

M 16 Bodenprofil Ermatingen-Tobel

M 16.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

M 16.1.1 **Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren**

Das Bodenprofil ist in [Abb. M 16.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb. M 16.2](#). [Tab. M 16.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Ermatingen-Tobel zusammen, und [Tab. M 16.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

M 16.1.2 **Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz**

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H4 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung; Mulden, Akkumulationsrinnen). 35 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 0.3% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

M 16.1.3 **Besonderheiten am Profilort**

Das Profil M 16 liegt in einem Tobel, durch das ein kleiner Bach fliesst. Der Profilort M 17, Ermatingen-Plateau, befindet sich in östlicher Richtung auf einer rund 10 m höher gelegenen Ebene. Die Distanz zwischen M 16 und M 17 beträgt rund 50 m.

Das Bodenprofil M 16 repräsentiert den Boden in einer typischen Ausbildung des Ahorn-Eschenwaldes.

M 16.1.4 **Profilmorphologie und Klassierung**

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab. M 16.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die gut abbaubare Streu stammt vor allem von der Esche, dem Spitzahorn und der Buche, wobei auch die krautigen Pflanzen einen nicht vernachlässigbaren Anteil liefern. Am Boden ist nur eine geringmächtige Streuauflage vorhanden. Die Horizontfolge des Oberbodens wird mit L-Ah bezeichnet und die Humusform als Mull klassiert.



Abb. M16.1 (links) Bodenprofil Ermatingen-Tobel

Abb. M16.2 (rechts) Bestand am Profilort Ermatingen-Tobel

Tab. M16.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Ermatingen-Tobel	
Lokalname	Ermatingen-Tobel (Kanton Thurgau, Gemeinde Ermatingen)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1033, Steckborn Koordinaten 723700/278510
Waldgesellschaft (Ellenberg & Klötzli 1972)	Nr. 26: Ahorn-Eschenwald (<i>Aceri-Fraxinetum</i>)
Horizontfolge	L-Ah-(A)G-Go-Go,r-Gr
Humusform	Mull
Bodentyp	Gley, grundnass
Bodentyp (FAO 1988)	Calcaric Gleysol

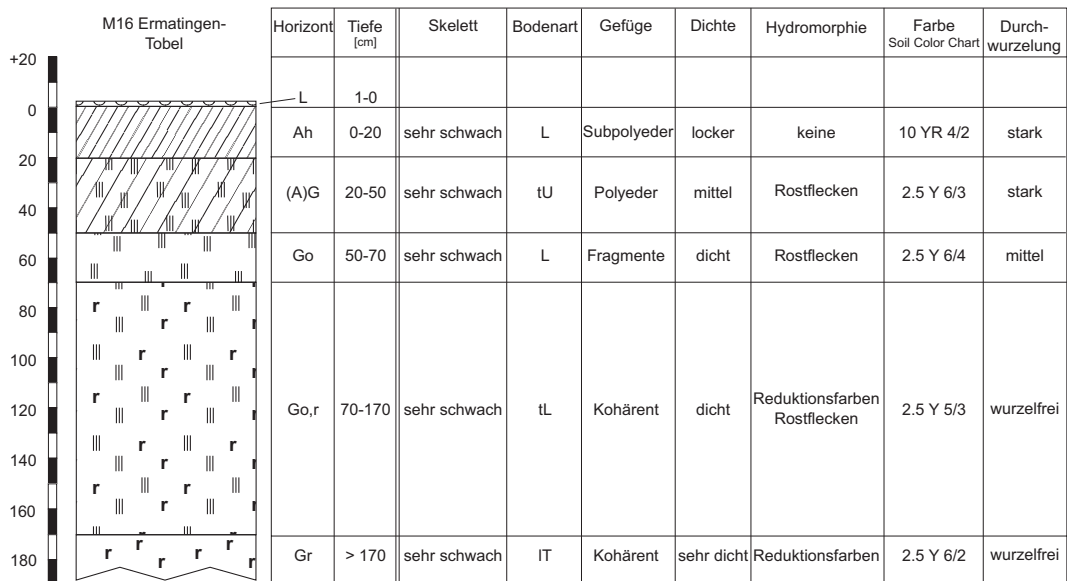
Tab. M16.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Ermatingen-Tobel			
Relief	Höhe ü. M.	550 m	
	Exposition	N	
	Neigung	6%	
	Geländeform	Mulde	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Molassebecken; Obere Süsswassermolasse (karbonathaltig)	
	Lithofazies	Nr. 21: Molassemergel und -tongesteine	
	(nach Tuchschnid 1995)	physikalische Verwitterbarkeit Gestein:	mittel – gross
		chemische Verwitterbarkeit Gestein:	klein
Klima		Tongehalt Gestein:	mittel – hoch
	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)	90 %	25–50% Spitz-Ahorn (<i>Acer platanoides</i>) 25–50% Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>) 25–50% Gemeine Esche (<i>Fraxinus excelsior</i>)
	Strauchschicht	3 %	–
	Krautschicht	50 %	Gemeiner Sauerklee (<i>Oxalis acetosella</i>) Gemeines Hexenkraut (<i>Circaea lutetiana</i>) Berg-Goldnessel (<i>Lamium galeobdolon susp. montanum</i>) Ährige Rapunzel (<i>Phyteuma spicatum</i>) Wald-Schlüsselblume (<i>Primula elatior</i>) Scharbockskraut (<i>Ranunculus ficaria</i>) Rasen-Schmiele (<i>Deschampsia cespitosa</i>) Wald-Ziest (<i>Stachys sylvatica</i>)
	Moosschicht	1 %	–

Aufgrund der morphologischen Merkmale lässt sich der 1.9 m tief aufgeschlossene Mineralboden in fünf Horizonte gliedern. Der Boden ist stark hydromorph geprägt, wie die dominanten Vernässungsmerkmale eindrücklich zeigen.

Der Humus verleiht den obersten 20 cm des Mineralbodens eine relativ dunkle Farbe. Unter einer matt gelben Schicht in 20–70 cm Tiefe dominieren gräuliche Farbtöne. Ab 20 cm Tiefe treten in der Bodenmatrix Rostflecken und ab 70 cm Tiefe zusätzlich gräulich-bläuliche Reduktionsfarben auf. Unterhalb von 170 cm Tiefe kommen keine oxidativen Farbtöne vor, womit dort stets anaerobe Bedingungen herrschen dürften. Der durchwegs relativ tonreiche Boden enthält kaum Skelett. Die Feinerde zeigt bis 50 cm

Tab. M16.3**Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Ermatingen-Tobel**

Bodenart: L Lehm, tU toniger Schluff-Lehm, tL toniger Lehm, IT lehmiger Ton



Tiefe eine ausgeprägte Subpolyeder- bzw. Polyederstruktur. Ab 50 cm Tiefe ist der Boden wenig strukturiert. Die Dichte nimmt vom lockeren Oberboden bis zur sehr dichten Profilsohle markant zu. Wurzeln wurden bis 70 cm Tiefe beobachtet.

Die Horizontfolge des Profils lautet L-Ah-(A)G-Go-Go,r-Gr. Demnach wird der Boden als grundnasser Gley klassiert. Zum Zeitpunkt des Profilaushubs (17. 5.1995) lag der Grundwasserspiegel in 70 cm Tiefe.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Feinerde ist im gesamten Profil karbonathaltig. In 50 bis 80 cm Tiefe hat karbonathaltiges Grundwasser dazu geführt, dass sich Höhlräume mit sekundären Kalkausfällungen gefüllt haben. Wir gehen davon aus, dass der Boden von gewissen Baumarten (z.B. Schwarzerle oder Bergulme) bis an die Obergrenze des Gr-Horizontes und damit bis 170 cm Tiefe durchwurzelt werden kann.

