

M17 Bodenprofil Ermatingen-Plateau

M17.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

M17.1.1 **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

Das Bodenprofil ist in [Abb.M17.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb.M17.2](#). [Tab.M17.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Ermatingen-Plateau zusammen, und [Tab.M17.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

M17.1.2 **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H1 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung; leicht gewellte Plateaus und Hangterrassen, Moräne, tonig, Ostschweiz und Genferseegebiet). 216 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 1.8% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

M17.1.3 **Besonderheiten am Profilort**

Das Bodenprofil M16, Ermatingen-Tobel, liegt in rund 50 m Entfernung in westlicher Richtung.

Zurzeit steht am Buchenstandort M17 ein Fichtenaltholz. [Abb.M17.2](#) zeigt, dass sich in der Verjüngung ein Baumartenwechsel hin zu mehr Laubholz und damit zu naturnahen Bedingungen vollzieht.

M17.1.4 **Profilmorphologie und Klassierung**

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab.M17.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

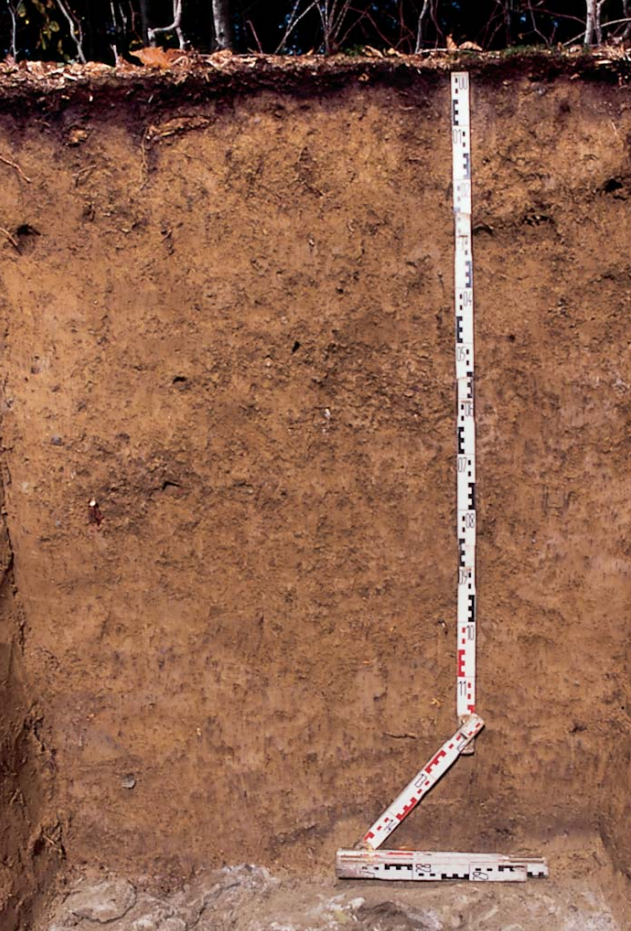


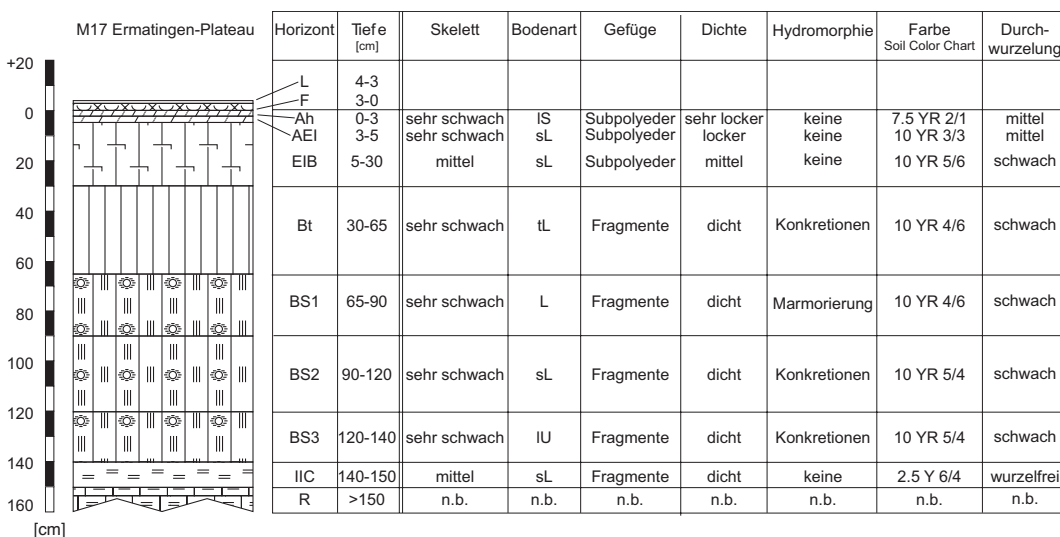
Abb. M17.1 (links) Bodenprofil Ermatingen-Plateau

Abb. M17.2 (rechts) Bestand am Profilort Ermatingen-Plateau

Tab. M17.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Ermatingen-Plateau	
Lokalname	Ermatingen-Plateau (Kanton Thurgau, Gemeinde Ermatingen)
Lage	Landeskarte 1:25000 Blatt 1033, Steckborn Koordinaten 723755/278545
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 1: Typischer Waldsimsen-Buchenwald (<i>Luzulo silvaticae-Fagetum typicum</i>)
Horizontfolge	L-F-Ah-AEI-EIB-Bt-BS1-BS2-BS3-IIC-R
Humusform	Moder
Bodentyp	Parabraunerde, schwach pseudovergleyt
Bodentyp (FAO 1988)	Luvisol

Tab. M17.2		Bodenbildungsfaktoren am Profilort Ermatingen-Plateau	
Relief	Höhe ü. M.	560 m	
	Exposition	unbestimmt	
	Neigung	0 %	
	Geländeform	Ebene	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; Würmmoräne über oberer Süsswassermolasse	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr. 29: Moräneablagerungen (grobklastisch) physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein: sehr niedrig–mittel	
Klima	T/N Jahresmittel	8.5°C/1007 mm	
	T/N Januarmittel	–0.3°C/59 mm	
	T/N Julimittel	18.2°C/91 mm	
	Tage mit Schneedecke	50	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200–205 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (30 m Höhe)	70 %	50–75 % Fichte (<i>Picea abies</i>)
	Strauchschicht	20 %	–
	Krautschicht	15 %	Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>) Weissliche Hainsimse (<i>Luzula luzuloides</i>) Busch-Windröschen (<i>Anemone nemorosa</i>) Waldhirse (<i>Milium effusum</i>)
	Moosschicht	65 %	–

Tab. M17.3 Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Ermatingen-Plateau
 Bodenart: IS lehmiger Sand, sL sandiger Lehm, tL toniger Lehm, L Lehm, IU Schluff-Lehm; n.b. nicht bestimmt



Die Streu besteht vor allem aus Fichtennadeln, wogegen Laubbäume und krautige Pflanzen nur wenig Streu liefern. Die anfallende tote organische Substanz wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt, so dass sich unter der Streuschicht ein 3 cm mächtiger Fermentationshorizont gebildet hat. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Moder klassiert.

Als Besonderheit ist in diesem Profil zu beachten, dass der Mineralboden aus zwei verschiedenen Ausgangsgesteinen entstanden ist. Bis 130 cm Tiefe bildet Würmmoränematerial das bodenbildende Substrat, darunter ist es ein sandiger Molassemergel.

Der 1.5 m tief aufgeschlossene Mineralboden lässt sich aufgrund der morphologischen Merkmale in neun Horizonte gliedern. Farblich ist das Profil mit Ausnahme des humushaltigen Oberbodens wenig differenziert. Unter der organischen Auflage heben sich die obersten 3 cm des Mineralbodens durch ihre schwarze Farbe deutlich von der dunkelbraunen Zone in 3–5 cm Tiefe und diese wiederum von der gelblich braunen Schicht in 5–30 cm Tiefe ab. Unterhalb von 30 cm Tiefe dominiert ein ziemlich homogenes Braun. Die Tiefenstufe 30–90 cm ist braun und jene von 90 bis 140 cm matt gelblich braun. Der Molassemergel in 140–150 cm Tiefe ist matt gelb angewittert. In 150 cm Tiefe steht der unverwitterte, gräulich gelbe Molassefels an. Über dem Felsuntergrund ist der Skelettgehalt je nach Horizont mittel bis sehr schwach. Die Feinerde ist sand- und schluffreich, und nur in 30–90 cm Tiefe ist ein ansehnlicher Tonanteil vorhanden. Bis 30 cm Tiefe hält die Subpolyederstruktur den Boden relativ locker, weiter unten ist der Boden infolge seiner Fragmenstruktur dicht. Im dichten Profilbereich kommen zwischen 30 und 140 cm Tiefe infolge periodischer Vernässung Konkretionen und vereinzelt auch Marmorierungen vor. Wurzeln wurden bis 140 cm Tiefe beobachtet.

