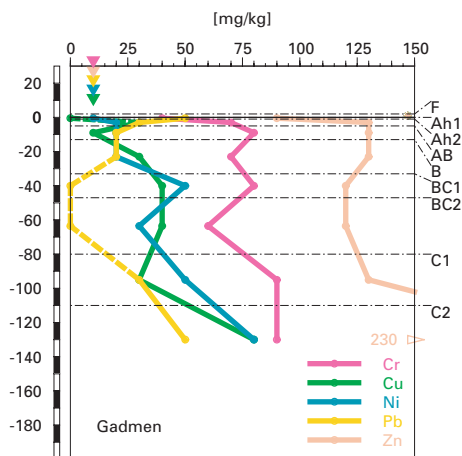
Kationen belegt. In Übereinstimmung mit der Säureklasse 4, in der die Säurepufferung hauptsächlich durch Auflösung von Aluminiumverbindungen erfolgt, sind die Austauschplätze bis in den C1-Horizont, mit Ausnahme der geringmächtigen Ah-Horizonte, vorwiegend mit Aluminium belegt. Im Ah2-Horizont, der sich im untersten Bereich der Säureklasse 4 im Übergang zur Säureklasse 5 befindet, wurde auch austauschbares Eisen festgestellt. Auch im C2-Horizont sind noch geringe Mengen Aluminium in austauschbarer Form vorhanden und zeigen an, dass die Versauerungsfront die Profilsohle erreicht hat. Allerdings ist dieser Horizont nur mässig sauer und befindet sich in der Säureklasse 3, in der die Nährstoffverdrängung durch Aluminium von untergeordneter Bedeutung ist.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit für eine weitere Abnahme des pH-Wertes ist klein, denn der grösste Teil des Bodens befindet sich in der gut puffernden Säureklasse 4 und nur 20% der gesamten Feinerde des Bodens befinden sich in der schlecht puffernden Säureklasse 3. Allerdings muss auf den nur 1 cm mächtigen Ah1-Horizont ein besonderes Augenmerk gerichtet werden, denn die Feinerde befindet sich in der nur mässig puffernden Säureklasse 5 und der Versauerungsdruck ist hier am grössten. Trotzdem ist in diesem Horizont auch bei einer pH-Abnahme nicht mit einem drastischen Rückgang der Basensättigung zu rechnen, denn durch den Nährstoffkreislauf der Vegetation werden ständig Nährstoffkationen aus dem Unterboden nachgeliefert. Unterhalb dieses Horizontes befindet sich die Feinerde bis in eine Tiefe von 110 cm in der gut puffernden Säureklasse 4, in der die Säuren sehr effizient durch Auflösung von Aluminiumverbindungen neutralisiert werden. Als Folge davon ist zu erwarten, dass die Nährstoffkationen in den B-Horizonten weiter durch Aluminium verdrängt werden und die Basensättigung in diesen Horizonten abnehmen wird. Die nährstoffarme Zone wird sich zudem in die Tiefe ausdehnen. Die Empfindlichkeit für eine weitere pH-Abnahme ist zwar im C2-Horizont am grössten, weil dieser in der schlecht puffernden Säureklasse 3 liegt. Dennoch wird in dieser Tiefe die Bodenversauerung gehemmt bleiben, weil die Säuren grösstenteils in den oberen Horizonten neutralisiert werden.

Für das Wachstum säureempfindlicher Pflanzen besteht beim aktuellen Säurezustand kein Risiko, denn das kritische BC/Al-Verhältnis von 0.2 wird in keinem Horizont unterschritten. Bei einer weiteren Versauerung werden allerdings der B- und BC1-Horizont in den kritischen Bereich gelangen, von dem sie gegenwärtig mit BC/Al-Verhältnissen von 0.24 und 0.23 nur wenig entfernt sind (Tab. A82 in Blaser et al. 2005).

