

7 **Beschrieb des Beispielbodens** **Othmarsingen**

7.1 Einführung

Nun wird am Beispiel eines für das schweizerische Mittelland typischen Bodens gezeigt, wie die 95 Böden in den fünf Regionen beschrieben werden.

Der Beispielboden liegt in der Gemeinde Othmarsingen nahe bei Lenzburg an einem S-exponierten Hang in rund 500 m. ü. M. Der Baumbestand besteht ausschliesslich aus mächtigen Buchen. Bodenbildendes Gestein ist Moränematerial der Würm-Eiszeit. Der Bodentyp ist eine Parabraunerde, die Humusform ein Mull und die Waldgesellschaft ein typischer Waldmeister-Buchenwald. Solche und ähnliche Waldstandorte sind im schweizerischen Mittelland weit verbreitet.

Unsere Bodenbeschreibungen sind stets nach dem gleichen Schema strukturiert und umfassen inhaltlich die im [Kap. 6](#) eingeführten Themenbereiche. Während im [Kap. 6](#) die theoretischen Grundlagen für das Verständnis der Themenbereiche vermittelt werden, soll der nun folgende Beschrieb des Beispielbodens zeigen, welche konkreten Aussagen sich aufbauend auf den theoretischen Grundlagen für ein Bodenprofil machen lassen.

Durch den schematischen Aufbau unserer Bodenbeschreibungen soll erreicht werden, dass die Vergleichbarkeit zwischen den Böden gewährleistet ist und der Leser im umfangreichen Gebiet der Bodenökologie thematisch die Übersicht bewahrt. Treten bei der Lektüre der Bodenbeschreibungen Unklarheiten fachlicher Art auf, können die theoretischen Grundlagen aus [Kap. 6](#) beigezogen werden.

Die am Profilort Othmarsingen wirksamen Bodenbildungsfaktoren sind dem [Anhang A3](#) zu entnehmen. Die Bodendaten des Beispielbodens Othmarsingen sind im [Anhang A5](#) zusammengestellt. Die Methoden für die morphologische Bodenansprache und die chemischen und physikalischen Laboranalysen sind im [Anhang A2](#) beschrieben. Erläuterungen zu den tabellarischen und graphischen Darstellungen der Bodendaten finden sich im [Anhang A4](#).

Um dem Leser den fachlichen Zugang zum Beispielboden Othmarsingen zu erleichtern, haben wir bei der Profilbeschreibung an verschiedenen Stellen ergänzende Kommentare eingefügt. Diese sind mit grüner Schrift gekennzeichnet.

7.2 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

Dieses Kapitel ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert. Einleitend werden im Sinne eines Überblickes zusammenfassende Angaben zum Profil und seiner Verbreitung sowie zu den Bodenbildungsfaktoren am Profilort gegeben. Anschliessend wird auf die Morphologie und Klassierung des Bodens eingegangen.

7.2.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Abb. 30a zeigt das Bodenprofil, Abb. 30b den Bestand am Profilort Othmarsingen. In Tab. 35a sind wichtige, den Profilort und Boden charakterisierende Angaben zusammengestellt und Tab. 35b orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

7.2.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit H2 (tieferes Molassehügelland mit teilweiser Moränebedeckung, Hanglagen, Ostschweiz und Genferseegebiet; BEK 1980). 339 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 2.9% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

7.2.3 Besonderheiten am Profilort

Der Boden ist in der Umgebung des Profils aus zwei verschiedenen geologischen Substraten aufgebaut. Diese Beobachtung lassen Wurzelstöcke von umgestürzten Buchen zu. Oberflächlich ist vor allem Moränematerial aus der Würm-Eiszeit vorhanden. Die Mächtigkeit dieser Ablagerungen variiert. Darunter befindet sich Molassesandstein, der mancherorts bereits durch Bodenbildungsprozesse geprägt und verwittert ist. Das beschriebene Bodenprofil ist ausschliesslich aus Moränematerial aufgebaut.