Ein Vergleich von Bodenart und Farbe in 5–30 cm und 30–65 cm Tiefe lässt auf eine Tonverlagerung schliessen. Aus dem Tiefenbereich 5–30 cm wurde Ton in den Tiefenbereich 30–65 cm verlagert. Aus der Bodenmorphologie ergibt sich die Horizontfolge L-F-Ah-AEI-EIB-Bt-BS1-BS2-BS3-IIC-R. Der Boden wird als schwach pseudovergleyte Parabraunerde klassiert. Die Vernässung erfolgt durch Stauwasser.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Kalkgrenze verläuft in 140 cm Tiefe. Der Mineralboden oberhalb der Kalkgrenze ist gemäss pH-Hellige sehr sauer. Der Wurzelraum wird in 150 cm Tiefe durch den Molassefels begrenzt.

M17.2.1 **Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte**

Skelettgehalt

Der Boden enthält insgesamt relativ wenig Skelett. Je nach Horizont wird der Skelettgehalt als schwach bis mittel klassiert (Abb. M17.3). In 150 cm Tiefe steht der felsige Molassemergel an.

Bodenart

In Abb. M17.4 fällt sofort der maximale Tongehalt in mittlerer Profiltiefe auf. Die Tonverteilung im Profil lässt auf eine Tonverlagerung schliessen. Der Tongehalt ist im Bt-Horizont mit rund 30% maximal und im Vergleich zum unmittelbar darüber liegenden EIB-Horizont um satte 14% grösser. Bei der Tonverlagerung wurde Ton aus den Eluvialhorizonten (AEI- und EIB-Horizont) ausgewaschen und im Bt-Horizont und wahrscheinlich auch im BS1-Horizont angereichert. Die im Bodenprofil anhand morphologischer Merkmale festgestellte Tonverlagerung wird durch die Analyse der Korngrössenfraktionen im Labor bestätigt. Gemessen am Tongehalt handelt es sich in allen Horizonten um mittelschweren Boden. Die im Feld bestimmte Bodenart stimmt in den meisten Horizonten mit den Labormesswerten überein (Tab. M17.3). Im Bt-Horizont wurde der Tongehalt bei der Feldansprache indessen leicht überschätzt.

Dichte der Feinerde

Bezüglich der Dichte lässt sich das Profil in drei Zonen gliedern. In den obersten 30 cm des Bodens ist die Dichte sehr gering und nimmt dann im Bt-Horizont sprunghaft auf einen mittleren Wert zu (Abb. M17.5). Unter dem Bt-Horizont ist der Boden wiederum lockerer, wobei die Dichte dort als gering klassiert wird. Mit 1.52 g/cm^3 ist die Dichte im Bt-Horizont maximal.

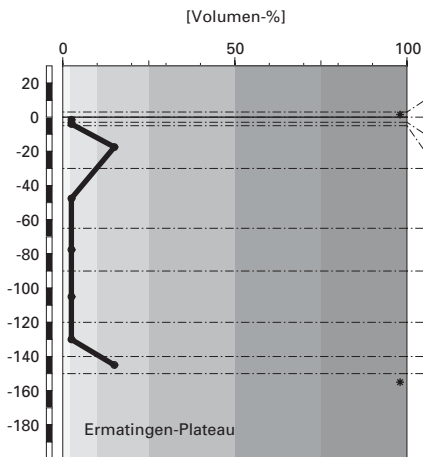
Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Im mit Ton angereicherten Bt- und BS1-Horizont ist die Durchlässigkeit gering (Abb. M17.6). Im übrigen Teil des Profils ist die Durchlässigkeit je nach Horizont mittel bis hoch. Beim Übergang zum Felsuntergrund ist die Durchlässigkeit gehemmt, so dass das Wasser auf dem Fels abfließt.

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe beträgt 219 l/m^2 , was als sehr hoch klassiert wird (Abb. M17.7).

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

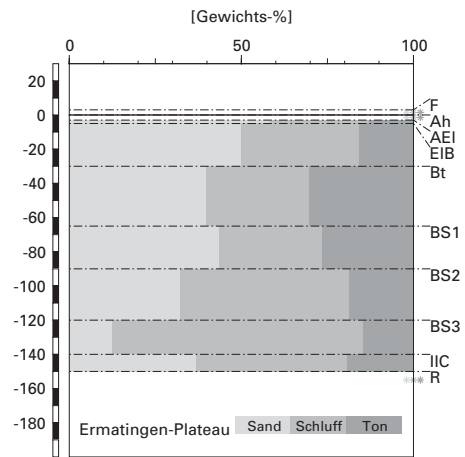


Abb. M17.3 (links) Skelettgehalt

Abb. M17.4 (rechts) Bodenart

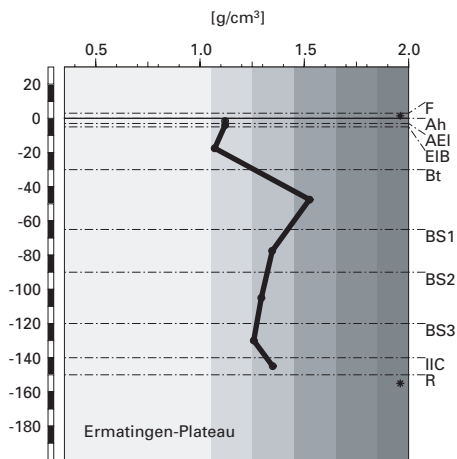
M17.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In dieser schwach pseudovergleyten Parabraunerde kommen unterhalb von 30 cm Tiefe Vernässungserscheinungen in Form von Konkretionen und Marmorierungen vor. Diese Vernässungsmerkmale treten kleinflächig auf, so dass sie in der homogen braunen Profilwand farblich nicht auffallen (Abb. M17.1). Zwar ist bei Wassersättigung mit ungenügender Durchlüftung und in der Folge mit Sauerstoffarmut zu rechnen. Die morphologisch nur schwach bis mässig ausgeprägten Vernässungsmerkmale weisen aber darauf hin, dass gesättigte Phasen jeweils nicht sehr lange andauern. Die Beurteilung des Wasser- und Lufthaushaltes aufgrund der hydromorphen Merkmale deckt sich recht gut mit der Wasserleitfähigkeitskurve, welche im hydromorph am deutlichsten gezeichneten mittleren Profilbereich (30–90 cm Tiefe) geringe Leitfähigkeitswerte zeigt (Abb. M17.6). Der Molasse-

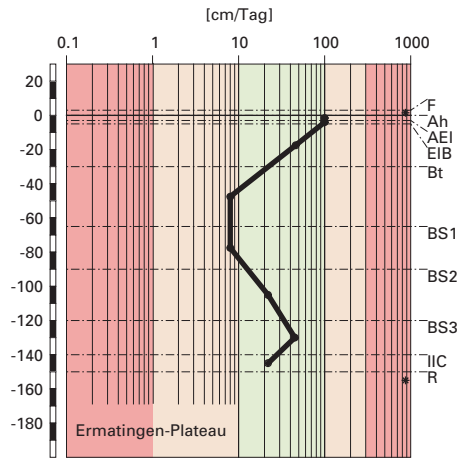
Feinerde-Dichte



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. M17.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. M17.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

fels im Untergrund vermag das Sickerwasser offenbar nicht effektiv zu stauen, denn im IIC-Horizont unmittelbar über dem Fels sind keine Vernässungsmerkmale vorhanden.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Da in 150 cm Tiefe Fels ansteht, ist der Wurzelraum für alle Baumarten begrenzt. Als weiterer negativer Aspekt ist der Boden nicht für alle Baumarten optimal durchwurzelbar. Empfindliche Baumarten wie Buche und Fichte dürften infolge der zeitweise ungenügenden Durchlüftung im Unterboden periodisch unter Sauerstoffmangel leiden. Im Bt-Horizont ist zudem die Dichte mit 1.52 g/cm^3 leicht über dem für das Wurzelwachstum als kritisch erachteten Wert von 1.4 g/cm^3 . Wir gehen davon aus, dass die ungünstigen Bodeneigenschaften das Wurzelwachstum selbst der empfindlichen Baumarten nur unwesentlich einschränken.