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



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

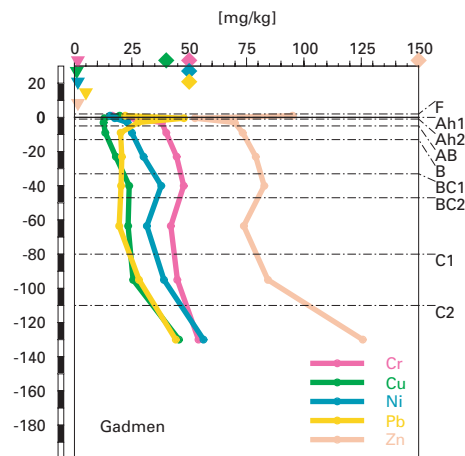


Abb. A10.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. A10.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

A10.5 Themenbereich «Schwermetalle»

A10.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Mit Ausnahme von Pb sind die Gehalte aller Schwermetalle im nur sehr geringmächtigen Ah1-Horizont deutlich niedriger als in den darunterliegenden Horizonten (Abb. A10.16). Der Cr-Gehalt ändert sich vom Ah2- bis zum BC1-Horizont nur wenig, nimmt darunter zuerst ab auf ein sekundäres Minimum im BC2-Horizont und dann wieder zu auf maximale Werte in den C-Horizonten. Nickel nimmt im ganzen Profil von oben nach unten stark zu, allerdings mit einem sekundären Maximum im BC1-Horizont. Kupfer verhält sich ähnlich wie Ni, wobei sich das sekundäre Maximum in beiden BC-Horizonten befindet. Der Zn-Gehalt ist vom Ah2- bis zum C1-Horizont praktisch gleich. Darunter nimmt er sprunghaft auf einen maximalen Wert im C2-Horizont zu. Blei nimmt zunächst vom Ah1- bis in die BC-Horizonte stark ab und darunter wieder stark zu.

A10.5.2 **Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich**

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Granit (Lithofazies 1) liegen die Gehalte der meisten Schwermetalle im BC2-Horizont weit oberhalb, Pb jedoch unterhalb typischer Wertebereiche.

Anmerkung: Aus der Untersuchung der Bodenhauptbestandteile geht hervor, dass in diesem Profil ein alter Boden durch Hangrutschung überdeckt wurde. Für den geochemischen Vergleich wurden die Gehalte im BC2-Horizont, welcher den untersten Horizont des jungen Bodens darstellt, verwendet.

A10.5.3 **Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo**

Für den F- und den Ah1-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb. A10.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm³; Tab. A85 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg; Abb. A10.17), da die Dichte kleiner ist als 1 g/cm³.

Mit Ausnahme einer erhöhten Pb-Konzentration im Ah1-Horizont sind die Konzentrationen der Schwermetalle in der Auflage und im Ah1-Horizont bezogen auf die VBBo sehr niedrig bis niedrig.

Der Cr-Gehalt ist vom Ah2- bis zum C1-Horizont hoch, im C2-Horizont sehr hoch. Nickel ist im Ah2- und AB-Horizont niedrig, vom B- bis zum C1-Horizont erhöht bis hoch und im C2-Horizont sehr hoch. Der Cu-Gehalt ist vom Ah2- bis zum B-Horizont niedrig, darunter bis zum C1-Horizont erhöht und im C2-Horizont sehr hoch. Die Zn- und Pb-Gehalte sind vom Ah2- bis zum C1-Horizont niedrig bis erhöht, im C2-Horizont hoch.

Die sehr hohen Cr-, Ni- und Cu-Gehalte im C2-Horizont bedeuten eine Überschreitung des Richtwerts der VBBo.

A10.5.4 **Anreicherungsfaktoren**

Aus der Untersuchung der Bodenhauptbestandteile geht hervor, dass in diesem Profil ein alter Boden durch Hangrutschung überdeckt wurde. Darum wurden die Anreicherungsfaktoren relativ zum BC2-Horizont berechnet, welcher den untersten Horizont des jungen Bodens darstellt.