Skelettgehalt

Der Boden ist bis 170 cm Tiefe sehr schwach skeletthaltig (Abb. M16.3). In 170 cm Tiefe nimmt der Skelettgehalt auf rund 15% und damit auf einen mittleren Wert zu.

Bodenart

Ton, Schluff und Sand sind in der Mehrzahl der Horizonte in jeweils ähnlich grossen Anteilen vorhanden (Abb. M16.4). Damit sind die Anteile der einzelnen Korngrössenklassen über das gesamte Profil hinweg relativ konstant. Eine Ausnahme bildet der Go-Horizont. Hier hat karbonathaltiges Grundwasser dazu geführt, dass sich Hohlräume im Boden mit sekundären Kalkausfällungen gefüllt haben. Diese sekundären Ausfällungen führen zu methodischen Schwierigkeiten bei der Korngrössenanalyse, indem der Kalk die Feinerdepartikel verkittet und so zu einem zu grossen Sandanteil im Messergebnis führt. Mit Ausnahme des Go-Horizontes gilt der Boden gemessen an seinem Tonanteil je nach Horizont als schwer bis sehr schwer. Der selbst im Gr-Horizont relativ hohe Tonanteil von rund 35% ist auf das geologische Ausgangsgestein zurückzuführen, bei dem es sich um einen Molasse-Mergel handelt. Feldmethode und Labormessung ergaben für die Mehrzahl der Horizonte abweichende Resultate, indem mit der Feldmethode vor allem der Tongehalt falsch geschätzt wurde (Tab. M16.3).

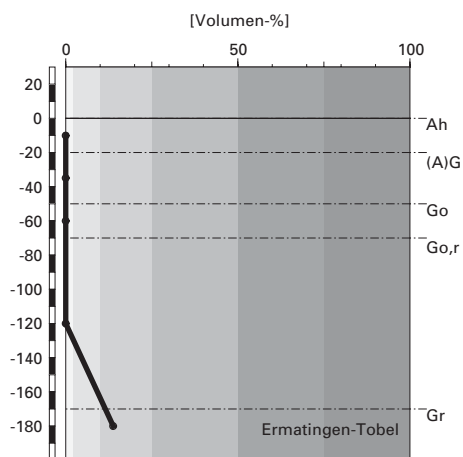
Dichte der Feinerde

Der nicht vernässte, stark strukturierte Ah-Horizont hat eine äusserst geringe Dichte. In den übrigen Horizonten ist die Dichte gering bis mittel (Abb. M16.5). Mit 1.57 g/cm^3 hat die Dichte im Gr-Horizont den maximalen Wert.

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Der lockere und gut strukturierte Ah-Horizont ist hoch durchlässig (Abb. M16.6). In allen übrigen, stark vernässten Horizonten ist die Durchlässigkeit gering. In Abweichung zu Abb. M16.6 gilt dies selbst für den Go-Horizont. Hier resultiert nämlich aus dem methodisch bedingt zu hoch eingeschätzten Sandanteil eine ebenfalls zu hohe Durchlässigkeit.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

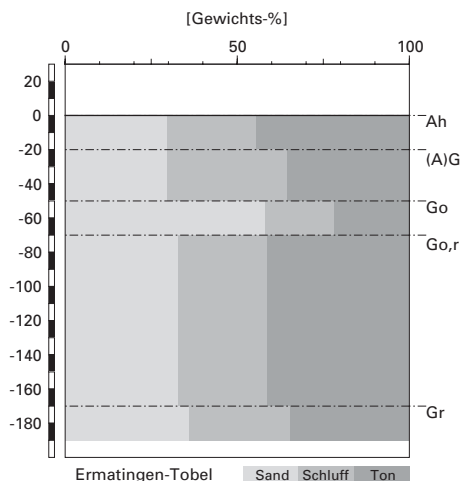


Abb. M16.3 (links) Skelettgehalt

Abb. M16.4 (rechts) Bodenart

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe beträgt 198 l/m², was als sehr hoch klassiert wird (Abb. M16.7). Positiv auf das Speichervermögen wirkt sich vor allem das Fehlen von Skelett aus.

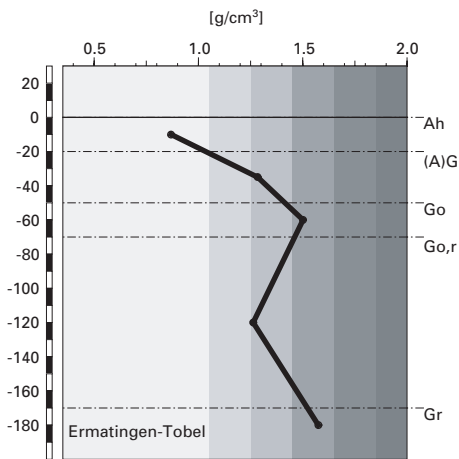
M16.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Dieser als grundnasser Gley klassierte Boden ist unterhalb von 20 cm Tiefe hydromorph geprägt. Nur gerade der 20 cm mächtige Ah-Horizont ist frei von Vernässungsmerkmalen. In 20–70 cm Tiefe kommen ausschliesslich oxidative Vernässungsmerkmale in Form von Rostflecken vor und ab 70 cm Tiefe gesellen sich Reduktionsfarben zu den Rostflecken. Mittels Bohrung wurde festgestellt, dass unterhalb von 170 cm Tiefe keine oxidativen Farbtöne mehr vorkommen, also stets anaerobe, reduzierende Bedingungen herrschen. Das Profil wurde am 17.5.1995 ausgehoben. Damals lag der Grundwasserspiegel in nur gerade 70 cm Tiefe.

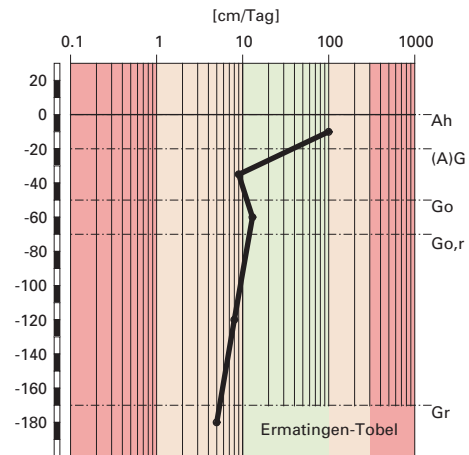
Feinerde-Dichte



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. M16.5 (links) Dichte der Feinerde

Abb. M16.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Die Gründigkeit des Bodens beträgt je nach Baumart maximal 170 cm. Während wenig empfindliche Baumarten wie Eiche, Hagebuche oder Ulme ihre Wurzeln in die temporär vernässte Zone (20–170 cm Tiefe) vortreiben können, ist dort das Wurzelwachstum der empfindlichen Baumarten wie Buche oder Fichte zwar nicht vollständig unterbunden, aber doch deutlich eingeschränkt. Einschränkend wirkt vor allem die zeitweise ungenügende Durchlüftung und im Go-Horizont zusätzlich die Dichte, welche mit 1.50 g/cm^3 den als kritisch erachteten Wert von 1.4 g/cm^3 überschreitet. Ab 170 cm Tiefe herrschen im ständig vernässten Gr-Horizont permanent reduzierende Bedingungen. Diese Zone könnte allenfalls noch von einer einzigen Baumart, nämlich der Schwarzerle, durchwurzelt werden.