Der letzte waldbauliche Eingriff im Bestand erfolgte 1993/94.

Tab. 35a Zusammenfassende Angaben zum Profil Othmarsingen

Lokalname	Berg (Gemeinde Othmarsingen, Kanton Aargau)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1090, Wohlen Koordinaten 659 495 / 250 156
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 7: Typischer Waldmeister-Buchenwald (<i>Galio odorati-Fagetum typicum</i>)
Horizontfolge	L-A-AE11-AE12-EI-Bt-B(S)-BC-C
Humusform	Mull
Bodentyp	Parabraunerde
Bodentyp nach FAO (1988)	Haplic Acrisol

Tab. 35b Bodenbildungsfaktoren am Profilort Othmarsingen

Relief	Höhe ü. M.	470 m	
	Exposition	S	
	Neigung	27 %	
	Geländeform	Hangfuss	
Ausgangsgestein	Oberfläche	Quartär. Karbonathaltige Würmmoräne.	
	Untergrund	Tertiär. Miozän. Burdigalien. Obere Meeresmolasse. Sandstein.	
	Beobachtung am Profilort	Die Mächtigkeit der Moräne variiert in der Umgebung des Profils stark. Im Oberhang beträgt sie nur rund 0.5 m, hangabwärts nimmt sie rasch zu und übersteigt am Hangfuss 2.5 m.	
	Lithofazies (nach Tuchs Schmid 1995)	Nr. 24: Glazialehme und -tone, Löss physikalische Verwitterbarkeit Gestein: variabel chemische Verwitterbarkeit Gestein: variabel Tongehalt Gestein: mittel–hoch	
Klima	T/N Jahresmittel	8.6°C/1045 mm	
	T/N Januarmittel	–0.8°C/84 mm	
	T/N Julimittel	17.9°C/110 mm	
	Tage mit Schneedecke	57	
	Wärmegliederung	ziemlich mild	
	Länge der Vegetationsperiode	200–205 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (30 m Höhe)	90 %	85 % Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)
	Strauchschicht	2 %	–
	Krautschicht	60 %	Gewimperte Segge (<i>Carex pilosa</i>) Echter Waldmeister (<i>Galium odoratum</i>) Rüchmichnichten (<i>Impatiens noli-tangere</i>) Pariser Hexenkraut (<i>Circea lutetiana</i>) Weisswurz (<i>Polygonatum multiflorum</i>)
	Mooschicht	0 %	–



Abb. 30a (links) Bodenprofil Othmarsingen: Eine mehrjährige, organische Auflage fehlt, es ist lediglich ein Streuhorizont vorhanden. Der Boden ist regelmässig verbraunt. Zu beachten ist die leicht aufgehellte Zone in rund 20 bis 40 cm Tiefe, wie sie für Parabraunerden typisch ist.

Abb. 30b (rechts) Bestandesaspekt am Profilort Othmarsingen: Ausgewachsener, nahezu reiner Buchenwald.

7.2.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in **Tab. 36** zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