Der Gehalt des Referenzelementes Zr ist im Ah1-Horizont wegen der Verdünnung der Bodenfestphase durch den Aufbau organischer Substanz deutlich niedriger als vom Ah2- bis zum BC2-Horizont. Die Verdünnung durch den Aufbau organischer Substanz erklärt auch zu einem grossen Teil

Tab. A10.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah1	0– 1	0.94	<0.35	0.47	n.b.	1.06
Ah2	1– 5	1.27	0.82	0.73	n.b.	1.18
AB	5– 13	1.28	0.24	0.64	n.b.	1.04
B	13– 33	1.22	0.78	0.70	n.b.	1.13
BC1	33– 47	1.45	1.09	1.82	n.b.	1.09
BC2	47– 80	1.00	1.00	1.00	n.b.	1.00
C1	80–110	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
C2	>110	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

die mit Ausnahme von Pb minimalen Gehalte der Schwermetalle im Ah1-Horizont. Nickel und Cu sind in diesem Horizont zudem gegenüber dem Referenzelement Zr stark angereichert (Tab. A10.4). Im weiteren ist der AB-Horizont an Cu verarmt und der BC1-Horizont mit Ni angereichert. Die Tiefenverteilung (Abb. A10.16) zeigt, dass das verlagerte Cu entweder im C2-Horizont angereichert, oder aus dem Profil ausgewaschen wurde.

Für die Verlagerung von Cu und Ni sind in erster Linie die sehr sauren Verhältnisse im grössten Teil des Profils verantwortlich (Abb. A10.13). Die Tatsache, dass Cu weiter verlagert wurde als das säurebedingt mobilere Ni, weist darauf hin, dass bei Cu die Bindung an gelöste organische Substanz die Mobilität zusätzlich erhöht.

Die Tiefenverteilung von Pb, für welches aufgrund seines sehr niedrigen Gehaltes im BC2-Horizont keine Anreicherungsfaktoren berechnet werden konnten, lässt sich wie folgt erklären. Der vom Ah1- bis zum BC1-Horizont stark abnehmende Gehalte dürfte auf Anreicherung von anthropogenem Pb im humusreichen Oberboden zurückzuführen sein. Die enorm hohen Pb-Gehalte in den C-Horizonten lassen sich nicht erklären, wenn man bedenkt, dass die Hangrutschung vor der Nutzung bleihaltigen Benzins stattfand.

A10.5.5 **Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Mit Ausnahme des C2-Horizontes ist die Feinerde dieses Bodens stark bis sehr stark sauer (Abb. A10.13). Die Mobilität von Zn wird deshalb vom F- bis zum C1-Horizont als gross bis sehr gross, im C2-Horizont als mittel geschätzt (Abb. A10.18). Die Mobilität von Ni ist gleich gross mit Ausnahme des F-Horizontes, wo sie mittel geschätzt wird. Die Mobilität von Cr und Cu wird im ganzen Mineralboden als gering bis mittel klassiert, wobei im Oberboden und im B-Horizont die Mobilität durch Bindung an organische

Schwermetallmobilität

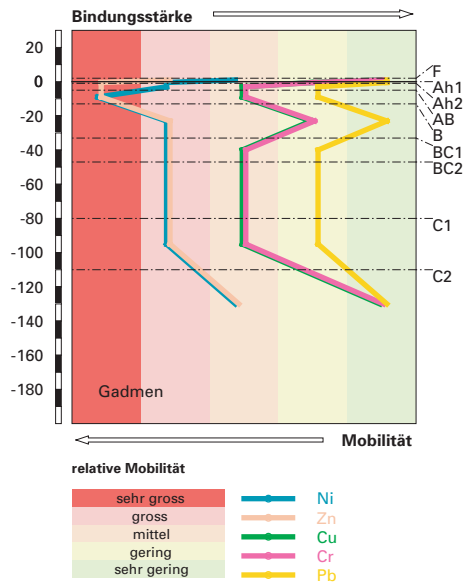


Abb. A10.18 Mobilität der Schwermetalle

Substanz verringert wird. Im fast rein organischen F-Horizont und im C2-Horizont ist die Mobilität dieser beiden Schwermetalle sehr gering. Die Mobilität von Pb wird im ganzen Boden aufgrund der Eigenschaften der Bodenfestphase (pH, Humus- und Tongehalt) als sehr gering bis gering beurteilt. Tiefenverteilung (Abb. A10.16) und Anreicherungs faktoren (Tab. A10.4) legen nahe, dass zumindest die effektive Mobilität von Cu durch Komplexbildung und Verlagerung mit gelöster organischer Substanz etwas vergrößert wird.

