

M7 Bodenprofil Burgdorf-Pleerwald 7

M7.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

M7.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb.M7.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.M7.2](#). [Tab.M7.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilorat Burgdorf-Pleerwald 7 zusammen, und [Tab.M7.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

M7.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H3 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung; Steilhänge, vorwiegend Molasse, Hangneigung >25%). 578 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 4.9% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

M7.1.3 Besonderheiten am Profilorat

Das Bodenprofil repräsentiert den Boden in einer typischen Ausbildung des Waldmeister-Buchenwaldes.

M7.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.M7.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die Streu stammt vor allem von der Baumschicht, insbesondere von der Buche und wird innerhalb eines Jahres weitgehend zersetzt. An der Bodenoberfläche liegt folglich nur eine Streuschicht vor. Die Horizontfolge lautet L-Ah und die Humusform ist ein Mull.

Der 1.8 m tief erschlossene Mineralboden lässt sich aufgrund der morphologischen Merkmale in fünf Horizonte gliedern.



Abb. M7.1 ([links](#)) Bodenprofil Burgdorf-Pleerwald 7

Abb. M7.2 ([rechts](#)) Bestand am Profilort Burgdorf-Pleerwald 7

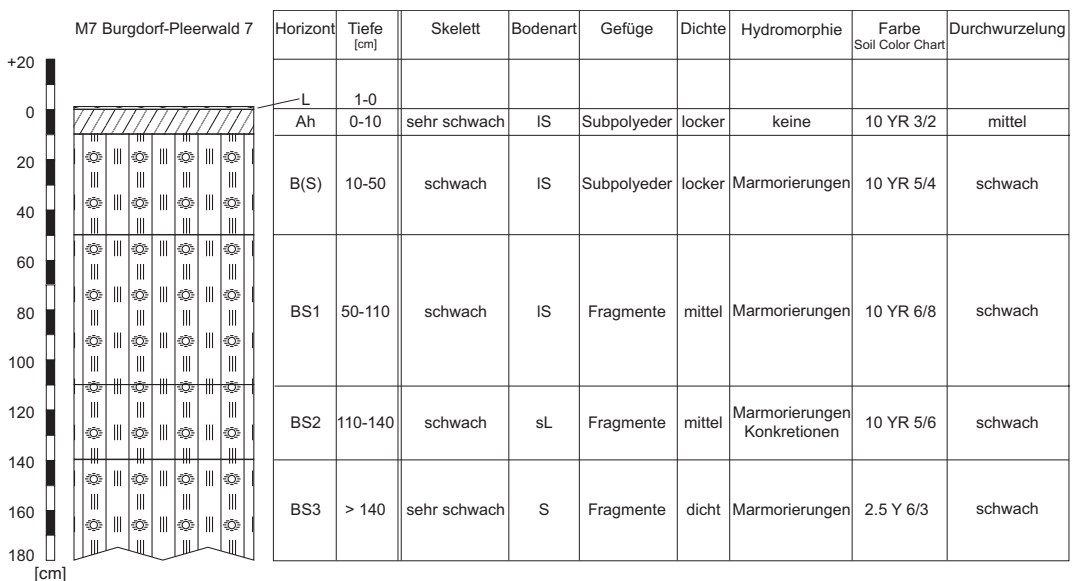
Tab. M7.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Burgdorf-Pleerwald 7	
Lokalname	Pleerwald 7 (Kanton Bern, Gemeinde Burgdorf)
Lage	Landeskarte 1:25000 Blatt 1147, Burgdorf Koordinaten 612080/209700
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 7: Typischer Waldmeister-Buchenwald (<i>Galio odorati-Fagetum typicum</i>)
Horizontfolge	L-Ah-B(S)-BS1-BS2-BS3
Humusform	Mull
Bodentyp	Braunerde, schwach pseudovergleyt
Bodentyp (FAO 1988)	(Gleyic) Cambisol

Tab.M7.2 **Bodenbildungsfaktoren am Profilort Burgdorf-Pleerwald 7**

Relief	Höhe ü. M.	580 m	
	Exposition	S	
	Neigung	50%	
	Geländeform	Hangfuss	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; obere Meeresmolasse (Sandstein)	
	Lithofazies	Nr. 22: Molassesandsteine	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein:	mittel – gross
		chemische Verwitterbarkeit Gestein:	klein
Klima		Tongehalt Gestein:	mittel
	T/N Jahresmittel	8.6°C/1151 mm	
	T/N Januarmittel	– 0.4°C/74 mm	
	T/N Julimittel	18.6°C/92 mm	
	Tage mit Schneedecke	57	
	Wärmegliederung	ziemlich kühl	
Pflanzen	Länge der Vegetationsperiode	190–200 Tage	
	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (25–30 m Höhe)	90%	75–100% Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>)
	Strauchschicht	0%	–
	Krautschicht	80%	Berg-Goldnessel (<i>Lamium galeobdolon susp. montanum</i>)
			Echter Waldmeister (<i>Galium odoratum</i>)
			Gemeiner Sauerklee (<i>Oxalis acetosella</i>)
			Wald-Segge (<i>Carex sylvatica</i>)
			Rasen-Schmieie (<i>Deschampsia cespitosa</i>)
			Gemeines Hexenkraut (<i>Circaea lutetiana</i>)
	Moosschicht	0%	–

Tab.M7.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Burgdorf-Pleerwald 7

Bodenart: IS lehmiger Sand, sL sandiger Lehm, S Sand



Die Profilwand ist farblich wenig differenziert. Ab 5 cm Tiefe verursachen Vernässungsmerkmale einige Flecken im homogenen, bräunlichen Grundton der Bodenmatrix. Die obersten 10 cm des Mineralbodens sind durch Beimengung von organischer Substanz bräunlich schwarz gefärbt. Bis 140 cm Tiefe dominieren dann gelblich braune Farbtöne. Im Bereich der Profilsohle deutet die matt gelbe Farbe die Nähe zum Ausgangsgestein an. Der Boden enthält fast kein Skelett und die Feinerde ist sandig. Bis 50 cm Tiefe ist das Gefüge durch subpolyedrische Strukturen, weiter unten vor allem durch Fragmente geprägt. Die Dichte nimmt vom lockeren Oberboden bis zum dichten Unterboden deutlich zu. Ab 10 cm Tiefe kommen Vernässungsmerkmale in Form von Marmorierungen und Konkretionen vor. Der Boden ist bis zur Profilsohle durchwurzelt.

Aufgrund der vorgefundenen morphologischen Merkmale wird die Horizontfolge als L-Ah-B(S)-BS1-BS2-BS3 festgelegt und der Boden als schwach pseudovergleyte Braunerde klassiert. Die Vernässung erfolgt durch Stauwasser.

Ergänzende Bodenmerkmale

Da das Profil zuwenig tief gegraben wurde, kann die Tiefe der Kalkgrenze nicht dokumentiert werden. Sie ist aber sicher unterhalb von 180 cm Tiefe vorhanden. Gemäss pH-Hellige ist die Feinerde profilumfassend sehr sauer. Im Profil sind keine unüberwindbaren Hindernisse für das Wurzelwachstum erkennbar.