Der Wurzelraum wird mit einer maximalen Mächtigkeit von 170 cm als sehr tiefgründig klassiert. Der Boden wird vom aktuellen Mischbestand aus Esche, Spitzahorn und Buche nicht voll genutzt, denn Wurzeln sind bloss bis 70 cm Tiefe vorhanden. Allerdings sind diese drei Baumarten empfind-

pflanzenverfügbares Wasser

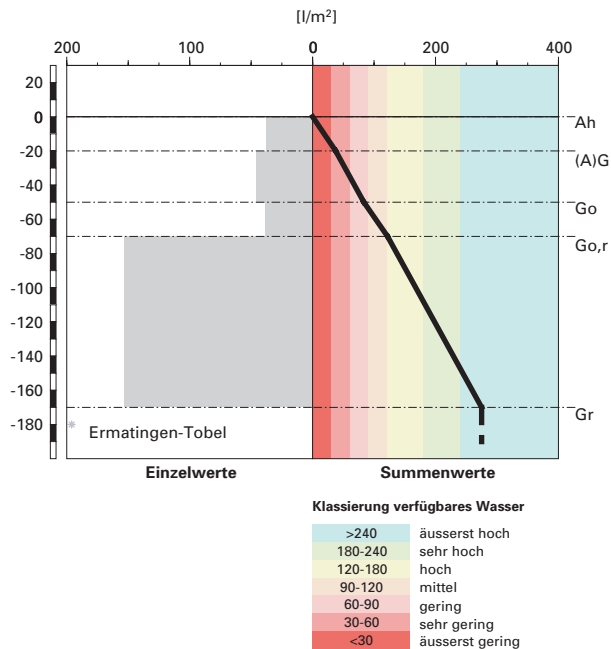


Abb. M16.7 Pflanzenverfügbares Wasser

lich auf Sauerstoffarmut im Boden. Wir gehen trotz der aktuellen, auf 70 cm Tiefe beschränkten Durchwurzelung davon aus, dass die Tiefwurzler wie Eiche oder Bergulme den Go,r-Horizont bis an die Obergrenze zum Gr-Horizont durchwurzeln können.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Bei einer Referenztiefe von 120 cm kann gemäss unseren Berechnungen davon ausgegangen werden, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 25 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Wir beurteilen das Trockenstress-Risiko an diesem Laubmischwald-Standort (E & K 26) sowohl für die tief wurzelnden Baumarten als auch für die Arten mit oberflächlicherem Wurzelwerk als klein. Diese Beurteilung lässt sich wie folgt begründen: erstens kann dieser nahezu skelettfreie Boden in allen Horizonten viel pflanzenverfügbares Wasser speichern und zweitens befindet sich das Bodenprofil in einer Mulde und damit in Zufuhrlage, so dass der Wurzelraum laufend mit Grundwasser versorgt wird.

Bodenbefahrbarkeit

Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil er bis in grosse Tiefen kaum Skelett enthält. Im Winter ist das Befahren aus bodenphysikalischer Sicht fast immer problematisch, da dieser Gley dann oft bis nahe an die Bodenoberfläche mit Wasser gesättigt ist und höchstens oberflächlich gefriert.

M16.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

M16.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Am Profilort Tobel bei Ermatingen wächst ein reiner Laubholzbestand aus Spitz-Ahorn, Buche und Esche mit einem Deckungsgrad von 90%. Der Boden ist zu 50% von einer Krautschicht bedeckt. Sie ist sehr artenreich und besteht aus gemeinem Sauerklee, gemeinem Hexenkraut, Berg-Goldnessel, ähriger Rapunzel, Wald-Schlüsselblume, Scharbockskraut, Rasen-Schmiele und Wald-Ziest. Die Streu sowohl aus der Baum- als auch aus der Krautschicht ist gut bis sehr gut abbaubar.

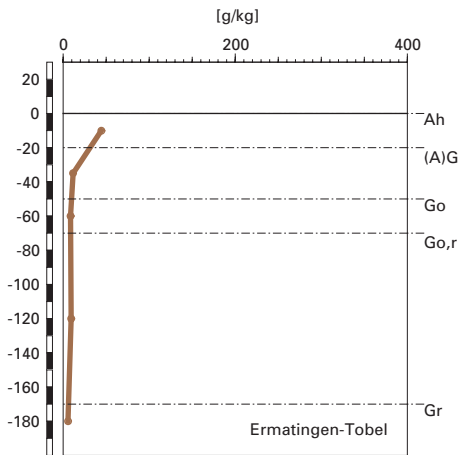
Der relativ dunkle Ah-Horizont hebt sich deutlich vom matt orangen (A)G-Horizont ab. Sein Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) beträgt 4.4% (Abb. M16.8). Im Tiefenverlauf nimmt C_{org} zuerst deutlich auf 1.2% im (A)G- und dann allmählich auf 0.6% im Gr-Horizont ab. Aus diesen C_{org} -Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 261 t/ha (Abb. M16.9).

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt variiert über die gesamte Profiltiefe beträchtlich. Er nimmt von 45% im Ah- auf 22% im Go-Horizont ab (Abb. M16.4). Im Go,r-Horizont nimmt er sprunghaft auf 41% zu und im Gr-Horizont beträgt er noch 35%.

Das Dithionit-extrahierbare Eisen (Fe_d) hat im Oberboden deutlich grössere Gehalte als im Unterboden. Im Ober- bzw. Unterboden variiert der Gehalt nur wenig (Abb. M16.10). Die Gehalte des Oxalat- und Pyrophosphat-extrahierbaren Eisens (Fe_o bzw. Fe_p) sind ähnlich verteilt. Fe_o und Fe_p haben das Maximum im Ah- und das Minimum im Go-Horizont, in welchem Fe_o gar unterhalb der Bestimmungsgrenze von 625 mg/kg Boden liegt. Unter dem Go-Horizont nimmt der Fe_o -Gehalt bis in den Gr-Horizont zu (Abb. M16.10), während der Fe_p -Gehalt nur im Go,r-Horizont ansteigt und danach wieder abnimmt (Tab. A130 in Zimmermann et al. 2006). Auch

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

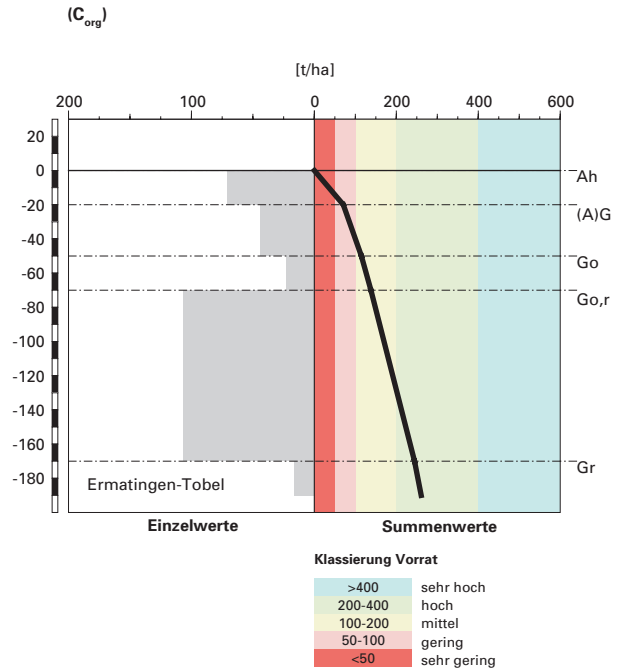


Abb. M16.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. M16.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

das Oxalat-extrahierbare Aluminium (Al_o) ist ähnlich wie Fe_p verteilt (**Abb. M16.11**), während das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium (Al_p) im ganzen Profil unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1000 mg/kg liegt.