Die relativ hohen Ni- und Zn-Gehalte im C2-Horizont bei mittlerer Mobilität stellen ein Risiko für das Grundwasser dar. Ausserdem besteht die Möglichkeit, dass Cu zusammen mit gelöster organischer Substanz aus dem Profil ausgewaschen wird.

A10.5.6

Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den Ah-Horizonten liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Im AB-Horizont allerdings liegt der Cr-Gehalt im Grenzbereich zur Toxizität für Mikroorganismen.

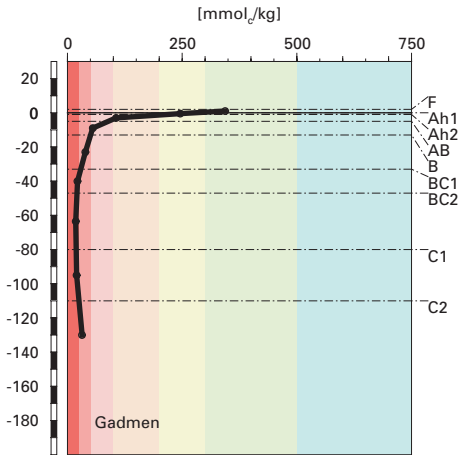
A10.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Die Humusform Moder mit einer 3 cm mächtigen Streuauflage und einem 2 cm mächtigen Fermentationshorizont wird als Anzeichen eines gehemmten Streuabbaus und als Folge davon, einer nicht optimalen Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden gewertet. Als Ursachen kommen die schwer abbaubare Fichtenstreu und die stark bis sehr stark sauren pH-Verhältnisse im Oberboden in Frage. Allerdings deutet die Krümelstruktur in diesen Horizonten auf eine aktive Tätigkeit der Bodenfauna hin. Das mässig weite C/N-Verhältnis von 23 im F-Horizont ist für die Humusform Moder typisch und lässt eine bloss niedrige Mineralisierungsrate der organischen Substanz erwarten.

A10.6.2 Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität ist mit Ausnahme der organischen Auflage und der Ah-Horizonte, wo sie als mittel bis sehr hoch klassiert wird, extrem bis sehr gering und variiert im Tiefenverlauf nur wenig (Abb. A10.19). In der organischen Auflage und im Ah1-Horizont ist der Kationenaustauscher zu rund 90% mit Nährstoffkationen belegt. Im Ah2-Horizont ist er etwa zu gleichen Teilen mit Nährstoffkationen und sauren Kationen belegt (Abb. A10.20). Bis in den BC1-Horizont nimmt der Anteil an austauschbarem Aluminium bis auf 75% stark zu, was im Einklang mit den stark sauren pH-Verhältnissen steht. Mit zunehmender Tiefe geht der Anteil von austauschbarem Aluminium bis auf etwa 10% zu Gunsten von Kalzium rasch zurück, obwohl sich der Boden bis zum C1-Horizont noch stets in der Säureklasse 4 befindet, in der die Säurepufferung in erster Linie durch Auflösung von Aluminiumverbindungen erfolgt. Der vergleichsweise hohe Anteil von austauschbarem Kalzium, insbesondere im Oberboden und den C-Horizonten lässt sich nur durch den Einfluss von karbonathaltigem Gestein erklären, der allerdings bei der Profilanlage nicht ersichtlich wurde. Durch die Vegetation wird ein beträchtlicher Kalziumanteil in Umlauf gehalten. Kalzium wird deshalb mit dem Streufall im Oberboden angereichert. Entsprechend dem pH-Verlauf und der damit verbundenen Aluminium Freisetzung werden die Nährstoffe im grössten Teil des Mineralbodens durch Aluminium von den Austauscherplätzen verdrängt. Im C2-Horizont, der sich noch in der Säureklasse 3 befindet, spielt dieser Verdrängungsprozess noch keine bedeutende Rolle. Der Kationenaustauscher ist in dieser Bodentiefe über-