pflanzenverfügbares Wasser

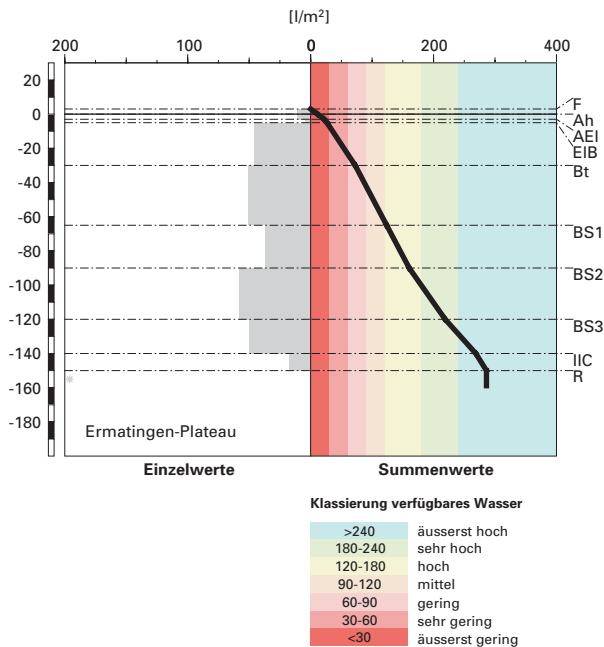


Abb. M17.7 Pflanzenverfügbares Wasser

Der Boden wird mit 150 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert. Der Wurzelraum wird vom aktuellen Fichtenbestand gut genutzt, denn Wurzeln sind bis 140 cm Tiefe vorhanden.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm gehen wir gemäss unseren Berechnungen davon aus, dass der Bestand in Trockenperioden ohne bedeutende Niederschläge nach rund 25 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da die Speicherleistung des Bodens gross ist, die Bäume vermutlich auch das Wasser in den Ritzen des Felsuntergrundes nutzen und zudem ein recht günstiges Klima herrscht, besteht an diesem Buchenstandort (E&K 1) nur ein kleines Trockenstress-Risiko.

Bodenbefahrbarkeit

Dieser skelettarme Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen. Beim Befahren werden zudem die in der organischen Auflage in grosser Zahl wachsenden Wurzeln beschädigt.

M17.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Nicht weit vom Profilort Ermatingen-Tobel (M16) befindet sich der Profilort Ermatingen-Plateau. Hier dominiert die Fichte im Baumbestand. In der Strauchschicht sind dagegen praktisch nur Buchen vorhanden. Die Krautschicht ist spärlich ausgebildet und setzt sich vor allem aus Heidelbeere, weisslicher Hainsimse, Busch-Windröschen und Waldhirse zusammen. Schliesslich deckt eine Moosschicht den Boden zu 65% ab. Von diesen Pflanzen fällt eine Streu an, die relativ schlecht abbaubar ist. Unter der Streuschicht hat sich ein 3 cm mächtiger Fermentationshorizont gebildet.

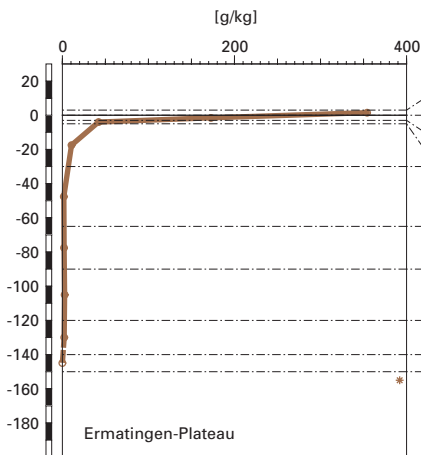
Der F-Horizont enthält entsprechend seiner vorwiegend organischen Zusammensetzung rund 35% organischen Kohlenstoff (Abb. M17.8). Der schwarze Ah-Horizont hebt sich deutlich vom dunkel braunen AEI-Horizont ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) beträgt rund 17%. Im AEI-Horizont nimmt der C_{org} -Gehalt bereits auf 4% ab. Im Unterboden geht er weiter zurück und beträgt im BS3-Horizont noch 0.2%. Im IIC-Horizont ist kein organischer Kohlenstoff mehr bestimmbar. Aus diesen C_{org} -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 136 t/ha (Abb. M17.9), wobei für die Vorratsberechnung im F-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen wurde.

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt nimmt vom AEI-Horizont von 13% bis zum Maximum von 30% im Bt-Horizont zu (Abb. M17.4). Unterhalb des Bt-Horizontes nimmt er kontinuierlich bis auf 15% im BS3-Horizont ab und im IIC-Horizont wieder leicht zu.

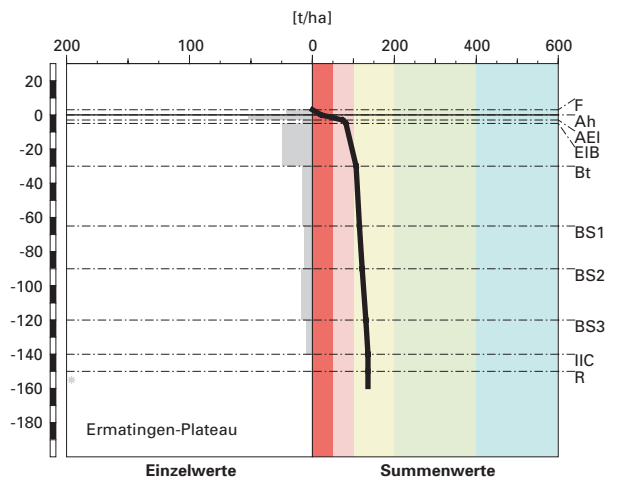
Der Gehalt des Dithionit-extrahierbaren Eisens (Fe_d) nimmt vom kleinsten Wert im Ah- bis zum Maximum im Bt-Horizont zu (Abb. M17.10). In den BS-Horizonten geht der Fe_d -Gehalt zuerst leicht zurück, bevor er im IIC-Horizont deutlich abnimmt. Beim Oxalat-extrahierbaren Eisen (Fe_o) nimmt der Gehalt vom Ah- in den AEI-Horizont zu. Bezieht man den Gehalt jedoch auf die C_{org} -freie Mineralerde, ist er im Oberboden konstant und nimmt in den EIB-Horizont relativ stark ab. Danach variiert er bis in den BS3-Horizont innerhalb von weniger als 1 g/kg und ist im IIC-Horizont nicht mehr bestimmbar. Der Oxalat-extrahierbare Aluminiumgehalt (Al_o) ist sehr ähnlich über die Profiltiefe verteilt, mit der Ausnahme, dass er im Oberboden bereits deutlich abnimmt und vom Bt- bis in den BS3-Horizont einen abneh-

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})



Klassierung Vorrat

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

Abb. M17.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. M17.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

menden Trend aufweist (Abb. M17.11). Der Gehalt des Pyrophosphat-extrahierbaren Aluminiums (Al_p) bzw. Eisens (Fe_p) nimmt mit der Tiefe vom AEI- bis in den Bt-Horizont deutlich ab (Abb. M17.10 und M17.11). Unterhalb des Bt-Horizontes ist Al_p nicht bestimmbar und Fe_p nimmt nur noch geringfügig ab.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis nimmt vom Oberboden von rund 0.35 auf 0.1 im Bt-Horizont ab (Abb. M17.12). In den tiefer gelegenen Horizonten ist es konstant bei 0.1. Das Fe_p/Fe_o -Verhältnis ist im AEI- und EIB-Horizont grösser als 1, nimmt im Bt-Horizont auf rund 0.3 ab und bleibt dann mehr oder weniger konstant. Das Al_p/Al_o -Verhältnis ist im AEI- und EIB-Horizont rund 0.9 und nimmt auf rund 0.7 im Bt-Horizont ab. In den tiefer gelegenen Horizonten ist es nicht bestimmbar.

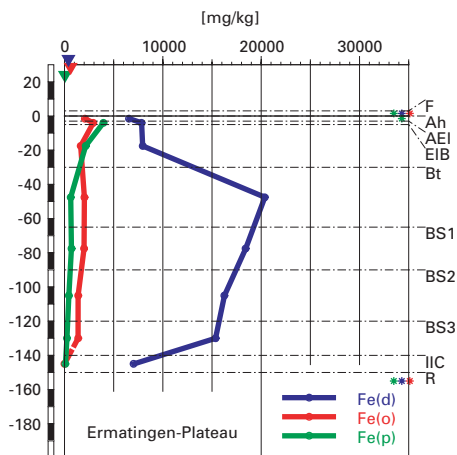
Die vor allem von der Fichte, teilweise aus der Strauch- und Moosschicht stammende, schlecht abbaubare Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt. Unter der Streuschicht hat sich ein 3 cm mächtiger F-Horizont gebildet. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Moder klassiert. Die Gründe für den nicht vollständigen Abbau der Streu sind in der Streuqualität, den sehr stark sauren pH-Verhältnissen und der dadurch gehemmten biologischen Aktivität zu suchen.