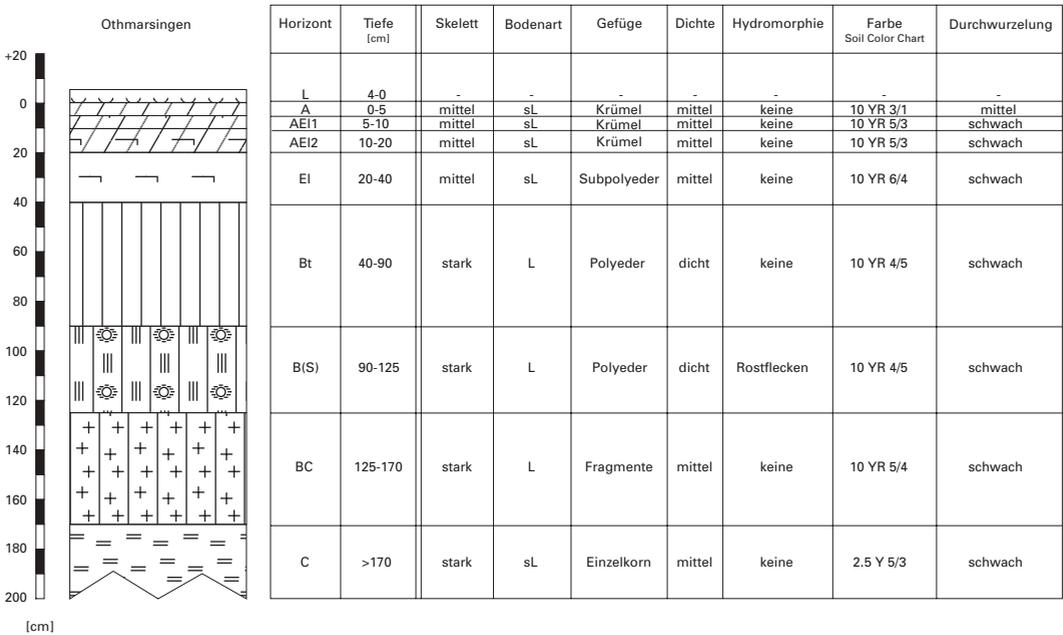
An der Bodenoberfläche ist eine geringmächtige Streuauflage (L) vorhanden, die je nach Jahreszeit auch gänzlich fehlen kann. Die Streu der recht üppigen Krautschicht wirkt sich günstig auf den Abbau der an sich schwer zersetzbaren Buchenlaubstreu aus, so dass die Streu im Laufe eines Jahres weitgehend zersetzt wird. Mit der Horizontfolge L-A wird die Humusform als Mull klassiert.

Unter der Streuauflage lassen sich im rund 2 m tief aufgeschlossenen Mineralboden morphologisch sieben Horizonte unterscheiden. Die morphologisch einheitliche Zone in 5–20 cm Tiefe wurde in zwei verschiedenen Tiefen beprobt.

Tab.36

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Othmarsingen

Horizontsymbole und -signaturen gemäss Kap.8; Bodenart: sL sandiger Lehm, L Lehm



Bis 20 cm Tiefe ist der Boden durch den Humus dunkel gefärbt und die Feinerde besitzt eine Krümelstruktur. Die Farbe wird in den obersten 20 cm zur Tiefe hin rasch heller und bräunlicher. In 20–40 cm Tiefe ist der Boden auffällig hellbraun gefärbt. In 40–90 cm Tiefe wird der Boden toniger, dichter und skelettreicher. Er ist intensiv braun und besitzt eine Polyederstruktur. Zwischen 90 und 125 cm Tiefe präsentiert sich der Boden sehr ähnlich wie in 40–90 cm, es treten jedoch vereinzelte Rostflecken auf. Ab 125 cm wird der Boden wieder lockerer und die Vernässungserscheinungen verschwinden. Das Gefüge geht in 170 cm Tiefe sprunghaft von einer Fragmentstruktur in ein Einzelkorngefüge über und die Bodenfarbe wird heller. Die Durchwurzelung des Bodens ist in den obersten 5 cm mittel, weiter unten schwach.

Ein Vergleich von Bodenart, Farbe und Dichte in 20–40 und 40–125 cm Tiefe lässt den Schluss zu, dass eine Tonverlagerung stattgefunden hat. Aus diesem Grund wird der Horizont in 20–40 cm Tiefe als Eluvial-Horizont, derjenige in 40–125 cm Tiefe als Tonanreicherungshorizont bezeichnet.

Die Horizontfolge des Profils lautet L-A-AE11-AE12-E1-Bt-B(S)-BC-C. Aufgrund dieser Horizontfolge wird der Boden als Parabraunerde klassiert. Die Vernässungsmerkmale im B(S)-Horizont werden für die Klassierung nicht berücksichtigt, da sie unterhalb 90 cm Tiefe vorkommen.