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)

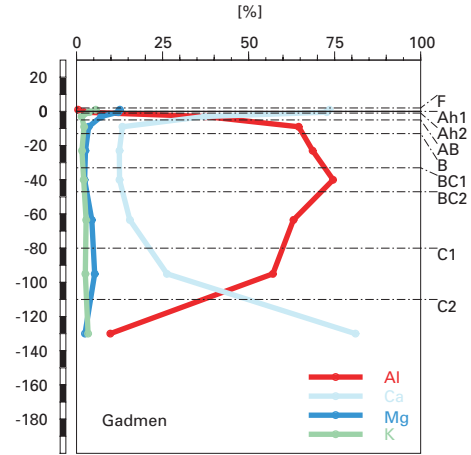


Abb. A10.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. A10.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

wiegend mit Kalzium-Ionen belegt. Magnesium und Kalium sind am Kationenaustauscher nur in geringen Anteilen vertreten. Die Anteile dieser beiden Nährstoffkationen sind im F-, Ah1- und C2-Horizont am grössten und betragen für Magnesium maximal 13% und für Kalium rund 6%.

A10.6.3

Nährstoffvorräte

Als Folge der geringen bis extrem geringen Kationenaustauschkapazität und der im grössten Teil des Profils nur mässigen Belegung des Kationenaustauschers mit Nährstoffkationen sowie des grossen Skelettgehaltes im Unterboden sind die Nährstoffvorräte des Bodens relativ klein. Bis zum Übergang zum nur mässig sauren C2-Horizont in 110 cm Tiefe nehmen die Ca-, Mg und K-Vorräte im Tiefenverlauf nur wenig zu ([Abb. A10.21 bis A10.23](#)). Im C2-Horizont steigt in erster Linie der Kalziumvorrat, in etwas

Kalzium-Vorrat

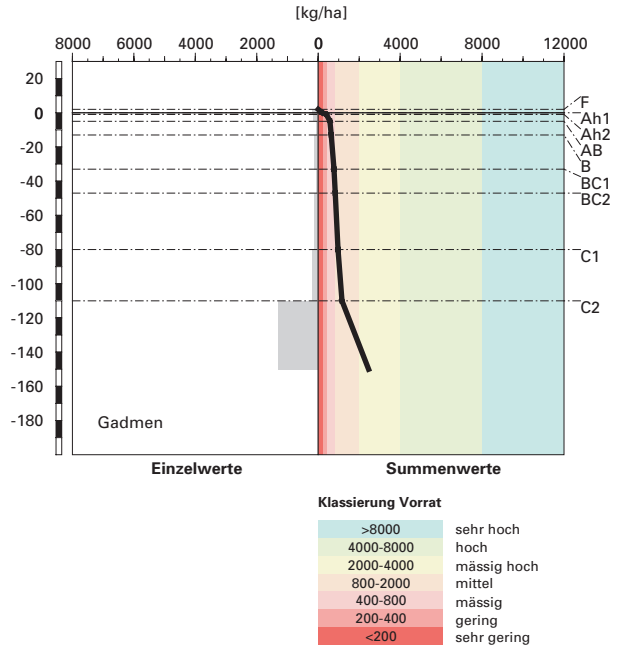


Abb. A10.21 Vorrat an Kalzium

bescheidenerem Masse auch der Kaliumvorrat an. Bis zur Vergleichstiefe von 60 cm werden die Vorräte wie folgt beurteilt:

Ca mittel
Mg mässig
K sehr gering

Der Boden ist aber wesentlich tiefgründiger als 60 cm und ist von den Pflanzen im ganzen Profil durchwurzelbar. Trotz der erheblichen Zunahme des Skelettgehaltes ab 47 cm Tiefe können die Ca-, Mg- und K-Vorräte unter diesem Aspekt als mässig hoch, mässig und gering klassiert werden. Weil ausserdem nur ein kleines Risiko für Trockenstress besteht, können die Nährstoffvorräte von den Pflanzen während der ganzen Vegetationsperiode uneingeschränkt genutzt werden.