Das C/N-Verhältnis beträgt im F-Horizont 20 und wird als mittel klassiert. Dies ist mit einer mittleren Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Das mässig weite C/P-Verhältnis von 725 im F-Horizont deutet zudem eine relative Phosphorarmut an. Die Feinerde ist bis 30 cm Tiefe sehr stark sauer, was die Regenwurmaktivität einschränkt. Zudem sind unter den Mikroorganismen bei diesen Verhältnissen vor allem Pilze und weniger Bakterien vertreten. Pilze bauen die phenolhaltige Fichtenstreu jedoch nicht vollständig ab, wodurch organische Säuren und Humusstoffe anfallen. Diese sind zum Teil wasserlöslich und werden mit dem Sickerwasser in die Tiefe verlagert oder aus dem Profil ausgewaschen. Die nicht mineralisierte organische Substanz geht Verbindungen mit den Al- und Fe-Oxiden ein und wird so vor weiterem Abbau geschützt. In diesem Boden sind im regionalen Vergleich geringe bis mittlere Al_o - und Fe_o -Gehalte vorhanden, so dass die Stabilisierung der organischen Substanz nicht allzu stark ausgeprägt ist. Im gesamtschweizerischen Vergleich hat sich ein mittlerer Vorrat an organischem Kohlenstoff von 136 t/ha gebildet ([Abb. M17.9](#)).

Die morphologischen sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften lassen vermuten, dass im Boden eine Tonverlagerung stattgefunden hat. Der gelblich braune EIB-Horizont ist gegenüber dem braunen Bt-Horizont etwas heller, was auf eine Tonauswaschung, welche mit einem Kotransport von Eisenoxiden in dispergierter Form verbunden ist, zurückgeführt wird. Das Fe_d -Maximum befindet sich im Bereich des Tonmaximums. Allerdings dürfte, bedingt durch den tiefen pH-Wert, Eisen auch in löslicher Form verlagert worden sein und aktuell immer noch verlagert werden. Dies geht aus dem Tiefenverlauf des Fe_d /Ton-Verhältnisses hervor, denn es ist nicht konstant, wie dies in einer klassischen Parabraunerde erwartet werden kann. Es nimmt vom AEI- bis in den BS3-Horizont kontinuierlich zu ([Tab. A138](#) in Zimmermann et al. 2006). Demzufolge ist der obere Profiltail stärker an Eisen als an Ton verarmt. Bei der herrschenden sehr stark sauren Bodenreaktion steht fest, dass der Ton aufgrund der hohen Aluminiumgehalte ausgeflockt vorliegt, womit heute keine Tonverlagerung mehr stattfindet.

Eisen-Oxide

(Gehalte)



Aluminium-Oxide

(Gehalte)

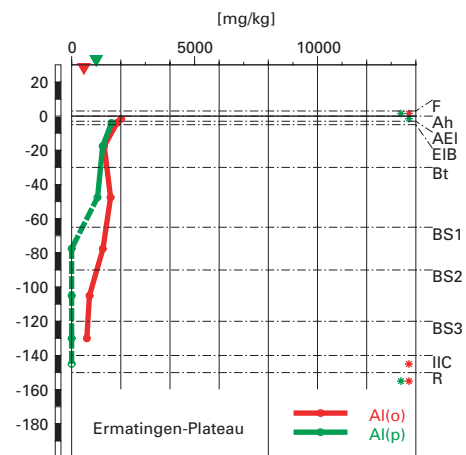


Abb. M17.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. M17.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

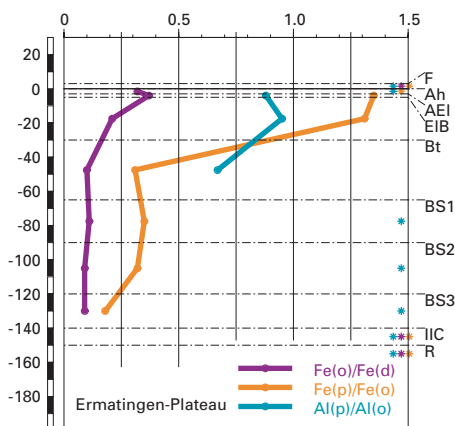


Abb. M17.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Hingegen wird Eisen bei pH-Werten kleiner als 3.8 gelöst und verlagert. Dies ist in den obersten 30 cm des Profils der Fall, weshalb die Tiefenverteilung von Fe_o im EIB-Horizont eine Verarmung zeigt. Zusätzlich wird Eisen auch in komplexierter Form zusammen mit gelöster organischer Substanz verlagert, wie dies die relativ grossen Fe_p -Gehalte bis in den BS3-Horizont vermuten lassen. Die verlagerten amorphen Eisenverbindungen werden in tieferen Profilbereichen wieder ausgefällt und können sich mit der Zeit durch Wasserverlust in kristallinere Formen umwandeln.

Auch Aluminium wird bei den aktuellen pH-Werten sowohl in gelöster anorganischer Form als auch in Form von gelösten Metall-organischen Verbindungen verlagert. Seine Löslichkeit ist grösser als jene von Eisen, da es bereits unterhalb von einem pH-Wert von 4.6 in Lösung geht.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis zeigt, dass die Eisenverbindungen im Oberboden zu 30 bis 40% in amorpher Form vorliegen und dieser Anteil im tieferen Unterboden nur noch rund 10% beträgt. Die Al_p/Al_o - und Fe_p/Fe_o -Verhältnisse zeichnen den Tiefenverlauf der organischen Substanz nach. Die grossen Werte im Oberboden bedeuten, dass ein Grossteil der amorphen Verbindungen mit der organischen Substanz assoziiert ist.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als schwach pseudovergleyte Parabraunerde klassiert. Diese Klassierung kann durch die Interpretation der Bodenhauptbestandteile nachvollzogen werden, wobei sich die schwache Pseudovergleyung nicht auf die Tiefenverteilung der Eisenoxide auswirkt.

M17.4 Themenbereich «Säurezustand»

M17.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Der pH-Wert variiert in einem sehr weiten Bereich ([Abb. M17.13](#)). Der tiefste Wert liegt im sehr stark sauren F-Horizont und beträgt 3.1. Mit Werten unter 3.8 bleibt der Boden bis in den EIB-Horizont sehr stark sauer. Alle diese Horizonte befinden sich in der Säureklasse 5. Bis in den BS2-Horizont nimmt danach der pH-Wert auf 4.1 zu. Der Boden ist hier stark sauer und liegt in der Säureklasse 4. Vom BS3 zum IIC-Horizont erfolgt über eine kurze Distanz ein starker pH-Anstieg in den alkalischen Bereich. Die Feinerde befindet sich im BS3-Horizont in der Säureklasse 2 und im IIC-Horizont in der Säureklasse 1.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Mit Ausnahme des AEI- und des EIB-Horizontes, wo der Kationenaustauscher fast vollständig mit sauren Kationen belegt ist, kommen in allen anderen Horizonten beträchtliche Anteile basischer Kationen in austauschbarer Form vor (Abb. M17.14). Im F- und Ah-Horizont überwiegen die basischen Kationen in der Austauschergarnitur. Unterhalb des EIB-Horizontes nehmen die basischen Kationen mit der Tiefe stetig zu und belegen im alkalischen IIC-Horizont die Gesamtheit aller Austauscherplätze. In den Horizonten, die sich in der Säureklasse 5 befinden, kommt auch Eisen in austauschbarer Form vor und in den Horizonten der Säureklassen 3 und 4 ist der Anteil von austauschbarem Mangan etwas erhöht. Die Basensättigung ist im F- und Ah-Horizont mässig hoch, nimmt aber bis in den EIB-Horizont rasch auf einen geringen Wert von 7 % ab (Abb. M17.15). Mit zunehmender Tiefe erfolgt eine stetige Zunahme der Basensättigung bis auf einen sehr hohen Werte im IIC-Horizont.

M17.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

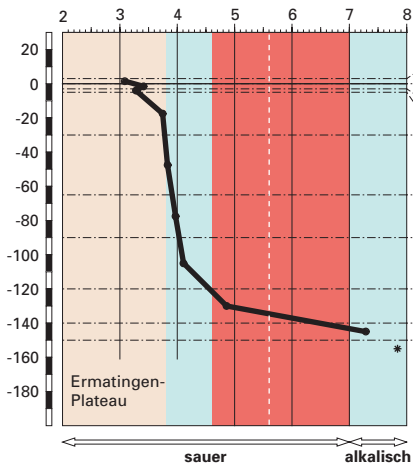
Stand der Bodenversauerung

Diese schwach pseudovergleyte Parabraunerde wird als sehr stark versauert beurteilt, denn die pH-Werte sind im Tiefenverlauf in fünf Säureklassen verteilt. Die Basensättigung der gesamten Feinerde dieses sehr tiefgründigen Bodens ist allerdings vergleichsweise hoch, was die negativen Wirkungen der sehr starken Versauerung mildert.