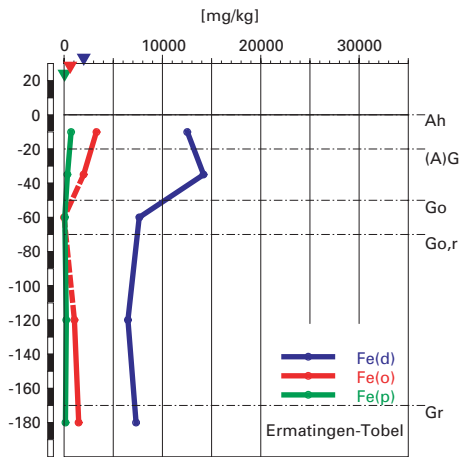
Die Fe_o/Fe_d - und Fe_p/Fe_o -Verhältnisse sind im gesamten Profil relativ klein (**Abb. M16.12**). Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis variiert zwischen 0.14 und 0.26, wobei sich beide Extreme im Oberboden befinden, und beim Fe_p/Fe_o -Verhältnis schwanken die Werte zwischen 0.09 und 0.22 mit dem Minimum im Gr-Horizont.

M16.3.2 Bodenkundliche Interpretation

Die sehr gut abbaubare Streu der Laubbäume und der artenreichen Krautschicht wird innerhalb eines Jahres vollständig zersetzt. Als Humusform hat sich ein Mull entwickelt. Zu diesem schnellen Umsatz der Streu tragen neben der guten Streuqualität die alkalischen pH-Verhältnisse im gesamten Boden, die hohe biologische Aktivität sowie das ziemlich milde Klima mit einem kleinen Risiko für Trockenstress bei. Der Boden ist während langen

Eisen-Oxide

(Gehalte)



Aluminium-Oxide

(Gehalte)

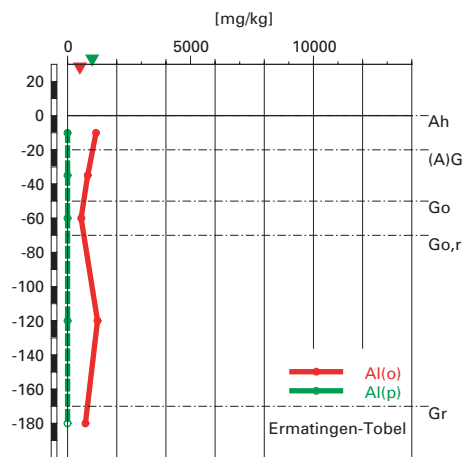


Abb. M16.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb. M16.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide

(Verhältnisse)

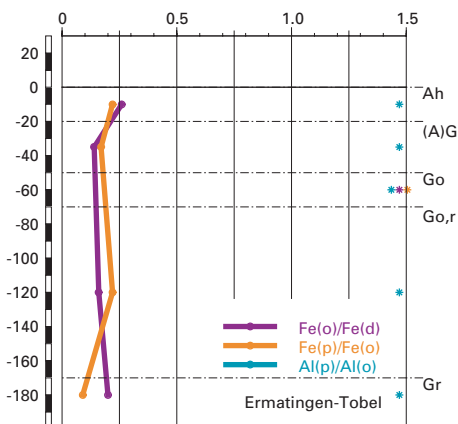


Abb. M16.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

Perioden bis in den Go-Horizont wassergesättigt, womit die Regenwurm-aktivität vor allem auf den Oberboden beschränkt ist. Dort sind zwar Spuren von Wurmtätigkeit vorhanden, allerdings hat sich keine Krümelstruktur gebildet. Dies ist beim hohen Tongehalt von 45% auf Quellungs- und Schrumpfungsprozesse bei wechselnder Feuchtigkeit zurückzuführen.

Das C/N-Verhältnis beträgt im Ah-Horizont 10 und wird damit als eng klassiert. Dies ist mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Der gesamte Boden ist karbonathaltig, wobei die grössten Karbonatgehalte im (A)G- und im Go-Horizont gemessen wurden. Dadurch bilden sich trotz hoher Mineralisierungsrate stabile Ca-Humate, welche vor weiterem Abbau geschützt sind. So konnte sich ein im gesamtschweizerischen Vergleich hoher Vorrat an organischem Kohlenstoff von 261 t/ha bilden (Abb. M16.9).

Der im (A)G- und Go-Horizont grösste Karbonatgehalt ist ungewöhnlich, da der Karbonatgehalt normalerweise mit der Tiefe zunimmt. Dieser Boden ist bis in den Go-Horizont mittel bis stark durchwurzelt. Durch die Transpiration der Bäume findet eine ständige Drainage statt. Dadurch wird im Bodenwasser gelöstes Karbonat aufkonzentriert und es bilden sich sekundäre Kalkausfällungen. Durch den ständigen Nachschub von kapillar oder mit dem Grundwasser aufsteigendem, karbonathaltigem Wasser konnten sich in diesem Profilbereich Karbonate anreichern (Abb. M16.1). Saugspannungsmessungen zwischen Mai 1996 und November 1999 haben gezeigt, dass der Boden während der meisten Zeit des Jahres ab einer Tiefe von rund 60 bis 70 cm Tiefe wassergesättigt war, was diese Interpretation plausibel macht. Durch diesen aussergewöhnlich grossen, sekundären Karbonatgehalt kann auch das Minimum des Tongehaltes im Go-Horizont erklärt werden. Vermutlich handelt es sich um einen Artefakt der Messung, bei der das stark koagulierend wirkende Karbonat nicht vollständig zerstört und der Tongehalt dadurch unterschätzt wurde. Eine Tonverlagerung kann ausgeschlossen werden, da die Tonminerale Ca-gesättigt, ausgeflockt und damit nicht dispergierbar sind.

Die Tiefenverteilung der leichter extrahierbaren Eisenverbindungen (Fe_o und Fe_p) kann mit der Verlagerung von Eisen durch den schwankenden Grundwasserspiegel erklärt werden. Wenn sich der Grundwasserspiegel nach Vernässungsphasen senkt, ist darin Eisen gelöst. Die Lösung von Eisen findet infolge der reduktiven Bedingungen und wegen der gegenüber Fe^{3+} grösseren Löslichkeit von Fe^{2+} statt. Dadurch verarmt der Go-Horizont, in welchem der Grundwasserspiegel häufig schwankt, an Eisen. Unter Umständen findet der Eisentransport zusätzlich noch unter dem Einfluss von gelöster organischer Substanz, welche Eisen bindet, statt. Auf diese Weise kann auch das Minimum von Al_o im Go-Horizont interpretiert werden.

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit für das Minimum von Fe_o im Go-Horizont sind die grossen Karbonatgehalte im (A)G- und Go-Horizont und die während längeren Perioden reduzierenden Bedingungen im Go-Horizont. Im wassergesättigten Boden ist der Porenraum mit Wasser gefüllt und die Diffusion von Gasen ist reduziert. Die Verarmung an Sauerstoff und die Akkumulation von gasförmigem CO_2 bzw. das Vorhandensein von gelöstem Bikarbonat fördert die Bildung von FeCO_3 (Siderit) als das bei diesen Bedingungen stabile Eisenmineral. Ein CO_2 -Partialdruck von 0.3 atm ist in vernässten Böden nicht ungewöhnlich. Unter solchen Bedingungen löst sich Goethit und es wird Siderit gebildet (Lindsay 1979). Sobald wieder oxidierende Verhältnisse eintreten, löst sich der Siderit auf, Fe^{2+} wird oxidiert und es fällt ein Fe^{3+} -Oxid aus. Da aber der Go-Horizont gemäss den Saugspannungsmessungen während langer Zeit im Jahr wassergesättigt ist, dürfte die Sideritbildung überwiegen. Damit liegt Eisen in einer Form vor, die vermutlich nicht mehr leicht extrahierbar ist und die tiefen Fe_o - und Fe_p -Gehalte im Go-Horizont erklärt.