M7.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

M7.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

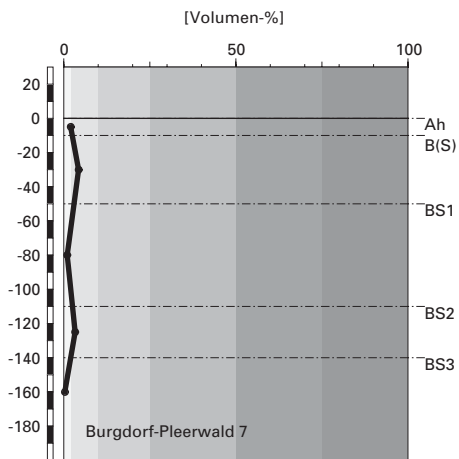
Skelettgehalt

Diese aus Molassesandstein entstandene Braunerde ist sehr schwach bis schwach skeletthaltig ([Abb.M7.3](#)).

Bodenart

Den Einfluss des Sandsteins auf den Boden sieht man nicht nur beim Skelettgehalt, sondern auch bei der Bodenart. In der Feinerde überwiegt nämlich die Sandfraktion sehr deutlich ([Abb.M7.4](#)). Die Feinerde wird mit zunehmender Profiltiefe grobkörniger. Damit kommt der mit der Tiefe abnehmende Verwitterungsgrad des Sandsteins zum Ausdruck. Der Anteil der Tonfraktion ist im BS3-Horizont mit 7 % minimal. In Bezug auf den Ton-

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

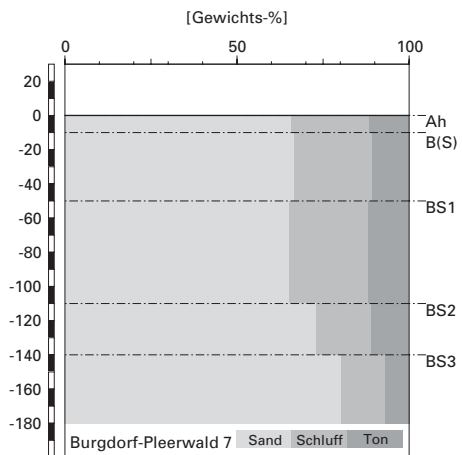


Abb. M7.3 (links) Skelettgehalt

Abb. M7.4 (rechts) Bodenart

gehalt wird der Boden im BS3-Horizont als leicht, in allen übrigen Horizonten als mittelschwer bezeichnet. Bei der Bestimmung der Bodenart im Feld wurde der Tonanteil in den meisten Horizonten leicht unterschätzt (Tab. M7.3).

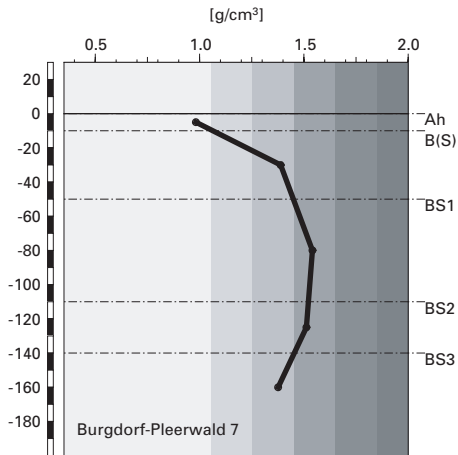
Dichte der Feinerde

Die Dichte nimmt bis in eine mittlere Profiltiefe zu und dann zur Profilssole hin wieder ab (Abb. M7.5). Zwar ist die Feinerde-Dichte im BS1-Horizont mit 1.54 g/cm^3 maximal, wird aber mit diesem Wert als bloss mittel klassiert.

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Dieser sandreiche Boden ist je nach Horizont hoch bis sehr hoch durchlässig (Abb. M7.6).

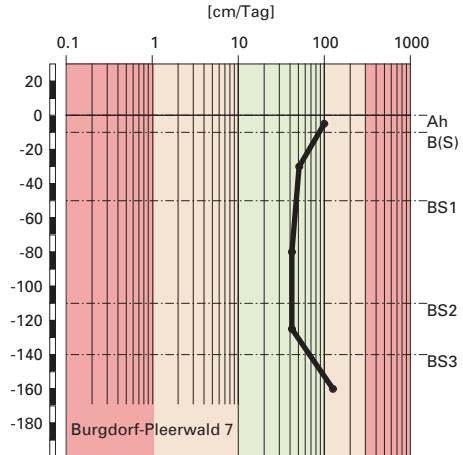
Feinerde-Dichte



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. M7.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. M7.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität bis 120 cm Tiefe wird mit 233 l/m² als sehr hoch klassiert (Abb. M7.7). Positiv auf die Speicherleistung wirkt sich vor allem der geringe Skelettgehalt aus.

M7.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In dieser schwach pseudovergleyten Braunerde kommen ab 10 cm Tiefe Konkretionen und vereinzelte Marmorierungen vor. Diese Vernässungsmerkmale treten aber relativ kleinflächig auf, so dass sie in der homogen braunen Profilwand farblich kaum erkennbar sind (Abb. M7.1). Zwar ist bei Wassersättigung mit ungenügender Durchlüftung und in der Folge mit Sauerstoffarmut zu rechnen. Die morphologisch nur schwach ausgeprägten Vernässungsmerkmale weisen jedoch darauf hin, dass gesättigte Phasen jeweils nur kurz andauern. Betrachtet man die Wasserleitfähigkeits-

pflanzenverfügbares Wasser

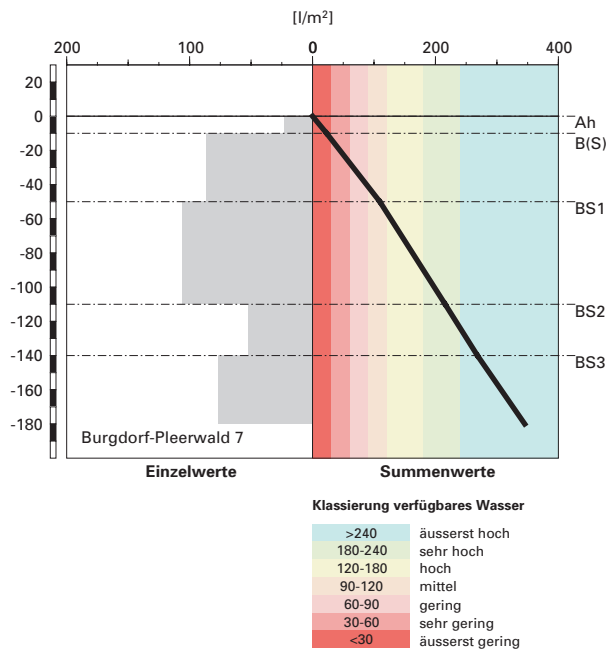


Abb. M7.7 Pflanzenverfügbares Wasser

kurve (Abb. M7.6), so erwartet man keinen Wasserstau im Boden. Offenbar wird aber trotz der grossen Wasserdurchlässigkeit temporär Wasser gestaut, was darauf hindeutet, dass wir die Leitfähigkeit in diesem Profil methodisch bedingt etwas zu hoch einschätzen. Es ist aber auch denkbar, dass eine kleinräumig variierende Porenstruktur eine lokal etwas länger andauernde Vernässung durch Haftwasser verursacht.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Der Boden lässt sich nicht optimal durchwurzeln, da die untere kritische Dichtegrenze von 1.4 g/cm^3 zwischen 50 und 140 cm Tiefe leicht überschritten ist und die Durchlüftung zeitweise ungenügend sein dürfte. Im Profil sind aber keine unüberwindbaren Hindernisse für die Wurzeln erkennbar, weshalb der Wurzelraum als nicht beschränkt und mit > 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig bewertet wird. Der Boden wird vom aktuellen Buchenbestand gut genutzt, denn Wurzeln sind bis zur Profilssole in 180 cm Tiefe

vorhanden. Wir gehen davon aus, dass die Durchwurzelbarkeit selbst für die auf ungenügende Durchlüftung und erhöhte Dichte empfindlich reagierenden Baumarten wie Buche und Fichte bloss marginal eingeschränkt ist.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Für die Referenztiefe von 120 cm ergeben unsere Berechnungen, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 30 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da der speicherstarke Boden sehr tiefgründig (> 120 cm) ist und ein günstiges Klima herrscht, besteht an diesem Buchenstandort (E & K 7) nur ein kleines Trockenstress-Risiko.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er kaum Skelett enthält.