Bis in 30 cm Tiefe befindet sich der Boden in der Säureklasse 5. Hier erfolgt die Säurepufferung durch Auflösung von Aluminium- und Eisenverbindungen, was sich an der Belegung des Kationenaustauschers sehr schön zeigt. Zwischen 50 und 120 cm Tiefe befindet sich der Boden in der Säureklasse 4, wo allein die Auflösung von Aluminiumverbindungen zur Säurepufferung beiträgt. In der Säureklasse 3, in welcher der BS3-Horizont liegt, werden die Säuren durch Protonierung variabler Ladungen am Kationenaustauscher sowie durch Silikatverwitterung gepuffert. Aluminium ist in diesem Horizont nur sehr wenig löslich, so dass es am Kationenaustauscher praktisch nicht mehr erscheint. Die Versauerungsfront, erkennbar am austauschbaren Aluminium, liegt im Übergang vom BS2 zum BS3-Horizont. Im IIC-Horizont erfolgt die Säurepufferung unter Freisetzung basischer Kationen durch die Verwitterung des Karbonatgesteins.

Die Belegung des Kationenaustauschers zeigt, dass trotz der erheblichen Aluminiumfreisetzung, die bis in 120 cm Tiefe stattfindet, die Verdrängung basischer Kationen von ihren Austauscherplätzen nicht in dem Ausmass erfolgt, wie dies unter den stark bis sehr stark sauren Bedingungen

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

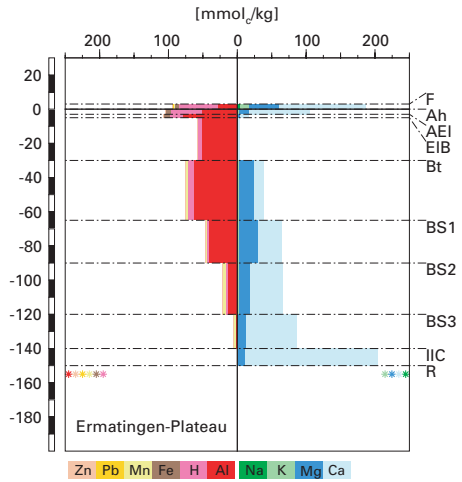
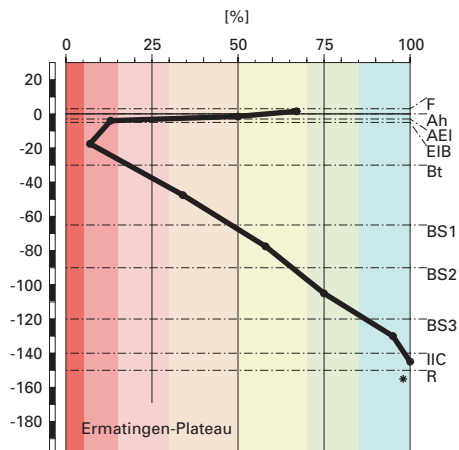


Abb.M17.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb.M17.14 (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.M17.15 Basensättigung

zu erwarten ist. Vermutlich hemmt Staunässe, die sich in einer schwachen Pseudovergleyung im Unterboden bemerkbar macht, die Nährstoffauswaschung aus dem Profil. Zusätzlich gelangen basische Kationen aus dem karbonathaltigen IIC-Horizont durch Diffusion oder mit dem kapillaren Wasseraufstieg in die oberen Bodenhorizonte, so dass der Boden insgesamt weit besser mit Nährstoffen versorgt ist, als dies anhand der pH-Werte vermutet werden könnte. Die Bäume vermögen offensichtlich die tiefer gelegenen Zonen mit ihren Wurzeln zu erschliessen, wodurch basische Kationen im Zuge des Nährstoffkreislaufes in den F- und Ah-Horizont zurückgebracht werden.

Risiko für Boden und Pflanzen

Das Risiko einer weiteren pH-Abnahme ist insgesamt klein, weil sich nur der geringmächtige BS3-Horizont in 120–140 cm Tiefe in der schwach puffernden Säureklasse 3 befindet und der wohl grösste Teil der Säuren in den oberen Profilpartien neutralisiert wird. Das Risiko für eine weitere pH-Abnahme ist bloss in den obersten drei Mineralerdehorizonten etwas erhöht, denn der Boden befindet sich hier in der nur mässig puffernden Säureklasse 5.

Für das Gedeihen säureempfindlicher Pflanzen besteht in diesem Boden ein als klein beurteiltes Risiko, durch toxisches Aluminium beeinträchtigt zu werden. Das BC/Al-Verhältnis ist in 5 bis 30 cm Tiefe im kritischen Bereich, unterschreitet also den Wert von 0.2. Diese ungünstigen Bedingungen betreffen aber weniger als 15% der gesamten Feinerde, so dass die Pflanzen die ungünstigen Bedingungen in anderen Horizonten ausgleichen können. Mit einer Ausdehnung der kritischen Zone ist aufgrund des karbonathaltigen Ausgangsgesteins und der Staunässe auch bei einer weiteren pH-Abnahme nicht zu rechnen.

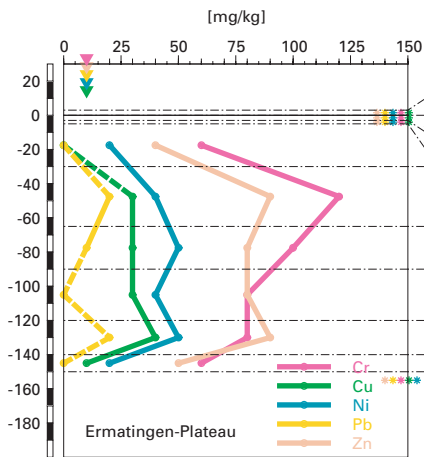
M17.5 Themenbereich «Schwermetalle»

M17.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Die minimalen Gehalte aller Schwermetalle befinden sich in diesem Boden im untersten Horizont sowie im obersten Horizont, der auf totale Schwermetallgehalte analysiert wurde, dem EIB-Horizont ([Abb. M17.16](#)). Für den Ah- und AEI-Horizont konnten wegen zu geringer Probenmenge keine totalen Schwermetallgehalte bestimmt werden. Der Tiefenverlauf der Salpetersäure-extrahierbaren Schwermetallgehalte ([Abb. M17.17](#)) lässt vermuten,

Cr, Cu, Ni, Pb, Zn

(effektive Totalgehalte)



Cr, Cu, Ni, Pb, Zn

(HNO₃-extrahierbare Gehalte)

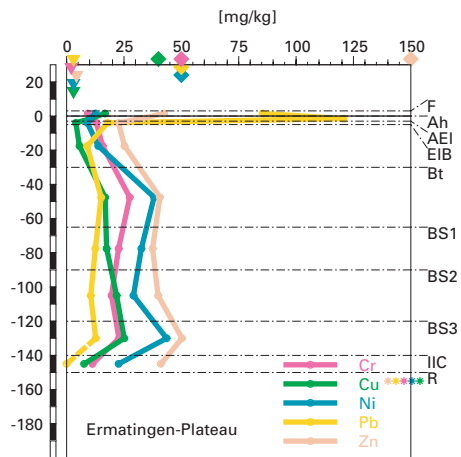


Abb. M17.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. M17.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

dass die Gehalte im AEI-Horizont mit Ausnahme von Pb noch etwas niedriger sind als im EIB-Horizont und im Ah-Horizont wieder etwas grösser sind. Unterhalb des EIB-Horizontes nehmen die Gehalte bis zum Bt-Horizont stark zu (Abb. M17.16). In grösserer Tiefe nehmen der Cr- und Pb-Gehalt bis zum BS2-Horizont wieder stark ab. Die Gehalte an Ni, Cu und Zn verändern sich in diesem Bereich nur wenig. Im BS3-Horizont ist der Cr-Gehalt gleich gross wie im darüberliegenden BS2-Horizont, während die Gehalte aller anderen Schwermetalle wieder zunehmen. Im IIC-Horizont sind die Gehalte aller Schwermetalle deutlich niedriger als im BS3-Horizont.

M17.5.2

Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein des oberen Teils dieses Profils aus Würmmoräne (Lithofazies 29; Beurteilung basierend auf den geochemischen Angaben für die Lithofazies 24, Glaziallehme und -tone) liegen der Pb-Gehalt im BS3-Horizont innerhalb, die Gehalte der übrigen Schwermetalle oberhalb typischer Wertebereiche. Im IIC-Horizont aus karbonathaltiger Molasse (Lithofazies 21) liegen die meisten Schwermetall-Gehalte unterhalb, der Cr-Gehalt jedoch innerhalb der typischen Wertebereiche.