Die Tiefenverteilung von Fe_d , welches die gesamthaft extrahierbaren Eisenformen repräsentiert, kann durch die Rückstandsanreicherung von Eisen im Oberboden im Lauf der Verwitterung erklärt werden.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis hat für einen vernässten Boden aussergewöhnlich tiefe Werte. Es bedeutet, dass im Boden nur zwischen 14% und 26% der Eisenoxide in amorpher Form vorliegen, was in diesem stark vernässten Boden auf eine überraschend hohe Kristallinität hinweist. Auch das Fe_p/Fe_o -Verhältnis ist klein und zeigt, dass nur höchstens 22% des amorphen Eisens mit der organischen Substanz assoziiert ist.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als grundnasser Gley klassiert. Es sind vor allem die relativ hoch anstehende Grundnässe und die sekundären Kalkausscheidungen, welche die Tiefenverteilung der extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen bestimmen.

M 16.4 Themenbereich «Säurezustand»

M 16.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Der Boden ist im ganzen Profil alkalisch und befindet sich in der Säureklasse 1 (Abb. M 16.13). Die pH-Werte liegen in einem sehr engen Wertebereich zwischen 7.1 im Ah- und 7.5 im Go-Horizont.

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist im ganzen Profil mit Kalzium, Magnesium und Kalium belegt, wobei Kalzium dominiert und der vergleichsweise grosse Magnesiumanteil ins Auge sticht (Abb. M 16.14). Saure Kationen sind nirgends nachweisbar. Die Feinerde ist profilumfassend vollständig basengesättigt (Abb. M 16.15).

M 16.4.2 Interpretationen zum Säurezustand

Stand der Bodenversauerung

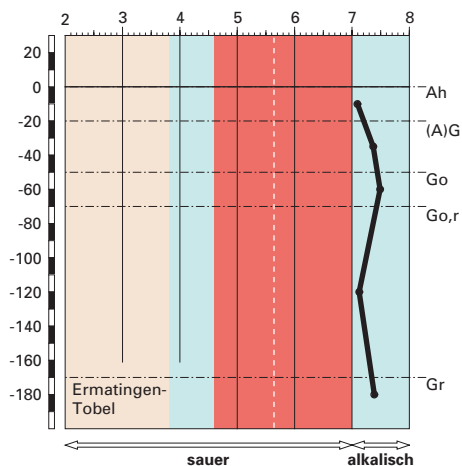
Dieser sehr tiefgründige, grundnasse Gley, der sich vollständig im Karbonatpufferbereich befindet, gilt als sehr schwach versauert. Der pH-Wert ist überall alkalisch und der Kationenaustauscher ist vollständig basengesättigt. Bei der Säurepufferung werden laufend basische Kationen freigesetzt und als Folge des Grundwassers, das bis knapp unter die Bodenoberfläche in den (A)G-Horizont aufsteigt, findet keine nennenswerte Nährstoffauswaschung statt.

Risiko für Boden und Pflanzen

Die Empfindlichkeit dieses Bodens für eine weitere pH-Abnahme ist sehr klein, denn das ganze Profil befindet sich vollständig in der gut puffernden Säureklasse 1. Der Boden ist damit nicht nur sehr gut gegen eine pH-Abnahme, sondern durch das Grundwasser auch gegen Nährstoffauswaschung geschützt. Für die Pflanzen besteht kein versauerungsbedingtes Risiko einer allfälligen Al-Toxizität, denn das BC/Al-Verhältnis liegt überall weit über dem kritischen Wert von 0.2.

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

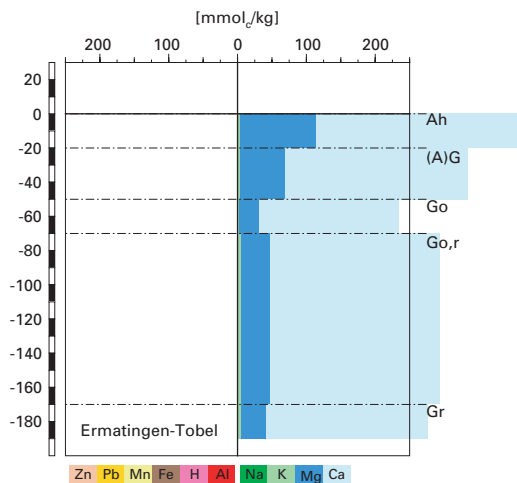
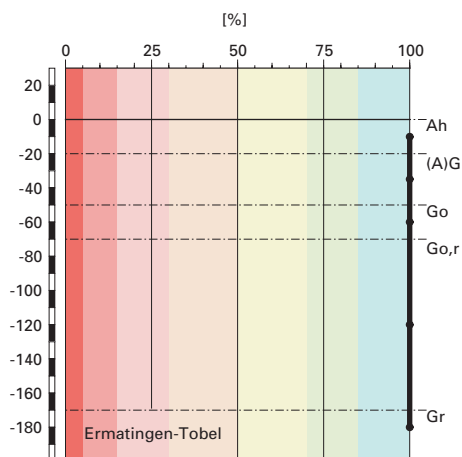


Abb.M16.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb.M16.14 (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.M16.15 Basensättigung

M16.5 Themenbereich «Schwermetalle»

M16.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Mit Ausnahme des praktisch konstanten Ni-Gehaltes ist der Tiefenverlauf der Schwermetallgehalte in diesem Boden ähnlich (Abb. M16.16). Chrom, Cu und Zn nehmen vom Ah-Horizont stark bis zum minimalen Gehalt im Go-Horizont ab und nehmen dann bis zum Go,r-Horizont wieder stark zu. Im Gr-Horizont bleiben die Gehalte dieser drei Schwermetalle gegenüber dem Go,r-Horizont gleich oder nehmen geringfügig ab. Blei liegt im untersten und obersten Horizont über der Bestimmungsgrenze, ist dazwischen aber nicht nachweisbar.

M16.5.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein aus karbonathaltiger Molasse (Lithofazies 21) liegen die meisten Schwermetall-Gehalte im Gr-Horizont innerhalb und der Cr-Gehalt oberhalb typischer Wertebereiche. Im Vergleich zu den Angaben für das Gebiet Mittelland sind der Pb-Gehalt niedrig, der Ni-, Cu- und Zn-Gehalt erhöht und der Cr-Gehalt sehr hoch.

Anmerkung: Aufgrund unserer Daten lässt sich nicht sagen, in wie weit der Gr-Horizont das unverwitterte Ausgangsgestein repräsentiert und die auf diesem Horizont basierende Beurteilung richtig ist.

M16.5.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

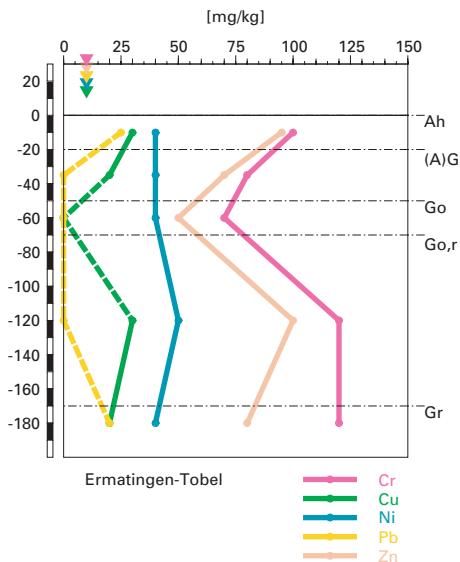
Bezogen auf die VBBo sind der Cr-Gehalt im Ah- und im Go,r-Horizont erhöht (Abb. M16.17). Der Ni-Gehalt ist in den gleichen Horizonten hoch, im (A)G- und Gr-Horizont zudem erhöht. Alle übrigen Schwermetallgehalte sind sehr niedrig bis niedrig. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

M16.5.4 Anreicherungsfaktoren

Da nicht bekannt ist, in wie weit der Go,(r)-Horizont das unveränderte Ausgangsgestein repräsentiert, können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung relativ zum Ausgangsgestein gemacht werden.