M7.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

M7.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

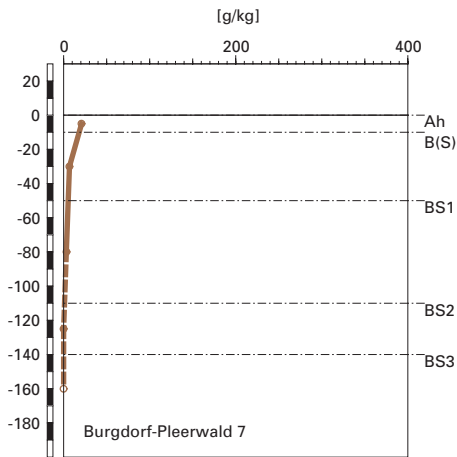
Das Bodenprofil liegt in einem reinen Buchenbestand. Trotz dem relativ grossen Deckungsgrad der Baumschicht von 90 % gedeiht auf 80 % der Fläche eine Krautschicht aus Berg-Goldnessel, echtem Waldmeister, gemeinem Sauerklee, Wald-Segge, Rasen-Schmieie und gemeinem Hexenkraut. Die Streu stammt von der Buche und zu einem grossen Anteil auch aus der Krautschicht. Sie wird insgesamt als mässig bis gut abbaubar eingeschätzt. Der bräunlich schwarze Ah-Horizont hebt sich deutlich vom matt gelblich braunen B(S)-Horizont ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) beträgt 2.1 % (Abb. M7.8). Der C_{org} -Gehalt nimmt von 0.7 % im B(S)- auf 0.3 % im BS1-Horizont ab. Im BS2- und BS3-Horizont ist kein organischer Kohlenstoff mehr bestimmbar. Aus den C_{org} -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 83 t/ha (Abb. M7.9).

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt ist bis 140 cm Tiefe praktisch konstant zwischen 11 und 12 % (Abb. M7.4). Im BS3-Horizont nimmt er auf 7 % ab.

Der Dithionit-extrahierbare Eisengehalt (Fe_d) nimmt vom Minimum im Ah-Horizont bis zum Maximum im BS2-Horizont kontinuierlich zu und im BS3-Horizont auf einen dazwischen liegenden Wert wieder ab (Abb. M7.10). Im Prinzip verändert sich der Fe_o -Gehalt im Tiefenprofil nicht, sondern

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

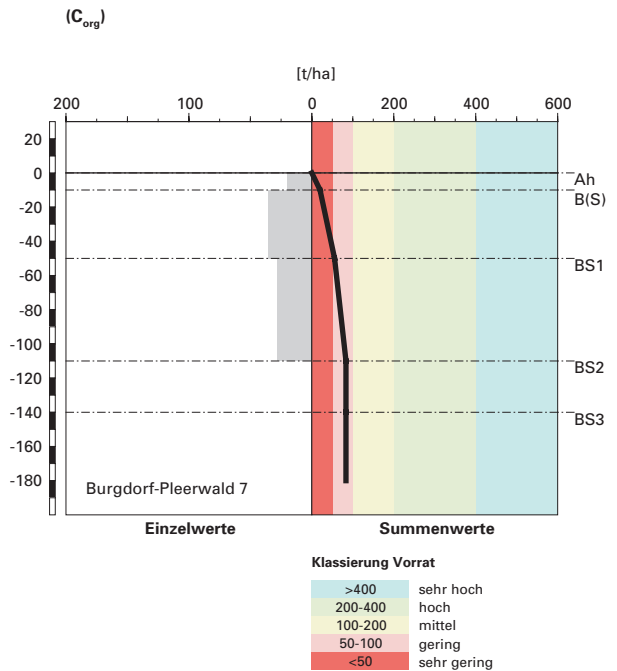


Abb. M7.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

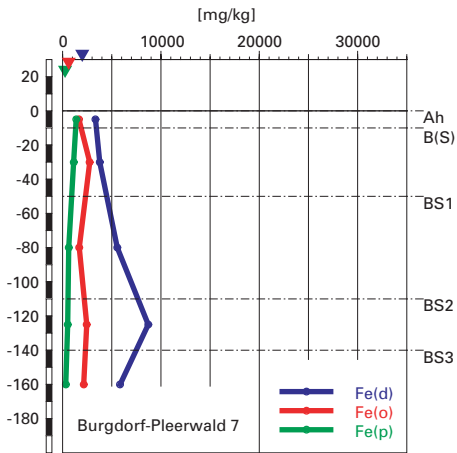
Abb. M7.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

schwankt um einen mittleren Wert von rund 2.1 g/kg, wobei die Schwankungen in den obersten zwei Horizonten grösser sind als im tieferen Unterboden. Der Gehalt des Pyrophosphat-extrahierbaren Eisens (Fe_p) nimmt mit der Tiefe vom Maximum im Ah-Horizont bis in den BS3-Horizont ab. Sowohl der Gehalt des Oxalat- als auch jener des Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminiums (Al_o bzw. Al_p) nimmt vom Ah- in den B(S)-Horizont leicht zu (Abb. M7.11 und Tab. A53 in Zimmermann et al. 2006). In den tiefer gelegenen Horizonten nehmen die Gehalte ab, wobei Al_p im BS2-Horizont nicht mehr bestimmbar ist.

Wie die Tiefenverteilung von Fe_o zeigt auch das Verhältnis von Fe_o/Fe_d einen unregelmässigen Tiefenverlauf (Abb. M7.12). Es nimmt jedoch mit der Tiefe tendenziell ab. Die Al_p/Al_o - und Fe_p/Fe_o -Verhältnisse nehmen mit der Tiefe dagegen kontinuierlich ab.