Im Vergleich zu den Angaben für das Gebiet Mittelland sind der Pb-Gehalt im BS3-Horizont niedrig, der Cr- und Ni-Gehalt erhöht, der Zn-Gehalt hoch und der Cu-Gehalt sehr hoch. Im IIC-Horizont sind der Pb-Gehalt sehr niedrig, der Ni-, Cu- und Zn-Gehalt niedrig und der Cr-Gehalt erhöht.

Anmerkung: Der BS3-Horizont ist stark verwittert. Wie weit die auf ihm basierenden Beurteilungen richtig sind, lässt sich mit den vorhandenen Daten nicht beantworten.

M17.5.3 **Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo**

Für den F- und den Ah-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb.M17.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm^3 ; Tab.A142 in Zimmermann et al. 2006) beurteilt. Für den F-Horizont sind diese niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg ; Abb.M17.17), da die Dichte kleiner ist als $1 \text{ g}/\text{cm}^3$. Mangels Messwert wurde für den F-Horizont eine Feinerdedichte von $0.2 \text{ g}/\text{cm}^3$ angenommen und für den Ah-Horizont wurde der Messwert der Bodendichte verwendet.

Die Schwermetallkonzentrationen in der organischen Auflage sind sehr niedrig bis niedrig. Die Schwermetallgehalte im Mineralboden sind sehr niedrig bis niedrig mit folgenden Ausnahmen (Abb.M17.17). Der Cr-Gehalt ist im Bt-Horizont erhöht, der Ni-Gehalt im Bt- und BS3-Horizont hoch sowie im BS1- und BS2-Horizont erhöht, und der Cu-Gehalt im BS2- und BS3-Horizont erhöht. Der Pb-Gehalt im Ah-Horizont ist gar ausserordentlich hoch und überschreitet damit deutlich den Richtwert der VBBo.

M17.5.4 **Anreicherungsfaktoren**

Weil der IIC-Horizont nicht das Ausgangsgestein dieses Bodens repräsentiert, wurden die Anreicherungsfaktoren relativ zum BS3-Horizont berechnet. Da dieser stark verwittert ist, können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung relativ zum Ausgangsgestein gemacht werden.

Chrom ist in diesem Profil im Bt- und BS1-Horizont deutlich angereichert (Tab.M17.4). Im Bt-Horizont sind auch Pb und Zn angereichert. Im EIB-Horizont sind alle Schwermetalle abgereichert. Bei allen Schwermetallen reflektiert der Tiefenverlauf der Anreicherungsfaktoren vom EIB- bis zum BS2-Horizont die Verlagerung von Ton (Abb.M17.4), die in einer früheren Phase der Bodenbildung, als das Profil noch weniger stark versauert war und für diesen Verlagerungsprozess günstige Bedingungen herrschten, stattfand.

Tab. M17.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
AEI	3– 5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
EIB	5– 30	0.80	<0.27	0.43	<0.53	0.48
Bt	30– 65	2.21	1.11	1.18	1.48	1.48
BS1	65– 90	1.55	0.93	1.24	0.62	1.10
BS2	90– 120	1.03	0.78	0.83	<0.52	0.92
BS3	120– 140	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
IIC	140– 150	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
R	> 150	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Der stark erhöhte Salpetersäure-extrahierbare Pb-Gehalt im F- und Ah-Horizont (Abb. M17.17) weist auf anthropogenen Eintrag hin. Dass der Pb-Gehalt im F-Horizont kleiner ist als im Ah-Horizont, könnte auf die in letzter Zeit erreichte Reduktion des atmosphärischen Eintrags zurückzuführen sein. Die im Ah- und F-Horizont erhöhten Salpetersäure-extrahierbaren Ni-, Cu- und Zn-Gehalte können mit der Rückführung dieser Mikronährstoffe mit der Streu in den Oberboden erklärt werden.

M17.5.5 Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Im stark bis sehr stark sauren Teil des Mineralbodens vom F- bis zum BS2-Horizont wird die Mobilität von Ni und Zn als gross bis sehr gross, diejenige von Cr und Cu als mittel bis gross und diejenige von Pb als gering bis mittel geschätzt (Abb. M17.18). Dabei wird allerdings im F-Horizont und im mineralischen Oberboden die Mobilität von Cr, Cu und Pb, im F- und Ah-Horizont auch die Mobilität von Ni durch den hohen Humusgehalt (Abb. M17.8) reduziert. Der hohe Tongehalt im Bt- und BS1-Horizont führt zu einer Erniedrigung der geschätzten Mobilität von Cr und Pb in diesen Horizonten. Im nur mässig sauren BS3-Horizont geht die geschätzte Mobilität von Ni und Zn auf mittel, diejenige von Cr und Cu auf gering und diejenige von Pb auf sehr gering zurück. Im alkalischen IIC-Horizont wird die Mobilität aller Schwermetalle als sehr gering bis gering eingestuft.

Wegen des hohen pH-Wertes im IIC-Horizont ist die Gefahr, dass Schwermetalle in den Untergrund ausgewaschen werden, gering.

Schwermetallmobilität

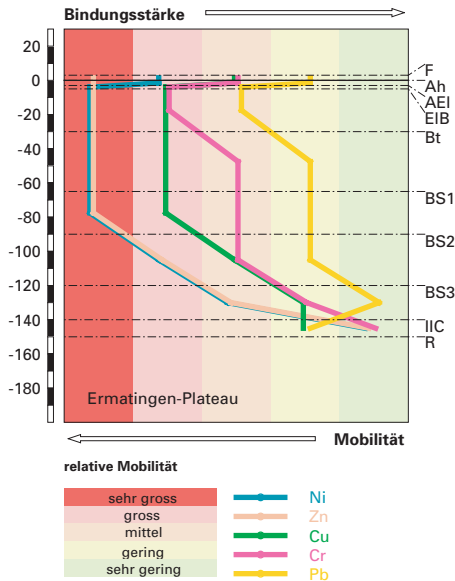


Abb. M17.18 Mobilität der Schwermetalle

M17.5.6

Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

Im EIB-Horizont liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind. Für den F- und Ah-Horizont stehen wegen zu geringer Problemengen keine totalen Schwermetallgehalte zur Verfügung. Die totalen Schwermetallgehalte in diesen Horizonten können mit Hilfe der Salpetersäure-extrahierbaren Gehalte in diesen Horizonten und dem Vergleich der totalen und Salpetersäure-extrahierbaren Gehalte im EIB-Horizont grob geschätzt werden. Vergleicht man die so erhaltenen Totalgehalte mit den Grenzwerten für Mikroorganismen, so kommt man zum Schluss, dass auch in der organischen Auflage und im Oberboden von den meisten Schwermetallen kein Risiko für pflanzliche und tierische Mikroorganismen ausgeht. Hingegen dürfte der Pb-Gehalt im Ah-Horizont im Grenzbereich zur Toxizität liegen.

M17.6 Themenbereich «Nährstoffe»

M17.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

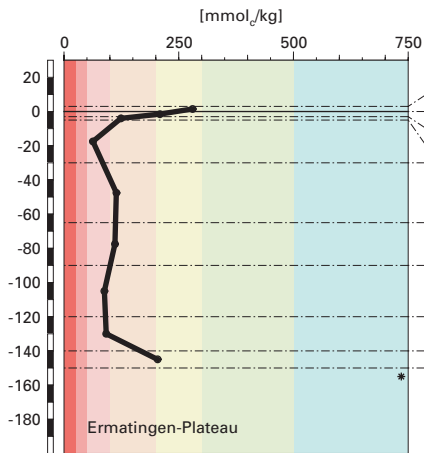
Wird die Nährstoffverfügbarkeit aufgrund der morphologischen Beobachtungen von Humusform und Bodengefüge beurteilt, so ist sie als nicht optimal zu bewerten. Die vor allem von den Fichten in der Baumschicht und den Buchen in der Strauchschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig zersetzt. Unter der Streuschicht hat sich ein 3 cm mächtiger Fermentationshorizont gebildet. Die Humusform wird damit als Moder bezeichnet. Neben der Streuqualität dürfte dies eine Folge der bei den sehr stark sauren pH-Verhältnissen gehemmten biologischen Aktivität sein. Die geringe biologische Aktivität widerspiegelt sich in einer Subpolyederstruktur der Feinerde. Durch die Bildung eines Fermentationshorizontes werden Nährstoffe in der organischen Substanz für eine längere Zeit in nicht pflanzenverfügbarer Form gespeichert.