Mit Ausnahme von Ni sind die Anreicherungsfaktoren aller Schwermetalle im Go-Horizont minimal (Tab. M16.4). In diesem Horizont, in

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



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

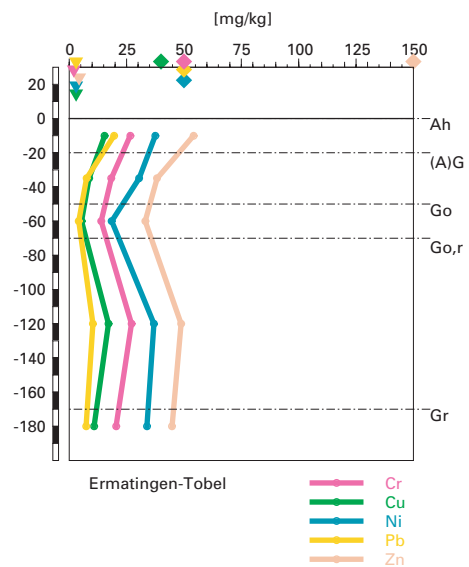


Abb. M16.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. M16.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

welchem auch das Oxalat-extrahierbare Eisen minimal ist (Abb. M16.10), werden vermutlich während der wassergesättigten Phasen mit Eisen assoziierte Schwermetalle aufgelöst und vertikal bzw. lateral abtransportiert. Im darunterliegenden Go,r- und Gr-Horizont fördern die vorwiegend reduzierenden Bedingungen die Bildung schwer löslicher Schwermetallsulfide. Dies ist vor allem für Cu von Bedeutung, womit der erhöhte Anreicherungsfaktor für Cu im Go,r-Horizont erklärt werden kann. Die im Vergleich zum Go-Horizont höheren Anreicherungsfaktoren für Cu, Zn und Pb im Ah-Horizont können teilweise damit erklärt werden, dass in diesem Horizont keine wassergesättigten Phasen und damit keine Auflösung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen stattfindet. Andererseits können die erhöhten Anreicherungsfaktoren für Cu und Zn im Ah-Horizont mit der Rückführung dieser Mikronährstoffe mit der Streu in den Oberboden erklärt werden. Der erhöhte Anreicherungsfaktor für Pb hingegen ist ein Hinweis auf anthropogenen Eintrag.

Tab. M16.4**Anreicherungsfaktoren**

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 20	0.86	1.54	1.03	1.29	1.22
(A)G	20– 50	0.86	1.29	1.29	<0.64	1.13
Go	50– 70	0.75	<0.64	1.29	<0.64	0.80
Go,r	70–170	0.95	1.42	1.18	<0.47	1.18
Gr	> 170	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

M16.5.5**Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Dieser Boden ist profilumfassend karbonathaltig und damit alkalisch (Abb. M16.13). Die Mobilität aller Schwermetalle wird im ganzen Profil als sehr gering bis gering beurteilt (Abb. M16.18). Dabei sorgt im Ah-Horizont der grosse Humusgehalt (Abb. M16.8) für eine zusätzliche Verringerung der Mobilität von Cr, Cu und Pb. Der Tongehalt ist ebenfalls sehr hoch (Abb. M16.4) und verringert die Mobilität von Cr und Pb. Nicht berücksichtigt bei der geschätzten und in Abb. M16.18 dargestellten Mobilität ist der Einfluss aller Prozesse, die mit der temporären Wassersättigung zusammenhängen. Letztere beinhalten die Mobilisierung von mit Eisenoxiden assoziierten Schwermetallen im Go-Horizont und die Ausfällung schwer löslicher Schwermetallsulfide in den beiden untersten Horizonten.

Insgesamt wird wegen der alkalischen Verhältnisse das Risiko einer Hang- oder Grundwasserbelastung mit Schwermetallen als gering eingestuft. Lediglich bei wassergesättigtem Go-Horizont könnte es unter dem Einfluss reduzierender Bedingungen zur Auswaschung von Schwermetallen durch lateralen Abfluss kommen. Angesichts der Gehalte im Go-Horizont ist dies für Cr, Ni und Zn von Bedeutung.

M16.5.6**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.

Schwermetallmobilität

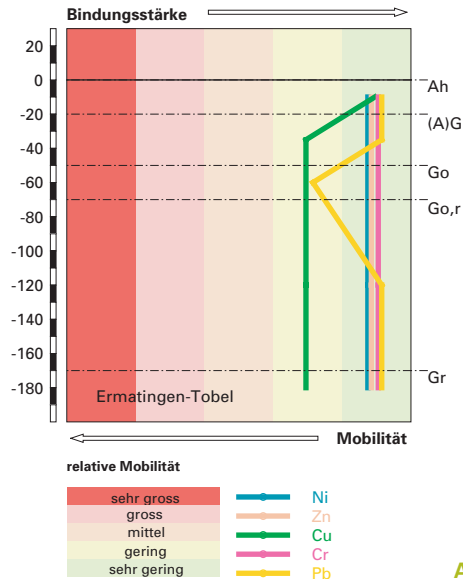


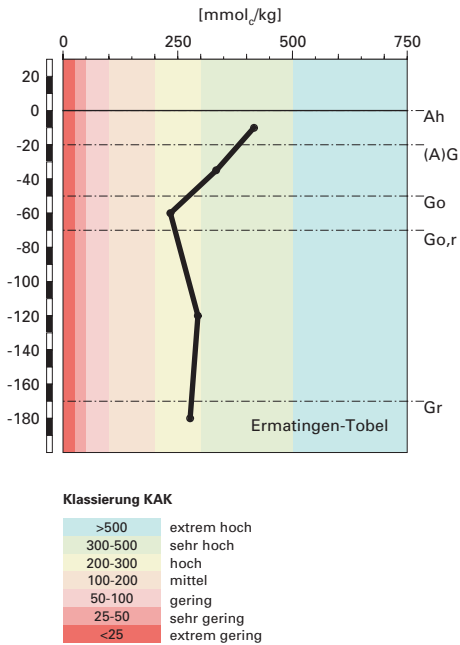
Abb.M16.18 Mobilität der Schwermetalle

M16.6 Themenbereich «Nährstoffe»

M16.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Aufgrund der Humusform wird die Nährstoffverfügbarkeit als optimal beurteilt. Die von Spitz-Ahorn, Buche, Esche und aus der artenreichen Krautschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres vollständig zersetzt. Als Humusform hat sich ein Mull gebildet. Die alkalischen pH-Verhältnisse sowie die während der Vegetationsperiode günstigen Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen sind gute Voraussetzungen für eine grosse biologische Aktivität. Die organische Substanz wird nicht nur schnell zersetzt, sondern auch intensiv mit der Mineralerde vermischt und tief eingearbeitet, was in einem 20 cm mächtigen Ah-Horizont zum Ausdruck kommt. Die grosse biologische Aktivität drückt sich wegen des hohen Tongehaltes und der häufig wechselnden Feuchtigkeit allerdings nicht in einer Krümelstruktur der Feinerde aus. Die Quellungs- und Schrumpfungsprozesse begünstigen eine Subpolyederstruktur.