Eisen-Oxide

(Gehalte)



Aluminium-Oxide

(Gehalte)

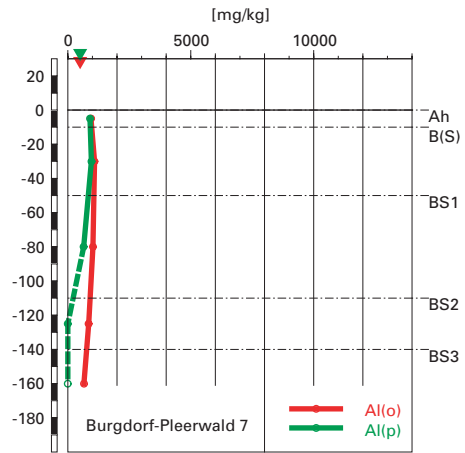


Abb. M7.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. M7.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

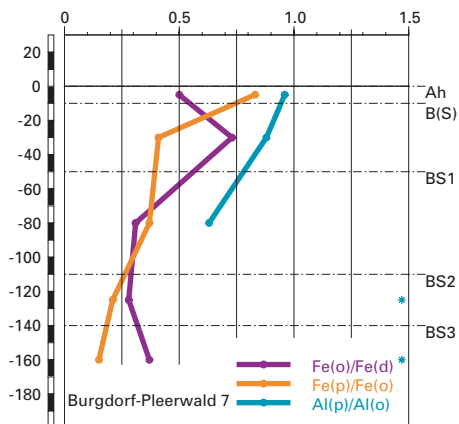


Abb. M7.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Die vor allem von der Buche und aus der Krautschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig abgebaut. Mit der Horizontfolge L-Ah wird die Humusform als Mull bezeichnet. Die nur mässig gut abbaubare Buchenstreu wird am Profilort durch Streu aus der Krautschicht ergänzt, was die Attraktivität für die Mikroorganismen fördert und die Abbauprozesse beschleunigt. Trotz den stark bis mässig sauren pH-Verhältnissen sind Spuren von Wurmaktivität zu finden. Die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse sind für eine hohe biologische Aktivität günstig und die Marmorierungen ab 10 cm Tiefe, welche eine zeitweilige Vernäsung anzeigen, sind diesbezüglich kein Hindernis.

Das C/N- bzw. C/P-Verhältnis beträgt im Ah-Horizont 14 bzw. 126 und wird als mässig eng klassiert. Das mässig enge C/N-Verhältnis ist mit einer hohen Mineralisierung der organischen Substanz verbunden, was bedeutet, dass ein Grossteil der organischen Substanz vollständig abgebaut und nur ein kleinerer Teil in Humusstoffe umgewandelt wird. Die Stabilisierung dieser Humusstoffe ist nicht sehr ausgeprägt, da die Feinerde profilumfassend karbonatfrei ist, einen nur moderaten Tongehalt aufweist und die Al_o - und Fe_o -Gehalte im regionalen Vergleich mittel bis gering sind. Deshalb hat sich im Boden ein im gesamtschweizerischen Vergleich nur geringer Vorrat von 83 t/ha aufgebaut ([Abb. M7.9](#)).

Die Tiefenverteilung der Dithionit- und Oxalat-extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte widerspiegelt das unterschiedliche Verhalten von Aluminium und Eisen bei variierenden Redoxverhältnissen. Eisen ist redoxsensitiv, wird also bei Wassersättigung infolge Wasserarmut reduziert, gelöst und zu Stellen transportiert, wo es wieder mit Sauerstoff in Berührung kommt, oxidiert und ausfällt. Dadurch ist die Eisenverteilung im Boden sehr heterogen, was an den Marmorierungen in den durch Stauwasser beeinflussten Horizonten sichtbar wird. Die an Eisen verarmten und mit Eisen angereicherten Zonen sind zufällig über die Bodenmatrix verteilt. Dies erklärt die grosse Variabilität der Fe_o -Gehalte, die nicht einem Trend gehorchend, sondern ziemlich willkürlich mit der Bodentiefe variieren. Auch der mit der Tiefe zunehmende Fe_d -Gehalt muss mit solchen Inhomogenitäten erklärt werden, obwohl die ändernden Redoxbedingungen vor allem die amorphe Fraktion betreffen. Deshalb ist in diesem Boden das Fe_o/Fe_d -Verhältnis kaum interpretierbar. Anders verhält es sich mit Aluminium, welches nicht redoxsensitiv ist und dessen Tiefenverteilung nicht durch redoximorphe Prozesse beeinflusst wird.

Aluminium zeigt im Oberboden Anzeichen einer beginnenden Verlagerung. Der Al_o -Gehalt nimmt vom Ah- in den B(S)-Horizont zuerst leicht zu, bleibt im BS1-Horizont auf demselben Niveau und nimmt dann bis in den BS3-Horizont ab (Abb. M7.11). Aluminium beginnt sich bei einem pH-Wert unterhalb von 4.6 aus seinen oxidischen Verbindungen zu lösen und kann in gelöster organischer oder anorganischer Form mit dem Sickerwasser verlagert werden. Dass es vermutlich vor allem zusammen mit organischer Substanz verlagert wird, ist daran ersichtlich, dass der Al_o -Gehalt nur bis in den BS1-Horizont, in welchem organischer Kohlenstoff noch bestimmbar ist, erhöht ist, obwohl der pH-Wert auch eine Verlagerung in gelöster anorganischer Form bis in den BS2-Horizont zulassen würde. Die Verlagerung ist insgesamt aber nur schwach ausgeprägt, was der Verlagerungsindex für Al_o von 1.1 (Quotient aus Al_o im B(S)- und im Ah-Horizont) ausdrückt.

Al_p und Fe_p nehmen mit abnehmendem C_{org} -Gehalt ebenfalls ab. Die Pyrophosphat-Extraktion repräsentiert jenen Teil des extrahierbaren Aluminiums und Eisens, welcher mit der organischen Substanz assoziiert ist. Aufgrund des weiten Al_p/Al_o -Verhältnisses in den drei obersten Horizonten wird die starke Assoziation der amorphen Aluminiumfraktion mit der organischen Substanz bestätigt (zwischen 63 und 96%; Abb. M7.12). Auch vom amorphen Eisen sind bis zu 80% an die organische Substanz gebunden.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als schwach pseudovergleyte Braunerde klassiert. Die Interpretation der Bodenhauptbestandteile bestätigt diese Klassierung. Die Pseudovergleyung wird an der zufälligen Verteilung des extrahierbaren Eisens im Profil gut sichtbar. Im Oberboden zeigt die beginnende Aluminiumverlagerung, dass sich der Boden in Richtung einer podsolierten Braunerde entwickelt. Bei einer weiteren Versauerung ist nämlich damit zu rechnen, dass auch Eisen verlagert wird.

M7.4 Themenbereich «Säurezustand»

M7.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Der pH-Wert zeigt einen auffällig gleichförmigen Verlauf (Abb. M7.13). Der Boden ist bis in eine Tiefe von 110 cm stark sauer und der pH-Wert nimmt über diesen grossen Profilbereich lediglich von 4.1 im Ah-Horizont auf 4.2 im BS1-Horizont zu. Zur Profilsohle hin, die sich in 180 cm Tiefe befindet, steigt der pH-Wert nochmals leicht auf 4.7 an. Die Feinerde befindet sich bis in den BS1-Horizont in der Säureklasse 4, die beiden tiefsten Horizonte liegen in der Säureklasse 3.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Mit Ausnahme des B(S)-Horizontes ist der Kationenaustauscher im ganzen Boden mehrheitlich mit basischen Kationen belegt (Abb. M7.14). Bis in eine Tiefe von 110 cm ist in allen Horizonten eine fast gleichbleibend grosse Menge von austauschbarem Aluminium vorhanden. Auch im CS-Horizont sind noch geringe Anteile von austauschbarem Aluminium festzustellen. Ab 50 cm Tiefe sind die vergleichsweise grossen Anteile von austauschbarem Magnesium hervorzuheben. (vergleiche dazu die Profile M4 und M6).