Magnesium-Vorrat

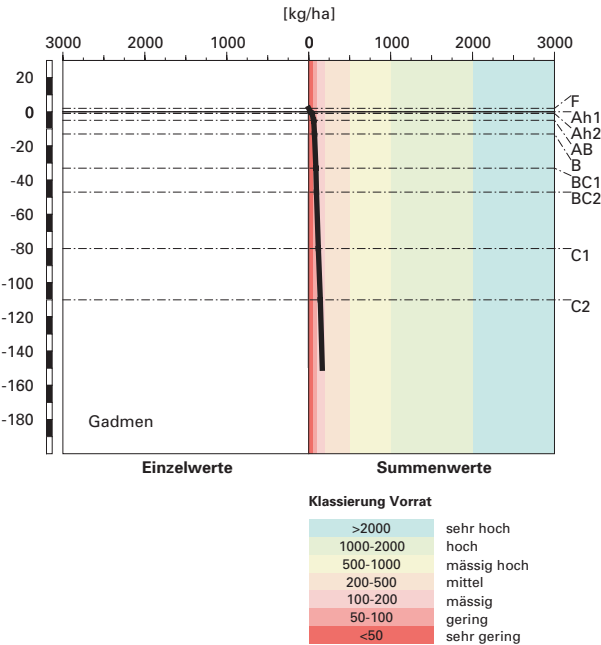


Abb. A10.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

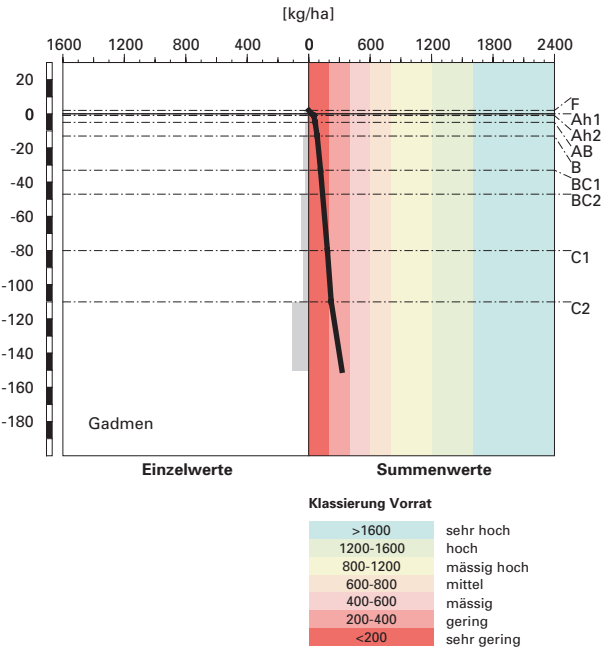


Abb. A10.23 Vorrat an Kalium

A10.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

A10.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. A10.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

A10.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand ist ein nahezu reiner Fichtenwald. Im Naturwald wären neben der Fichte die Tanne und auch etwas Laubholz vertreten. Der hohe Fichtenanteil ist vermutlich anthropogen bedingt. Nach Ott et al. (1997) trifft man an diesem Standort (EK Nr. 51) häufig Moder an. Demnach schätzen wir die Humusform Moder trotz hohem Fichtenanteil als standorttypisch ein.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Tannen-Fichten-Standort (Nr. 51) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Tanne, Fichte, Bergahorn, Esche 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 kann das Kriterium der biologischen Entwässerung des Bodens bei der Baumartenwahl vernachlässigt werden.