Ergänzende Bodenmerkmale

Die Kalkgrenze verläuft in 170 cm Tiefe. Gemäss pH-Hellige ist der Boden oberhalb der Kalkgrenze sehr sauer. Im Profil sind keine Hindernisse für das Wurzelwachstum erkennbar.

Es wird hier bewusst auf eine weitere Interpretation der morphologischen Merkmale verzichtet, weil diese im Zusammenhang mit den Labordaten in den anderen Themenbereichen erfolgt.

7.3 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

7.3.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Nachfolgend werden einige wichtige physikalische Parameter des Bodens in Textform und in Abbildungen beschrieben. Dabei wird vorerst weitgehend auf eine Interpretation der Daten verzichtet.

7.3.1.1 **Skelettgehalt**

Der Skelettgehalt nimmt zur Tiefe hin nur langsam zu ([Abb. 31](#)). Der Oberboden ist mittel, der Unterboden mittel bis stark skeletthaltig.

7.3.1.2 **Bodenart**

In der Feinerde überwiegt der Sandanteil ([Abb. 32](#)). Gemessen am Tongehalt handelt es sich um einen mittelschweren Boden ([Tab. 14](#)). Im B(S)-Horizont ist der Tonanteil am grössten, was auf Tonanreicherung zurückzuführen ist. In Böden mit einer Tonverlagerung ist im Oberboden und im Ausgangsgestein stets weniger Ton vorhanden als in der Tonanreicherungszone. Diese liegt, wie im vorliegenden Boden, meist in mittlerer Profiltiefe (40–125 cm). Die im Bodenprofil aufgrund von morphologischen Merkmalen festgestellte Tonverlagerung wird durch die Analyse der Korngrößenfraktionen bestätigt.

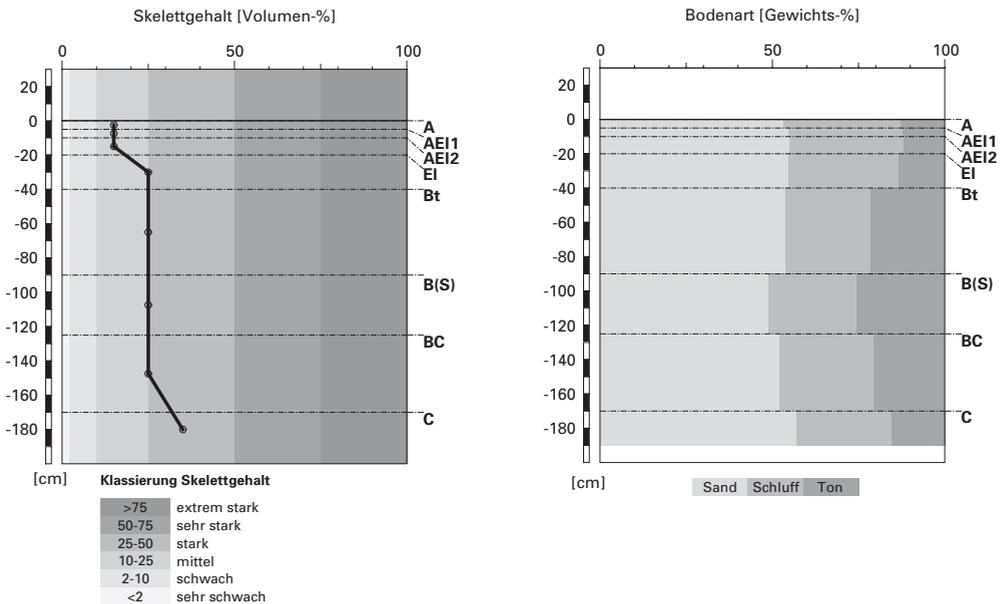


Abb. 31 (links) Tiefenverlauf des Skelettgehaltes. Die verschiedenen Skelettklassen sind im Bildhintergrund mit Graustufen unterlegt.