Das C/N-Verhältnis beträgt im F-Horizont 20 und ist charakteristisch für eine Humusform im Übergangsbereich von Mull zu Moder, wobei eher eine Moderbildung erwartet werden darf. Ein C/N-Verhältnis von 20 wird als mittel klassiert und ist mit einer mittleren Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Dies ist eine gegenüber den morphologischen Beobachtungen leicht günstigere Einschätzung der Nährstoffverfügbarkeit. Allerdings liegt das C/N-Verhältnis im Übergangsbereich der Klassierung von mittel zu mässig weit, bzw. von einer mittleren zu einer niedrigen Mineralisierungsrate der organischen Substanz. Dies relativiert die günstigere Einschätzung der Nährstoffverfügbarkeit aufgrund des C/N-Verhältnisses, zumal das mässig weite C/P-Verhältnis von 725 im Ah-Horizont die morphologische Beurteilung bestätigt.

M17.6.2 Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) variiert im ganzen Boden zwischen 63 und 280 mmol_c/kg ([Abb. M17.19](#)). Im F-Horizont ist sie aufgrund der Austauscheigenschaften der organischen Substanz am grössten und wird als hoch klassiert. Im Ah-Horizont erklärt ebenfalls der grosse Gehalt an organischer Substanz die hohe KAK. Danach nimmt sie über einen mittleren Wert im AEI-Horizont auf den kleinsten Wert im EIB-Horizont ab. Dieser wird als gering klassiert und ist auf die Tonverlagerung aus diesem Horizont zurückzuführen. Unterhalb des EIB-Horizontes folgt die Tiefenverteilung der KAK weitgehend dem Tongehalt. Sie wird im Bt- und BS1-Horizont als

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)

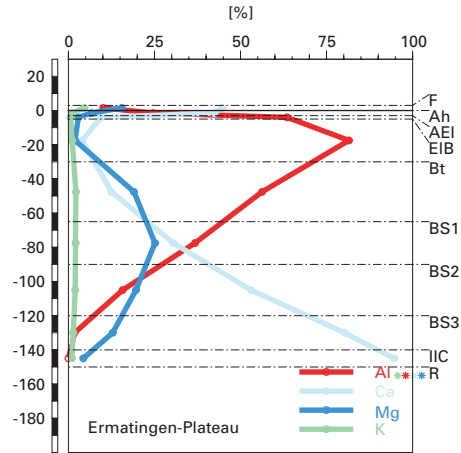


Abb. M17.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. M17.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

mittel sowie im BS2- und BS3-Horizont als gering klassiert. Im IIC-Horizont nimmt die KAK wieder deutlich zu und wird als hoch klassiert. In diesem Horizont ist Karbonat vorhanden. Die hohe KAK ist demzufolge als methodischer Artefakt auf die Kalkauflösung während der Extraktion zurückzuführen.

Entsprechend den sehr stark bis stark sauren pH-Verhältnissen dominiert Aluminium im Tiefenbereich von 3 bis 65 cm am Kationenaustauscher (**Abb. M17.20**). In diesem Bereich wurden die Nährstoffkationen durch Aluminium weitgehend vom Austauscher verdrängt. Im F- und im Ah-Horizont sind trotz der tiefen pH-Werte Ca und, zumindest im F-Horizont, auch Mg stärker vertreten als Aluminium. Dies ist auf den Nährstoffkreislauf zurückzuführen, durch den Nährstoffkationen mit der Streu immer wieder an die Bodenoberfläche gelangen und so ihre Belegung auf einem relativ hohen Niveau halten können. Unterhalb von 65 cm Tiefe geht die Al-Belegung mit der Tiefe zugunsten von Ca immer stärker zurück, bis sich unterhalb der

Kalkgrenze in 140 cm Tiefe kein Aluminium mehr am Kationenaustauscher befindet. Kalzium weist im IIC-Horizont eine Belegung von rund 95% auf. Die Mg-Belegung nimmt vom Minimum im EIB-Horizont bis zum Maximum im BS1-Horizont in einem ähnlichen Ausmass zu wie die Ca-Belegung. In den tieferen Horizonten geht sie jedoch als Folge der Konkurrenz von Ca wieder zurück. Die K-Belegung ist im F-Horizont am grössten. Im Mineralboden ist sie mehr oder weniger konstant und schwankt zwischen 0.6 und 2.2%.

M17.6.3 Nährstoffvorräte

In den Abb. M17.21 bis M17.23 sind die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Die Vorräte aller drei Nährstoffkationen nehmen mit der Tiefe deutlich zu. Eine Ausnahme bildet der EIB-Horizont, wo praktisch keine Vorratszunahme zu beobachten ist. Dieser Horizont ist durch Tonverlagerung geprägt. Als Folge davon ist die Kationenaustauschkapazität klein, und die Auswaschungsprozesse haben auch zu einer Verarmung an Nährstoffkationen geführt. Im Hauptwurzelraum (bis 60 cm Tiefe) werden die Vorräte an Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

Kalzium-Vorrat

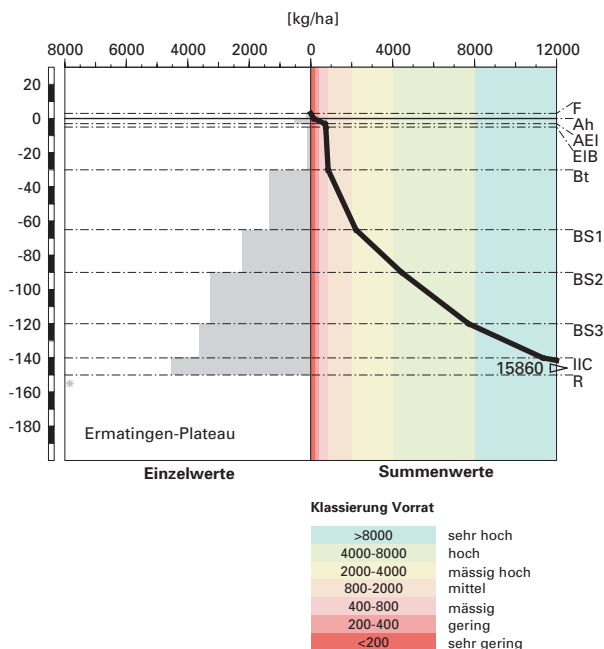


Abb. M17.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

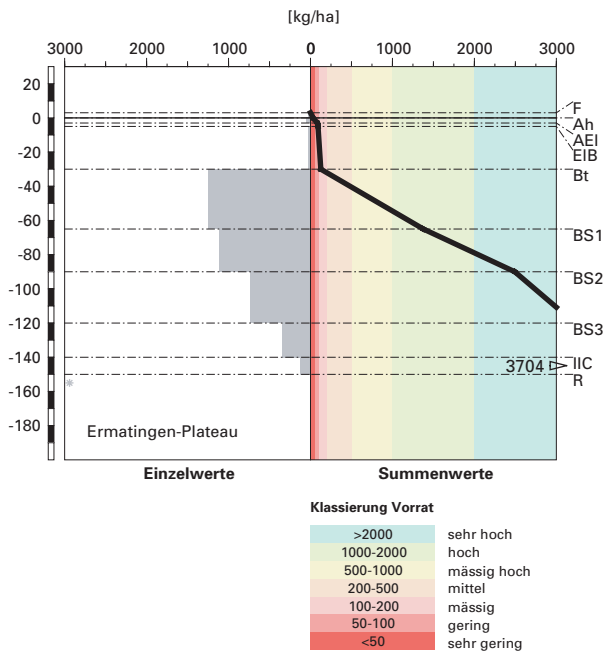


Abb.M17.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

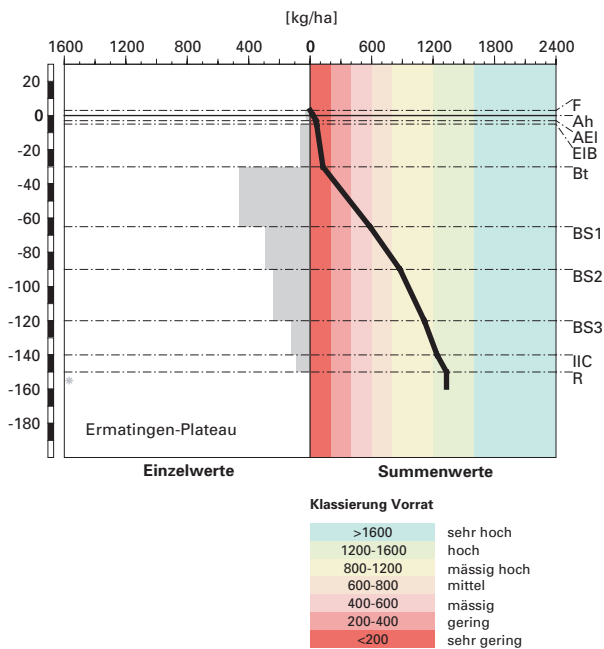


Abb.M17.23 Vorrat an Kalium

Ca mässig hoch
Mg hoch
K mässig

Der Boden ist bis in eine Tiefe von 150 cm durchwurzelbar. Unter Berücksichtigung des gesamten durchwurzelbaren Bodens werden die Vorräte optimistischer beurteilt. Der Ca- und Mg-Vorrat werden als sehr hoch, der K-Vorrat als hoch bewertet.