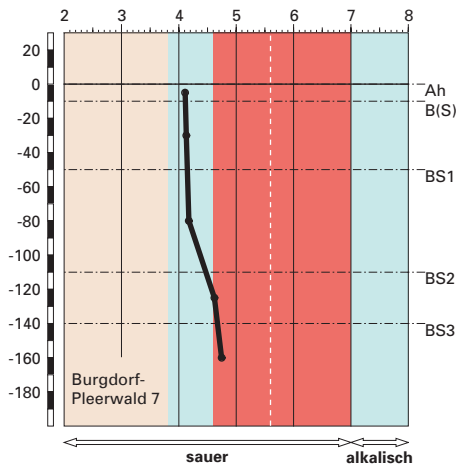
Die Basensättigung ist im Verhältnis zu den tiefen pH-Werten im ganzen Profil vergleichsweise hoch (Abb. M7.15). Im Ah-Horizont ist sie mit rund 60% als mässig hoch und im B(S)-Horizont, wo sie am kleinsten ist, als mittel zu bewerten. Ab 110 cm Tiefe ist die Basensättigung sehr hoch.

M7.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

Diese schwach pseudovergleyte Braunerde ist aus Molassesandstein entstanden, der zweifelsohne einen bestimmten Karbonatgehalt besitzt, wie dies an der Belegung des Kationenaustauschers und am Verlauf der Basensättigung unschwer zu erkennen ist. Aus diesem Grund wird die Versauerung mit dem Tiefenverlauf des pH-Wertes beurteilt. Der karbonathaltige, nicht erschlossene Unterboden liegt in der Säureklasse 1. Die pH-Werte verteilen sich über 4 Säureklassen womit der Boden als stark versauert gilt. Bis zum BS1-Horizont befindet sich der Boden in der Säureklasse 4 wo die Säurepufferung durch Auflösung von Aluminiumverbindungen erfolgt. In diesem Teil des Profils ist rund die Hälfte der Austauscherplätze mit Aluminiumionen belegt. Im Ah- und BS1-Horizont überwiegt allerdings

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

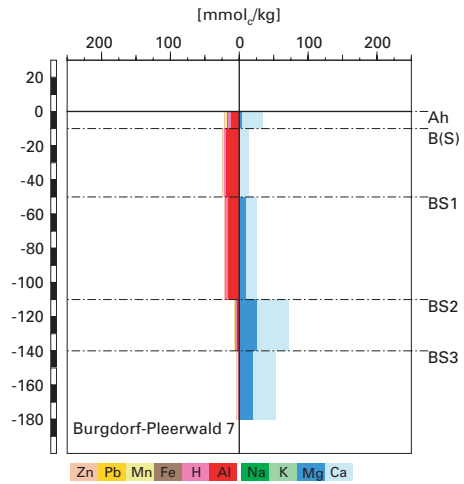
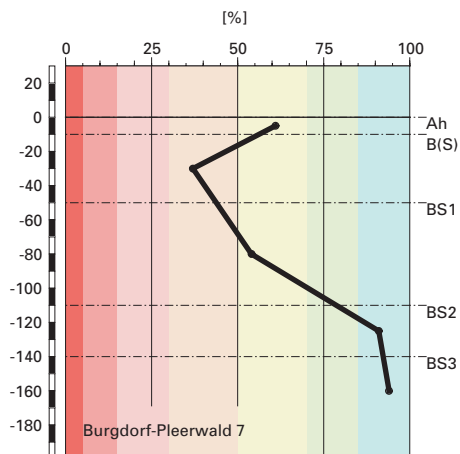


Abb.M7.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb.M7.14 (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.M7.15 Basensättigung

der Anteil basischer Kationen leicht. Dies ist bei den stark sauren Verhältnissen ungewöhnlich und ist im Ah-Horizont durch den Nährstoffkreislauf, in den andern Horizonten durch das Stauwasser bedingt. Dieses hemmt die Verlagerung, so dass die ausgetauschten basischen Kationen nicht in den Unterboden verlagert oder aus dem Profil ausgewaschen werden können. Die sehr hohe Basensättigung ab 110 cm Tiefe kommt durch Diffusion von basischen Kationen aus dem karbonbathaltigen Unterboden in die oberen Profilpartien zustande. Dennoch ist selbst in der Feinerde an der Profilschle, die sich im unteren pH-Bereich der Säureklasse 3 befindet, noch Aluminium in austauschbarer Form vorhanden, was anzeigt, dass die Versauerung den ganzen erschlossenen Teil des Bodens erfasst hat. Obwohl der Boden aufgrund der pH-Werte als stark versauert beurteilt wird, ist die Basensättigung insgesamt hoch was bei der Qualitätsbeurteilung zu beachten ist.

Risiko für Boden und Pflanzen

Beurteilt mit der Feinerdemenge, von der sich etwa 40% in der Säureklasse 3 mit einer nur schwachen Pufferwirkung befinden, wird die Versauerungsempfindlichkeit, ausgedrückt in einer zu erwartenden Abnahme des pH-Wertes als mässig beurteilt. Diese Beurteilung ist vermutlich etwas zu pessimistisch, weil die versauerungsempfindliche Zone im untersten Profiltail liegt. Die Säuren werden mit grosser Wahrscheinlichkeit in den obersten 110 cm des Bodens neutralisiert, die im effizienten Aluminium-Pufferbereich der Säureklasse 4 liegen. Hinzu kommt, dass das Stauwasser sowie die Nachlieferung basischer Kationen aus dem Unterboden einer weitergehenden Versauerung stark entgegen wirken.

Das Gedeihen säureempfindlicher Pflanzen ist im ganzen Boden nicht beeinträchtigt, denn in keinem Bodenhorizont ist das BC/Al-Verhältnis im kritischen Bereich 0.2. Auch bei einer weiteren pH-Abnahme dürfte es noch sehr lange dauern, bis mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit die Al-Toxizität zu einem Problem werden könnte, weil der vergleichsweise hohe Basenanteil durch den Stauwassereinfluss und durch den basenreichen Untergrund im Boden erhalten bleiben wird. Am empfindlichsten ist der B(S)-Horizont. Hier ist das BC/Al-Verhältnis mit 0.7 am kleinsten und die Zufuhr basischer Kationen durch Stauwasser oder im Zuge des Nährstoffkreislaufes unterbleibt weitgehend.

M7.5 Themenbereich «Schwermetalle»

M7.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Chrom und Ni nehmen in diesem Boden vom Ah- bis zum BS2-Horizont zu, wobei die Zunahme für Ni relativ stärker ausgeprägt ist (Abb. M7.16). Im BS3-Horizont verändert sich gegenüber dem BS2-Horizont nicht viel. Der Zn-Gehalt nimmt vom Ah- bis zum BS2-Horizont ebenfalls etwas zu, geht darunter aber stark bis zum minimalen Wert im BS3-Horizont zurück. Kupfer und Pb sind im ganzen Profil nicht nachweisbar.

M7.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Molassesandstein (Lithofazies 22) liegen der Cr-Gehalt im BS3-Horizont oberhalb, die Gehalte aller übrigen Schwermetalle innerhalb typischer Wertebereiche. Im Vergleich zu den Angaben für das Gebiet Mittelland sind der Cu-, Zn- und Pb-Gehalt sehr niedrig bis niedrig, der Ni-Gehalt erhöht und der Cr-Gehalt hoch.

Anmerkung: Die Basis für die Wertung des Cu- und Pb-Gehaltes ist der Salpetersäure-Extrakt.