■ Trockenstress-Risiko für die Bäume

Es besteht nur ein kleines Risiko für Trockenstress. Im Boden dürfte für alle Baumarten meist ein ausreichender Wasservorrat verfügbar sein. Dieses Kriterium schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

■ Säurezustand und Aluminium-Toxizität

Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität. Eine Einschränkung bei der Baumartenwahl ist aber durch die sehr sauren Bedingungen bis 110 cm Tiefe gegeben. Der Säure freisetzenden organischen Auflage kann mit einer artenreichen, naturnaheren Baumartenmischung entgegenwirkt wer-

Tab. A10.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Gadmen)**Standortangaben**

Relief	Höhe	1330 m
	Exposition	S
	Neigung	70%
Klima	Jahresniederschlag	1807 mm
	Jahrestemperatur	4.9°C

Ausgangsgestein

Gneis

Baumbestand

Struktur	mehrheitlich einschichtig
Schlussgrad	55%
Baumarten (Deckung)	55 % Fichte
Oberhöhe	25–30 m

Waldgesellschaft

nach E&K 1972	Nr. 51: Labkraut-Fichten-Tannenwald
nach BUWAL 2005	Nr. 51: Typischer Labkraut-Tannen-Fichtenwald

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	Braunerde
	Humusform	Moder
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 Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln sind bis zur Profilschle vorhanden.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen besteht ein kleines Risiko für Trockenstress.
	Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze
Säurezustand	Aluminium-Toxizität	Der Boden ist bis 110 cm Tiefe stark bis sehr stark sauer, weiter unten im Profil mässig sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
		Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Moder weist auch das mässig weite C/N-Verhältnis in der organischen Auflage auf eine niedrige Mineralisierungsrate hin. Aufgrund des mittleren C/P-Verhältnisses in der organischen Auflage erfolgt eine etwas optimistischere Einschätzung der biologischen Aktivität. Sie wird gesamthaft als niedrig bis mittel beurteilt.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind ziemlich unausgewogen. Der Ca-Vorrat ist mässig hoch, der Mg-Vorrat mässig und der K-Vorrat gering. Im Unterboden ist relativ viel Ca und K gespeichert.
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 rund 50 cm Tiefe relativ wenig Skelett enthält. Das Gelände ist jedoch mit 70 % Neigung so steil, dass ein Einsatz von schweren Maschinen nicht in Betracht kommt.

den. Aufgrund des ziemlich rauen Klimas besteht zwar nur ein beschränkter Spielraum bei der Baumartenwahl – wird er ausgenutzt, zum Beispiel mit der Tanne und etwas Laubholz – lassen sich Humusform und Säurezustand im Oberboden leicht verbessern, indem beim Streuabbau die Produktion von organischen Säuren durch die attraktivere Streumischung reduziert wird.

■ Nährstoffangebot im Boden

Die Mineralisierung der Nährstoffe ist gehemmt. Die biologische Aktivität lässt sich durch eine besser abbaubare Streumischung erhöhen. Da der aktuelle Bestand nur aus Fichten besteht, ist ein Verbesserungspotential durch Einbringen von Tannen und Laubhölzern gegeben. Viele Baumarten haben bezüglich Nährstoffversorgung des Bodens eine weite ökologische Amplitude. Das Nährstoffangebot ist daher an diesem Standort für die meisten Baumarten ausreichend. Obwohl der Boden mässig versauert ist, schätzen wir das Nährstoffangebot selbst für die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer als ausreichend ein, denn die Vorräte an Kalzium und Magnesium sind relativ gross.

A10.7.3

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.A10.6, BUWAL 2005) ist aus bodenkundlicher Sicht vor allem aufgrund des Säurezustandes und des Nährstoffangebotes im Boden zu hinterfragen.

Mit einem erhöhten Anteil von Tanne, Vogelbeere und Bergahorn wird die biologische Aktivität im Oberboden verbessert. Dadurch werden mehr Nährstoffe mineralisiert und weniger organische Säuren freigesetzt. Die standorttypische Humusform Moder bleibt aber vermutlich selbst bei verbessertem Streueintrag erhalten. Da die Vorräte von Ca und Mg relativ gross sind, gehen wir trotz mässiger Bodenversauerung davon aus, dass der Bergahorn ein ausreichendes Angebot an Nährstoffkationen vorfindet. Für die Esche dürfte das Klima an diesem auf 1330 m.ü.M. gelegenen Standort zu rauh sein.

Tab. A10.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand

Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 51; BUWAL 2005)	Tanne, Fichte, Bergahorn, Esche, Vogelbeere
Bodenkundliche Kriterien	Tanne, Fichte, Bergahorn, Vogelbeere, (Esche)

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.