Kationenaustauschkapazität (KAK)



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

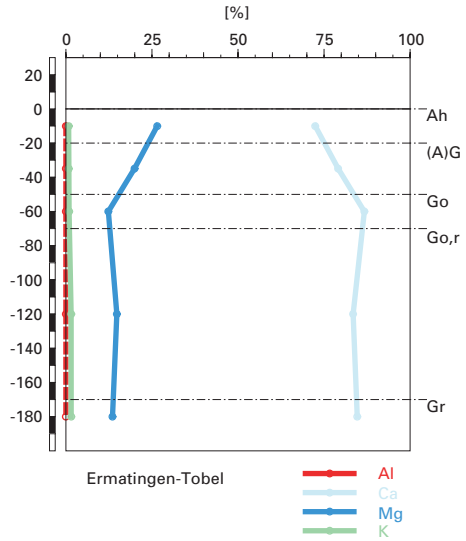


Abb. M16.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. M16.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

Das C/N-Verhältnis beträgt im Ah-Horizont 10 und ist damit typisch für die Humusform Mull. Das als eng klassierte C/N-Verhältnis ist mit einer hohen Mineralisierungsrate der organischen Substanz verbunden. Dadurch werden die Nährstoffe relativ schnell aus der organischen Substanz in eine pflanzenverfügbare Form gebracht. Damit wird die aufgrund der morphologischen Beobachtungen gemachte Einschätzung einer optimalen Nährstoffverfügbarkeit bestätigt. Auch das mässig enge C/P-Verhältnis von 119 im Ah-Horizont unterstützt diese Aussage.

M16.6.2

Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) wird im Oberboden als sehr hoch, im Unterboden als hoch klassiert (**Abb. M16.19**). Damit folgt sie der Tiefenverteilung des Tongehaltes und des Gehaltes an organischer Substanz (**Abb. M16.4 und M16.8**). Im Vergleich zu den anderen Mittellandböden ist

Kalzium-Vorrat

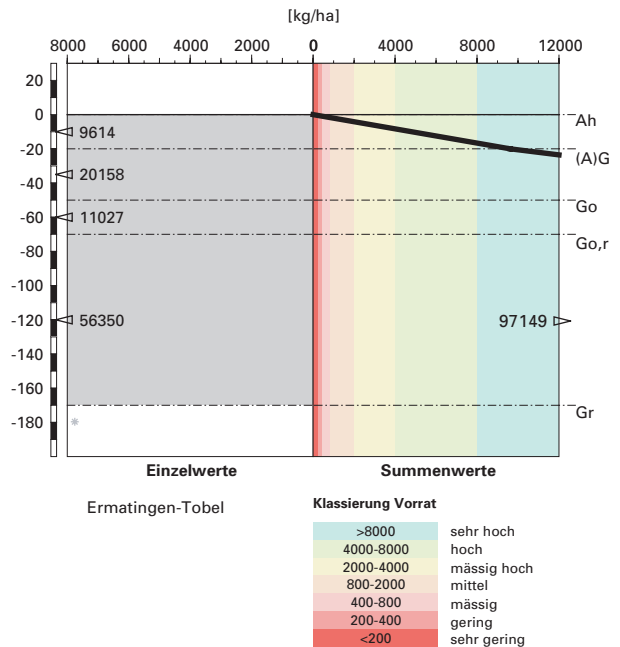


Abb.M16.21 Vorrat an Kalzium

die KAK im ganzen Boden relativ hoch. Dies könnte einerseits mit einem methodischen Artefakt, nämlich der Kalkauflösung im Verlauf der Extraktion, zusammenhängen. Andererseits ist der pH-Wert im ganzen Boden im alkalischen Bereich, in welchem keine polymeren Aluminium-Hydroxokationen durch Blockierung von Austauscherplätzen die KAK reduzieren.

Entsprechend den alkalischen pH-Verhältnissen spielt Aluminium am Kationenaustauscher dieses Bodens keine Rolle. Der Kationenaustauscher ist praktisch nur mit Ca und Mg belegt (Abb.M16.20). Dabei verläuft die Tiefenverteilung der Mg-Belegung genau parallel zu jener der KAK. Im Oberboden ist die Mg-Belegung grösser als im Unterboden. Entsprechend umgekehrt verhält sich die Ca-Belegung, wobei diese im ganzen Boden grösser ist als die Mg-Belegung. Die K-Belegung ist im ganzen Boden konstant zwischen 0.8 und 1.5%.

Magnesium-Vorrat

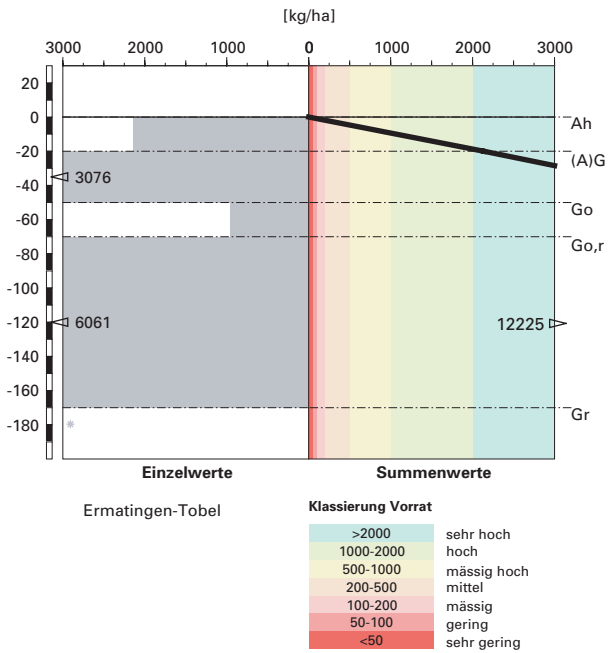


Abb.M16.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

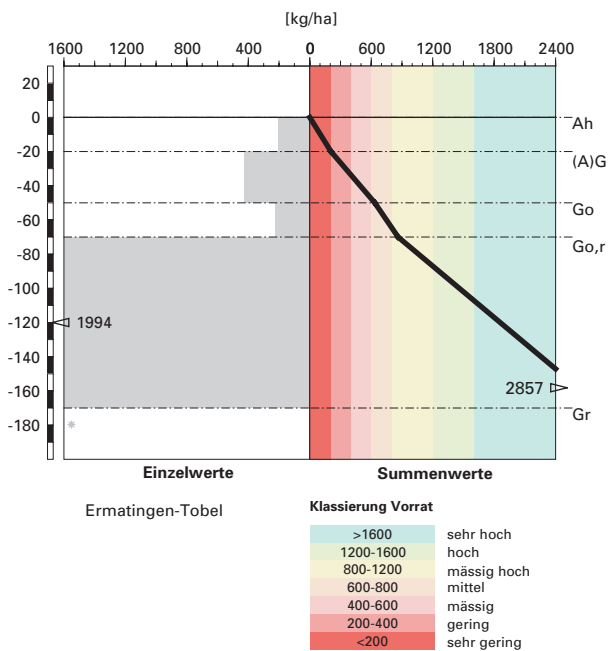


Abb.M16.23 Vorrat an Kalium

M16.6.3 **Nährstoffvorräte**

In den **Abb. M16.21 bis M16.23** werden die Vorräte an Ca, Mg und K dargestellt. Alle Vorräte nehmen mit der Tiefe sehr stark zu. Am ausgeprägtesten ist die Vorratzzunahme mit der Tiefe für Ca vor Mg und K. Im Hauptwurzelraum (bis 60 cm Tiefe) werden die Vorräte wie folgt beurteilt:

Ca sehr hoch
Mg sehr hoch
K mittel

Der Boden ist bis in eine Tiefe von 170 cm durchwurzelbar. Unter Berücksichtigung der durchwurzelbaren Tiefe sind die Vorräte für alle drei Nährstoffkationen als sehr hoch zu bewerten.