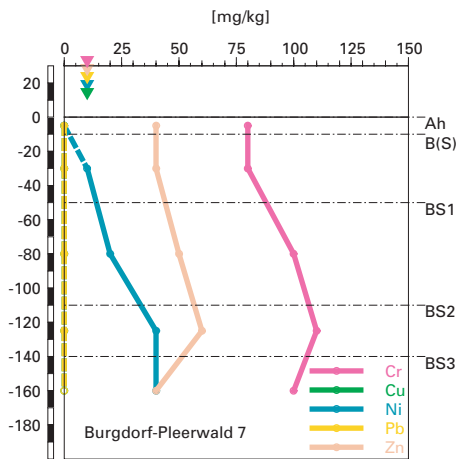
M7.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Bezogen auf die VBBo sind die Schwermetallgehalte mit Ausnahme erhöhter bis hoher Cr- und Ni-Werte in den beiden untersten Horizonten sehr niedrig bis niedrig (Abb. M7.17). Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

M7.5.4 Anreicherungsfaktoren

Dieser Boden ist im oberen Teil an Cr und Ni und etwas an Zn verarmt (Tab. M7.4). Die Tiefenverteilung aller Schwermetalle (Abb. M7.16 und M7.17) ist ähnlich wie die des Dithionit-extrahierbaren Eisens (Abb. M7.10) mit maximalen Gehalten im BS2-Horizont. Dies legt nahe, dass ein wichtiger Prozess in diesem Boden die Auflösung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen unter den temporär reduzierenden Bedingungen ist. Da die Verhältnisse bis zum BS1-Horizont stark sauer und darunter mässig sauer sind, werden die Schwermetalle nicht wieder ausgefällt sondern

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



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

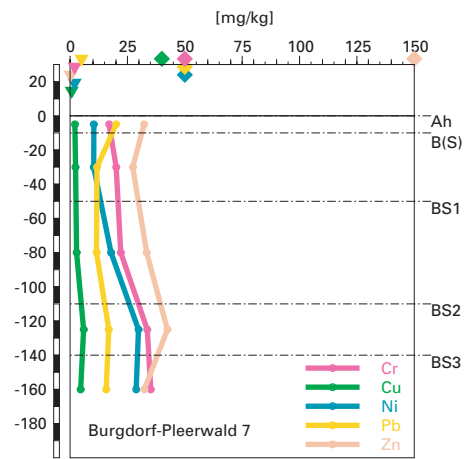


Abb. M7.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. M7.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

Tab. M7.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 10	0.55	n.b.	<0.17	n.b.	0.69
B(S)	10– 50	0.51	n.b.	0.16	n.b.	0.64
BS1	50–110	0.75	n.b.	0.38	n.b.	0.94
BS2	110–140	0.76	n.b.	0.69	n.b.	1.04
BS3	>140	1.00	n.b.	1.00	n.b.	1.00

bleiben in Lösung und werden aus dem Profil ausgewaschen. In wie weit allenfalls gelöste organische Substanz bei der Auswaschung der Schwermetalle beteiligt ist, lässt sich mit den vorhandenen Daten nicht sagen. Der gegenüber den darunterliegenden Horizonten erhöhte Salpetersäure-extrahierbare Pb-Gehalt im Ah-Horizont (Abb. M7.17) deutet auf anthropogenen Eintrag hin. Der ebenfalls in diesem Horizont etwas erhöhte Salpetersäure-extrahierbare Zn-Gehalt wird vermutlich durch Rückführung dieses Mikro-nährstoffes mit der Streu in den Oberboden verursacht.

Schwermetallmobilität

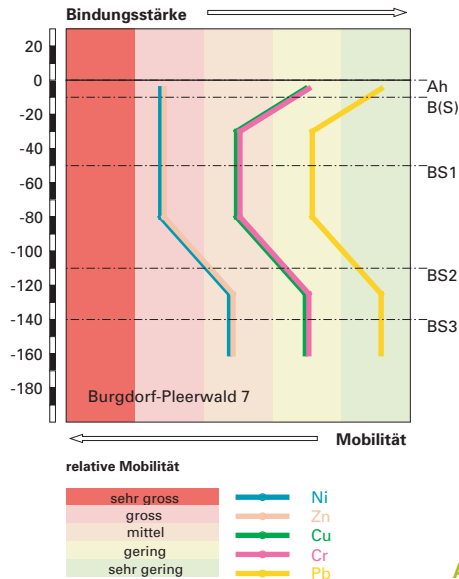


Abb.M7.18 Mobilität der Schwermetalle

M7.5.5

Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Im stark sauren Teil dieses Bodens vom Ah- bis zum BS1-Horizont wird die Mobilität von Ni und Zn als gross eingestuft (Abb.M7.18). Chrom und Cu sind im B(S) und im BS1-Horizont etwas und im Ah-Horizont wegen des Einflusses des hohen Gehaltes an organischer Substanz deutlich weniger mobil als Ni und Zn. Blei wiederum ist nochmals etwas weniger mobil als Cr und Cu. In den mässig sauren BS2- und BS3-Horizonten wird die Mobilität von Ni und Zn als mittel, von Cr und Cu als gering und von Pb als sehr gering eingestuft. Nicht berücksichtigt bei der in Abb.M7.18 dargestellten Mobilitätsschätzung ist die Freisetzung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen unter den temporär reduzierenden Bedingungen und die damit verbundene Erhöhung der effektiven Mobilität.

Aufgrund der relativ tiefen pH-Werte und des mobilitätserhöhenden Einflusses der zeitweisen Wassersättigung besteht eine relativ grosse Gefahr, dass Schwermetalle in den Untergrund bzw. lateral ausgewaschen werden. Berücksichtigt man die Gehalte im untersten Horizont, so ist die Gefahr aktuell für Cr, Ni und Zn besonders gross.

M7.5.6 **Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen**

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

M7.6 **Themenbereich «Nährstoffe»**

M7.6.1 **Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden**

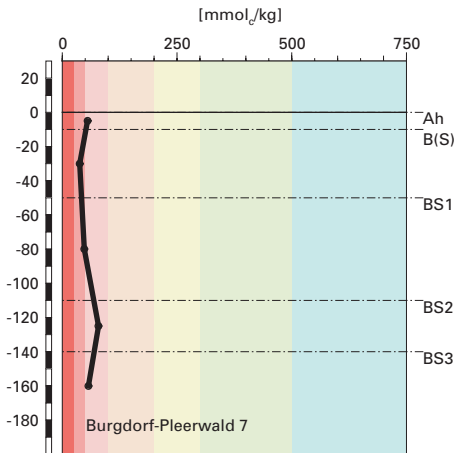
Aufgrund von Humusform und Bodengefüge wird die Nährstoffverfügbarkeit als beinahe optimal beurteilt. Die vor allem von Buchen und zum Teil aus der Krautschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres praktisch vollständig abgebaut, obwohl Buchenstreu nur mässig abbaubar ist. Am Profil hat sich kein F-Horizont gebildet, weshalb die Humusform als Mull klassiert wird. Allerdings zeigt die Subpolyederstruktur der Feinerde im Oberboden, dass die biologische Aktivität nicht ganz optimal ist, was bei den stark sauren pH-Verhältnisse im Oberboden auch nicht erwartet werden kann. Die nur spärlich vorhandenen Wurmlosungen lassen auf eine wenig intensive Regenwurmakktivität schliessen. Dies birgt eine gewisse Gefahr, dass bei einer Verschlechterung der Bedingungen die Nährstoffverfügbarkeit abnehmen wird.

Das C/N-Verhältnis beträgt im Ah-Horizont 14 und liegt damit in einem Bereich der für Mull typisch ist. Es wird als mässig eng klassiert und ist mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen. Das ebenfalls als mässig eng klassierte C/P-Verhältnis von 126 im Ah-Horizont bestätigt die gute Nährstoffverfügbarkeit.