Es gilt zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt abhängig ist. Am Standort Ermatingen-Plateau herrscht nur ein kleines Risiko für Trockenstress. Die hohen bis sehr hohen Vorräte an Nährstoffkationen dürften den Pflanzen demnach praktisch uneingeschränkt zur Verfügung stehen.

M17.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

M17.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. M17.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

M17.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Im Hauptbestand sind vor allem Fichten vertreten. Der hohe Fichtenanteil ist mit Sicherheit anthropogen bedingt. Im Naturwald würden vor allem Buchen und einige andere Laubhölzer wachsen. Nach Burger et al. (1996) ist an diesem Buchenstandort (Einheit 1a) die Humusform Moder typisch, weshalb wir den vorhandenen Moder als standorttypisch bezeichnen.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Das ziemlich milde Klima lässt dem Waldbauer grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl. Trotzdem sind gemäss Burger et al. (1996) an diesem Buchenstandort (Einheit 1a) bloss folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Buche, Traubeneiche, Waldföhre, Lärche, Birke, Hagebuche und Winterlinde. Offensichtlich ist die Baumartenauswahl an diesem Waldstandort trotz günstigem Klima durch nachteilige Bodeneigenschaften eingeschränkt, wie die folgenden Ausführungen zeigen.

Tab. M17.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Ermatingen-Plateau)		
Standortangaben		
Relief	Höhe	560 m ü. M.
	Exposition	unbestimmt
	Neigung	0 %
Klima	Jahresniederschlag	1007 mm
	Jahrestemperatur	8.5°C
Ausgangsgestein	Würmmoräne über oberer Süsswassermolasse	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	70 %
	Baumarten (Deckung)	50–75 % Fichte
	Oberhöhe	30 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 1: Typischer Waldsimsen-Buchenwald
	nach Burger et al. 1996	Einheit 1a: Typischer Wald-Hainsimsen-Buchenwald
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Humusform	Moder
	Bodentyp	Parabraunerde
	Vernässungsgrad	schwach pseudovergleyt
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist ab 30 cm Tiefe zeitweise ungenügend. Die Vernässung ist durch Stauwasser bedingt.
	Durchwurzelbarkeit	Aufgrund des felsigen Untergrundes ist der Boden bis maximal 150 cm durchwurzelbar. Zwischen 30 und 150 cm Tiefe ist das Wachstum der Wurzeln durch zeitweise ungenügende Durchlüftung etwas eingeschränkt. Mit 150 cm Mächtigkeit wird der Wurzelraum als sehr tiefgründig klassiert. Wurzeln wurden bis 140 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht für alle Baumarten ein kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die organische Auflage und die obersten 30 cm des Mineralbodens sind sehr stark sauer. In 30–120 cm Tiefe ist die Feinerde stark und in 120–140 cm mässig sauer. Die Kalkgrenze verläuft in 140 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	In 5–30 cm Tiefe besteht ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Moder weist auch das mittlere C/N-Verhältnis im F-Horizont auf eine gehemmte Mineralisierung hin. Das mässig weite C/P-Verhältnis im F-Horizont deutet sogar eine noch stärker gehemmte biologische Aktivität an. Diese wird gesamthaft als mittel beurteilt.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der Nährstoffkationen sind gross. Der Ca- und Mg-Vorrat sind sehr hoch und der K-Vorrat ist hoch. Die obersten 30 cm des Mineralbodens sind relativ arm an Nährstoffen.
Verankerung	Da der Boden trotz anstehendem Fels sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung der Bäume 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**

Diese schwach pseudovergleyte Parabraunerde ist trotz dem in 150 cm Tiefe anstehenden Fels sehr tiefgründig. Die zeitweise ungenügende Durchlüftung und stellenweise recht grosse Dichte beeinträchtigen das Wurzelwachstum nur unwesentlich. Daher schränkt die Durchwurzelbarkeit des Bodens die Baumartenauswahl nicht ein.

■ **Entwässerung des Bodens durch die Bäume**

Die biologische Entwässerung hat in diesem schwach vernässten Boden bei der Baumartenwahl eine marginale Bedeutung 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**

Der Boden ist bis 120 cm Tiefe stark bis sehr stark sauer und in 5–30 cm Tiefe besteht ein Risiko für Al-Toxizität. Eine Verbesserung des Säurezustandes ist daher erwünscht. Zwar liesse sich der Versauerung mit einer entsprechenden Baumartenwahl entgegenwirken. Der Spielraum für eine Überführung des Moders in einen weniger Säure produzierenden Mull ist vorhanden, denn der Bestand enthält derzeit zuviel Nadelholz. Angesichts des standorttypischen Moders drängt sich jedoch keine Überführung in einen Mull auf. Im Hinblick auf den Säurezustand empfehlen wir, den Nadelholzanteil zu reduzieren und vermehrt standortgerechte Laubholzarten zu verjüngen. Damit wird im Minimum erreicht, dass die Mächtigkeit der sauren organischen Auflage nicht zunimmt.

■ **Nährstoffangebot im Boden**

Die Mineralisierung der Nährstoffe im Oberboden ist mittel, die Nährstoffumsetzung also gehemmt. Eine Erhöhung der Mineralisierung ist erwünscht. Wie bereits im vorstehenden Abschnitt Säurezustand beschrieben, drängt sich aufgrund des standorttypischen Moders keine Überführung in einen Mull auf. Wir empfehlen, die Mineralisierung mit einem höheren Laubholzanteil zu steigern, wobei der standorttypische Moder wahrscheinlich erhalten bleibt.

Viele Baumarten haben bezüglich Nährstoffversorgung des Bodens eine weite ökologische Amplitude. Das Nährstoffangebot für sich allein betrachtet wird daher an diesem Standort für die meisten Baumarten ausreichend sein. Eine Ausnahme bilden, trotz dem insgesamt grossen Vorrat an Nährstoffkationen, die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer.

Wir gehen davon aus, dass sie aufgrund der relativ nährstoffarmen Zone in 0–30 cm Tiefe und dem damit einher gehenden Risiko für Al-Toxizität im Vergleich zu den anspruchsloseren Baumarten zuwenig konkurrenzkräftig sind. Dies dürfte vor allem für die jungen Bäume zutreffen, während der Zeit, in der sie ausschliesslich die nährstoffarmen, oberen Bodenhorizonte durchwurzeln.

M17.7.3 Baumartenempfehlung

Das ziemlich milde Klima lässt grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl zu. Einige der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien schränken die Baumartenauswahl jedoch ein, und zwar der Säurezustand des Bodens, die Mineralisierung im Oberboden und das Angebot an Nährstoffkationen. Die in [Tab. M17.6](#) enthaltene Baumartenempfehlung von Burger et al. (1996) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht sind an diesem Waldstandort Laubbaumarten mit nicht zu hohem Nährstoffbedarf zu fördern. Im Hauptbestand sehen wir vor allem die Buche und die Traubeneiche. Im Nebenbestand können Winterlinden oder Hagebuchen eingebracht werden. Diese Baumarten ertragen die von uns als kritisch erachteten Bodeneigenschaften und wirken sich positiv auf die Bodenqualität aus. Ihre relativ gut abbaubare Laubstreu fördert die biologische Aktivität im Oberboden, was den Säurezustand des Bodens und die Verfügbarkeit der Nährstoffe verbessert.

Von den in [Tab. M17.6](#) empfohlenen Baumarten (Burger et al. 1996) scheinen uns aus bodenökologischer Sicht die Waldföhre und die Lärche wegen ihrer sauer wirkenden Nadelstreu nicht geeignet. Die Winterlinde und die Hagebuche sehen wir nicht im Haupt- sondern im Nebenbestand. Die Birke ist an diesem Buchenstandort nicht konkurrenzkräftig.

Tab. M17.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 1a; Burger et al. 1996)	Buche, Traubeneiche, Winterlinde, Waldföhre, Lärche, Birke, Hagebuche
Bodenkundliche Kriterien	Buche, Traubeneiche (Winterlinde, Waldföhre, Lärche, Birke, Hagebuche)

Burger, T./Danner, E./Kaufmann, G./Lüscher, P./Stocker, R., 1996: Standortskundlicher 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.

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.

Tuchschrnid, 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.