Es gilt zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung stark vom Wasserhaushalt abhängig ist. Am Profilort Ermatingen-Tobel besteht ein kleines Risiko für Trockenstress, so dass die sehr hohen Vorräte an Nährstoffkationen den Pflanzen praktisch uneingeschränkt zur Verfügung stehen.

M16.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

M16.7.1 **Steckbrief für die Waldbehandlung**

Der Steckbrief (**Tab. M16.5**) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

M16.7.2 **Baumartenwahl**

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand setzt sich vor allem aus Esche, Buche und Spitzahorn zusammen. Der hohe Anteil von Buche und Spitzahorn dürfte auf Bewirtschaftung zurückzuführen sein. Im Naturwald würden zusätzlich zur Esche wahrscheinlich der Bergahorn und die Bergulme aber weniger Buche und Spitzahorn wachsen. Nach Burger et al. (1996) ist an diesem Laubmischwald-Standort (Einheit 26) die Humusform Mull typisch. Den vorhandenen Mull bewerten wir demnach als standorttypisch.

Tab. M16.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Ermatingen-Tobel)		
Standortangaben		
Relief	Höhe	550 m ü. M.
	Exposition	N
	Neigung	6%
Klima	Jahresniederschlag	1007 mm
	Jahrestemperatur	8.5°C
Ausgangsgestein	obere Süsswassermolasse (karbonathaltig)	
Baumbestand	Struktur	zweischichtig
	Schlussgrad	90%
	Baumarten (Deckung)	25–50% Spitzahorn, 25–50% Rotbuche, 25–50% Esche
	Oberhöhe	30 m
Waldgesellschaft	nach E & K 1972	Nr. 26: Ahorn-Eschenwald
	nach BUWAL 2005	Einheit 26: Ahorn-Eschenwald
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Humusform	Mull
	Bodentyp	Gley
	Vernässungsgrad	grundnass
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Die Durchlüftung ist zwischen 20 und 170 cm Tiefe zeitweise und weiter unten im Profil immer ungenügend. Die Vernässung ist durch Grundwasser bedingt.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist ab 20 cm Tiefe aufgrund der ungenügenden Durchlüftung eingeschränkt durchwurzelbar. In 170 cm Tiefe verhindert der stets anaerobe Gr-Horizont das Wurzelwachstum von allen Baumarten. Der Wurzelraum ist also je nach Baumart maximal 170 cm mächtig und damit sehr tiefgründig. Die in Bezug auf Sauerstoffarmut empfindlichen Baumarten dürften den Boden bloss oberflächlich durchwurzeln. Wurzeln wurden bis 70 cm Tiefe beobachtet.
	pflanzenverfügbares Wasser	Unter den gegebenen klimatischen Bedingungen besteht für alle Baumarten ein kleines Risiko für Trockenstress.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Die Feinerde ist bis an die Bodenoberfläche karbonathaltig und dementsprechend alkalisch.
	Aluminium-Toxizität	Es besteht kein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Wie die Humusform Mull weist auch das 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 insgesamt sehr gross. Der Vorrat aller drei Nährstoffkationen wird als sehr hoch klassiert.
Verankerung	Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung der Bäume, insbesondere der Tiefwurzler, als gut bewertet.	
Befahrbarkeit	Der Boden reagiert in nassem Zustand sehr empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.	

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Das ziemlich milde Klima lässt dem Waldbauer grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl. Trotzdem sind gemäss BUWAL (2005) an diesem Laubmischwald-Standort (Einheit 26) nur die folgenden Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Esche, Bergahorn, Stieleiche, Kirschbaum, Bergulme und Tanne. Die Baumartenauswahl ist offenbar trotz günstigem Klima durch nicht ideale Bodeneigenschaften eingeschränkt, wie gleich anschliessend beschrieben wird.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Dieser grundnasse und in einigen Horizonten auch relativ dichte Gley lässt sich nur eingeschränkt durchwurzeln. Dies gilt vor allem für empfindliche Baumarten wie Buche und Fichte, welche in diesem zeitweise vernässten Boden ein oberflächliches Wurzelwerk bilden. Wir empfehlen, vor allem jene Baumarten einzubringen, welche den temporär vernässten Boden bis zur permanent reduzierten Zone in 170 cm Tiefe durchwurzeln können, wie beispielsweise die Eiche oder die Bergulme. Ihr tief greifendes Wurzelwerk vermag den Boden umfassender zu nutzen und verbessert die Verankerung des Bestandes.

■ **Entwässerung des Bodens durch die Bäume**

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

■ **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 profilumfassend alkalisch und es besteht kein Risiko für Al-Toxizität. Eine Verbesserung des Säurezustandes durch entsprechende Baumartenwahl ist nicht nötig. Der Säurezustand schränkt damit die Baumartenauswahl nicht ein.

■ **Nährstoffangebot im Boden**

Die Mineralisierung der Nährstoffe im Oberboden ist hoch. Eine Erhöhung der Mineralisierung durch Einbringen geeigneter Baumarten ist nicht nötig. Im Hinblick auf die Nährstoffumsetzung im Oberboden können sich waldbauliche Eingriffe auf den Erhalt des aktuellen Laubholzbestandes beschränken.

Die in allen Horizonten reichlichen Gehalte an Nährstoffkationen und deren insgesamt sehr 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.

M16.7.3 **Baumartenempfehlung**

Das ziemlich milde Klima lässt grundsätzlich einen grossen Spielraum bei der Baumartenwahl zu. Zwei der von uns betrachteten bodenkundlichen Kriterien, die beide vom Klima abhängig sind, schränken die Baumartenauswahl jedoch ein. Die beiden kritischen Eigenschaften sind die Durchwurzelbarkeit und die biologische Entwässerung des Bodens. Die in **Tab. M16.6** enthaltene Baumartenempfehlung vom BUWAL (2005) ist hinsichtlich dieser einschränkenden Kriterien zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht sind an diesem Waldstandort Baumarten zu fördern, die den Boden tief durchwurzeln, wie etwa die Bergulme, die Stieleiche oder die Tanne. Diese Baumarten können die von uns als kritisch erachteten Bodeneigenschaften ertragen. Sie nutzen den temporär verästeten Boden tiefgründig und erhöhen mit ihrem tief verankerten Wurzelwerk die Bestandesstabilität. Ihre tief greifenden Wurzeln bringen eine wirkungsvolle Wasserdrainage mit entsprechender Bodenverbesserung.

Von den in **Tab. M16.6** empfohlenen Baumarten (BUWAL 2005) sind aus bodenökologischer Sicht vor allem die Stieleiche, die Bergulme und die Tanne geeignet. Die Esche, der Bergahorn und der Kirschbaum sind zwar aufgrund ihrer oberflächlichen Durchwurzelung weniger geeignet. Da sie aber natürlicherweise auf diesem Standort vorkommen, sind sie ebenfalls zu fördern.

Tab. M16.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 26; BUWAL 2005)	Bergahorn, Esche, Stieleiche, Kirschbaum, Bergulme, Tanne
Bodenkundliche Kriterien	Bergahorn, Esche, Stieleiche, Kirschbaum, Bergulme, Tanne

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.

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.

Lindsay, W.L., 1979: Chemical Equilibria in Soils. J. Wiley, New York. 449 pp.

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

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