M7.6.2 **Nährstoffgehalte**

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) variiert im Profil nur wenig ([Abb. M7.19](#)). Sie ist im Ah-Horizont gering, im Bereich von 10 bis 110 cm Tiefe sehr gering und im BS2- und BS3-Horizont wieder gering. Im Ah-Horizont ist sie aufgrund des leicht erhöhten C_{org} -Gehaltes grösser als im tiefer gelegenen Bereich. Im BS2- und BS3-Horizont, welche am stärksten vom Stauwasser beeinflusst sind, ist sie wiederum leicht höher, da die

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)

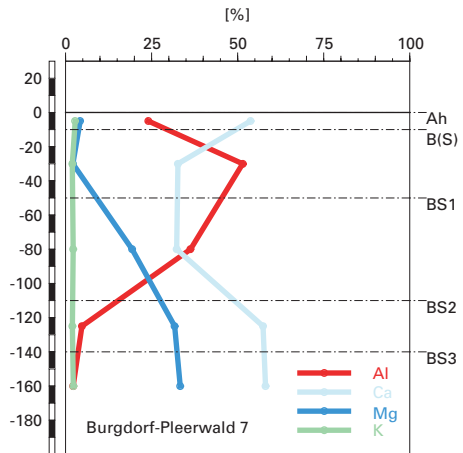


Abb. M7.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. M7.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Versauerung mit der damit verbundenen Blockierung bzw. Zerstörung von Austauscherplätzen in diesem Bereich noch nicht so weit fortgeschritten ist wie in den darüber gelegenen Horizonten.

Entsprechend dem Versauerungszustand und den damit verbundenen Säurepufferungsmechanismen hat Aluminium die Nährstoffkationen bis in 110 cm Tiefe bereits stark von ihren Austauscherplätzen verdrängt (Abb. M7.20). Im Ah-Horizont sind die Nährstoffkationen, insbesondere Ca, trotz dem pH-Minimum stärker vertreten als Aluminium. Dies liegt im Nährstoffkreislauf begründet, durch welchen immer wieder Nährstoffkationen mit der Streu an die Bodenoberfläche gelangen und so die Basensättigung auf einem relativ hohen Niveau halten. Mit zunehmender Tiefe geht der Einfluss von Aluminium zurück und die Belegung mit Nährstoffkationen nimmt deutlich zu, was besonders beim Übergang vom BS1- in den BS2-Horizont zu beobachten ist. Dies hat vermutlich mit dem Stauwasser zu tun, dessen

Einfluss im BS2-Horizont länger anhält. In Vernässungsphasen kann sich der Austauscher mit Nährstoffkationen aus dem mit diesen Kationen angereicherten Stauwasser regenerieren. Ähnlich wie beim Profil Burgdorf M6 fällt auch hier die grosse Mg-Belegung in den untersten drei Horizonten auf. Sie ist zwar kleiner als die Ca-Belegung, jedoch im regionalen Vergleich sehr hoch. Beide Profile entstanden aus dem gleichen Ausgangsgestein.

M7.6.3

Nährstoffvorräte

In den Abb.M7.21 bis M7.23 sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Bis in eine Tiefe von 110 cm nimmt der Ca-Vorrat kontinuierlich und recht deutlich zu. Unterhalb 110 cm ist die Vorratzzunahme infolge des stärkeren Stauwassereinflusses noch ausgeprägter. Bei K hingegen ist dies weniger stark ausgeprägt. Sein Vorrat nimmt über die gesamte Profiltiefe kontinuierlich zu. Der Mg-Vorrat schliesslich nimmt in den obersten 50 cm nur unbedeutend zu, zwischen 50 und 110 cm Tiefe ist die Vorratzzunahme

Kalzium-Vorrat

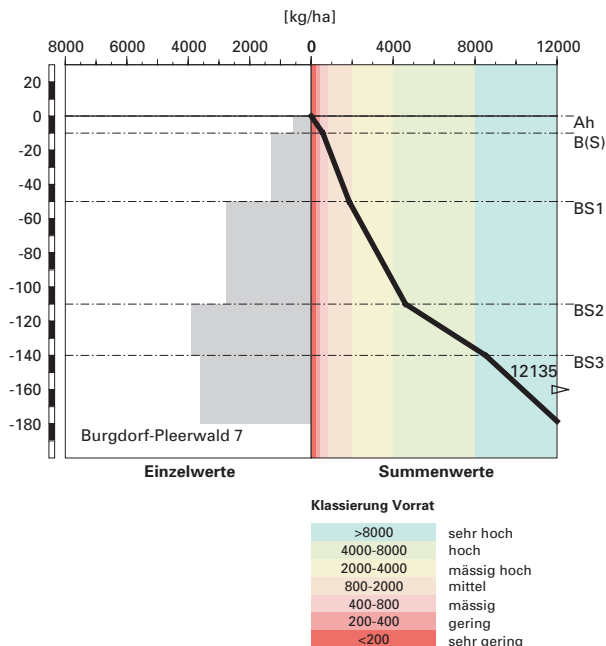


Abb.M7.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

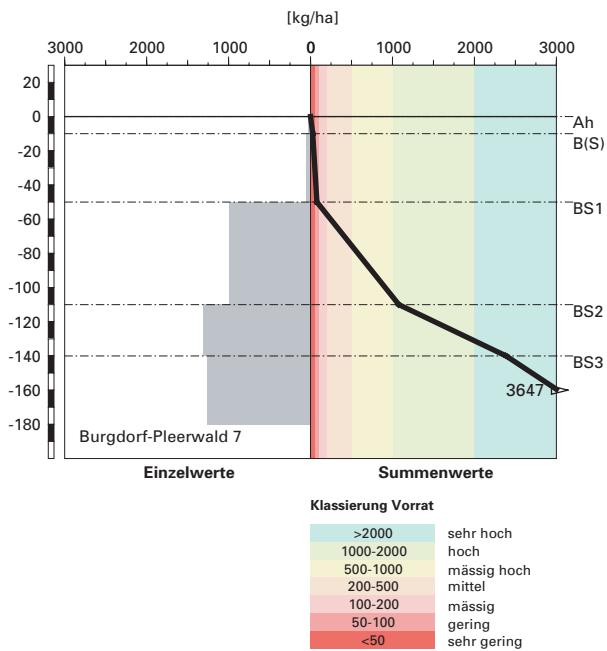


Abb.M7.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

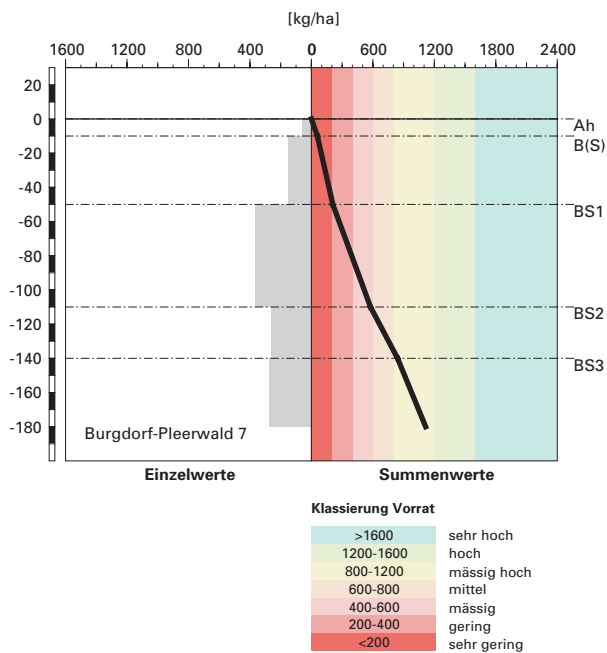


Abb.M7.23 Vorrat an Kalium

viel stärker und unterhalb 110 cm Tiefe nimmt der Mg-Vorrat nochmals verstärkt zu. Im Hauptwurzelraum (0–60 cm Tiefe) wird das Angebot an Nährstoffen wie folgt beurteilt:

Ca mässig hoch

Mg mittel

K gering

Der Boden ist bis mindestens 180 cm durchwurzelt, womit der potentielle Wurzelraum gut ausgenutzt wird. Bis zur Aufschlusstiefe von 180 cm werden die Nährstoffvorräte optimistischer beurteilt. Der Ca- und Mg-Vorrat ist sehr hoch und der K-Vorrat mässig hoch. Insgesamt werden die Nährstoffvorräte als hoch bewertet. Da das Risiko für Trockenstress klein ist, ist die Nutzung dieser hohen Nährstoffvorräte für die Pflanzen praktisch nicht eingeschränkt.

M7.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

M7.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. M7.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

M7.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Diesen fast reinen Buchenbestand bewerten wir im Hinblick auf die Baumartenmischung als recht naturnah. Nach Burger et al. (1996) ist an diesem Buchenstandort (Einheit 7S) die Humusform Mull häufig. Der vorhandene Mull ist demnach standorttypisch.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Das ziemlich kühle Klima lässt dem Waldbauer grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl. Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Buchenstandort (Einheit 7S) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Buche, Bergahorn, Esche, Stieleiche und Kirschbaum. Ob und inwieweit ungünstige Bodeneigenschaften die Baumartenauswahl einschränken, wird gleich anschliessend gezeigt.

Tab. M7.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Burgdorf-Pleerwald 7)		
Standortangaben		
Relief	Höhe	580 m ü. M.
	Exposition	S
	Neigung	50 %
Klima	Jahresniederschlag	1151 mm
	Jahrestemperatur	8.6°C
Ausgangsgestein	Sandstein	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	90 %
	Baumarten (Deckung)	75–100% Rotbuche
	Oberhöhe	25–30 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 7: Typischer Waldmeister-Buchenwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 7S: Feuchter Waldmeister-Buchenwald
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Humusform	Mull
	Bodentyp	Braunerde
	Vernässungsgrad	schwach pseudovergleyt
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist unterhalb von 10 cm Tiefe zeitweise ungenügend. Die Vernässung erfolgt durch Stauwasser.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten uneingeschränkt und mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Die nicht optimale Durchlüftung und die recht grosse Dichte des Bodens dürften seine Durchwurzelbarkeit nur unwesentlich beeinträchtigen. Der Wurzelraum wird mit mehr als 120 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln wurden bis 180 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht für alle Baumarten ein kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die obersten 110 cm des Bodens sind stark sauer. Weiter unten im Profil ist die Feinerde mässig sauer. Die Kalkgrenze verläuft unterhalb der Profilsohle, also unterhalb von 180 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Mull weist auch das mässig enge C/N-Verhältnis im Ah-Horizont auf eine hohe Mineralisierungsrate hin. Unterstützt wird diese Aussage durch das mässig enge C/P-Verhältnis im Ah-Horizont. Die biologische Aktivität wird gesamthaft als hoch beurteilt.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind gross. Der Ca- und Mg-Vorrat sind sehr hoch und der K-Vorrat ist mässig hoch.
Verankerung		Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet.
Befahrbarkeit		Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Die nicht optimale Durchlüftung und die recht grosse Dichte dieser schwach pseudovergleyten Braunerde dürften ihre Durchwurzelbarkeit nur unwesentlich beeinträchtigen. Wir gehen also davon aus, dass der Boden von allen Baumarten weitgehend uneingeschränkt und tief durchwurzelt werden kann. Damit schränkt die Durchwurzelbarkeit des Bodens die Baumartenauswahl nicht ein.

■ **Entwässerung des Bodens durch die Bäume**

Die biologische Entwässerung spielt in diesem bloss schwach vernässten Boden für die Baumartenwahl eine marginale Rolle und wird vernachlässigt.

■ **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 zwar kein Risiko für Al-Toxizität. In diesem bis 110 cm Tiefe stark sauren und hinsichtlich einer weiteren pH-Abnahme immerhin mässig empfindlichen Boden ist eine Verbesserung des Säurezustandes aber dennoch wünschenswert. Wir sehen jedoch keine Möglichkeit, den Säurezustand mit entsprechender Baumartenwahl wesentlich zu verbessern, weil erstens die Humusform ein Mull ist, also keine mehrjährige, saure organische Auflage vorliegt, und zweitens die Baumartenmischung bereits laubholzreich und naturnah ist. 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 hoch. Eine Erhöhung der Mineralisierung durch Einbringen geeigneter Baumarten ist nicht nötig. Was die Nährstoffumsetzung im Oberboden betrifft, kann man sich auf den Erhalt der aktuellen naturnahen Baumartenmischung beschränken.

Die in allen Horizonten relativ ausgeglichenen Gehalte an Nährstoffkationen und deren insgesamt grosser Vorrat dürften allen Baumarten ein konkurrenzkräftiges Wachstum erlauben. Dies gilt selbst für die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Die Nährstoffvorräte für sich allein betrachtet schränken die Baumartenauswahl nicht ein.

M7.7.3 Baumartenempfehlung

Das ziemlich kühle Klima lässt grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl zu. Zwei der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien schränken die Baumartenauswahl jedoch ein, und zwar der Säurezustand des Bodens und die Mineralisierung im Oberboden. Die in [Tab. M7.6](#) enthaltene Baumartenempfehlung vom BUWAL (2005) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht sind an diesem Waldstandort grundsätzlich Laubbaumarten zu fördern. Der Boden erlaubt vielen Laubbaumarten ein konkurrenzstarkes Wachstum. Die Laubhölzer erhalten die Bodenqualität nachhaltig, indem ihre gut abbaubare Streu die biologische Aktivität im Oberboden fördert, was günstige Auswirkungen auf den Säurezustand des Bodens und die Verfügbarkeit der Nährstoffe hat.

Die Baumartenempfehlung in [Tab. M7.6](#) (BUWAL 2005) steht mit jener aus bodenökologischer Sicht in Einklang.

Tab. M7.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 7S; BUWAL 2005)	Buche, Bergahorn, Esche, Stieleiche, Kirschbaum
Bodenkundliche Kriterien	Buche, Bergahorn, Esche, Stieleiche, Kirschbaum

M7.8 Literatur

Burger, T./Danner, E./Kaufmann, G./Lüscher, P./Stocker, R., 1996: Standortkundlicher Kartierungsschlüssel für die Wälder der Kantone Bern und Freiburg. Teil 1: Kommentare zu den Waldgesellschaften. Teil 2: Anwenderschlüssel. Teil 3: Anwenderschlüssel, Anhang. Solothurn/Lenzburg/Birmensdorf, ARGE Kaufmann + Partner / Burger + Stocker / Forstliche Bodenkunde WSL. Herausgeber: Amt für Wald und Natur, Kanton Bern und Kantonsforstamt, Kanton Freiburg.

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.

Tuchs Schmid, 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.