Abb. 32 (rechts) Tiefenverlauf der Bodenart. Die Korngrößenklassen Sand, Schluff und Ton sind je mit einer Graustufe dargestellt. Die Summe der drei Korngrößenklassen beträgt in jedem Horizont 100%.

7.3.1.3 Dichte der Feinerde

Der Oberboden ist aufgrund des Humusgehaltes und des deutlich ausgeprägten Aggregatgefüges sehr locker gelagert (Abb. 33). In 40 cm Tiefe nimmt die Dichte der Feinerde sprunghaft zu und verbleibt dann bis zur Profilsohle relativ konstant. Die Dichte ist selbst in den untersten Horizonten gering.

7.3.1.4 Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Oberboden ist hoch durchlässig (Abb. 34). Im tonreicheren und dichteren Unterboden ist die Durchlässigkeit etwas reduziert, liegt aber noch in einem mittleren Bereich.

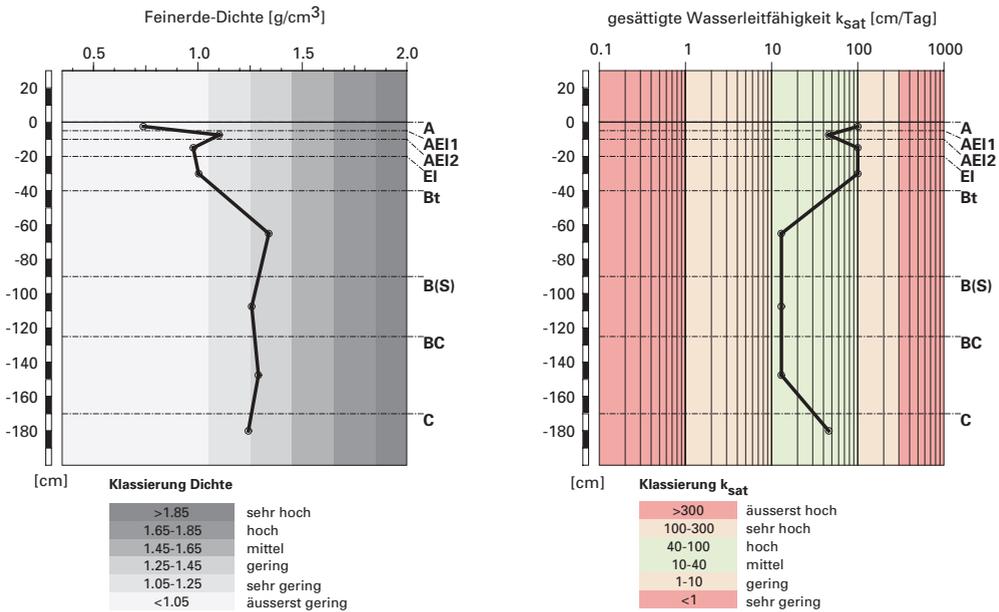


Abb. 33 (links) Tiefenverlauf der Feinerde-Dichte (Trockenraumdichte). Die verschiedenen Dichteklassen sind im Bildhintergrund mit Graustufen unterlegt.

Abb. 34 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden. Die verschiedenen Leitfähigkeitsklassen sind im Bildhintergrund mit Farbe unterlegt.

7.3.1.5 Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität des Bodens bis 120 cm Tiefe wird mit rund 170 l/m² als hoch klassiert (Abb. 35). Der relativ hohe Skelettgehalt reduziert die Speicherleistung.

7.3.2 Bodenkundliche und ökologische Interpretation

Nachfolgend werden einige Eigenschaften des Bodens diskutiert, die sich weitgehend aus den eben dargestellten bodenphysikalischen Kennwerten herleiten lassen. Bei der Ableitung dieser Eigenschaften besteht Interpretationsspielraum. Die nachfolgenden Angaben sind daher als gutachtlich zu werten.

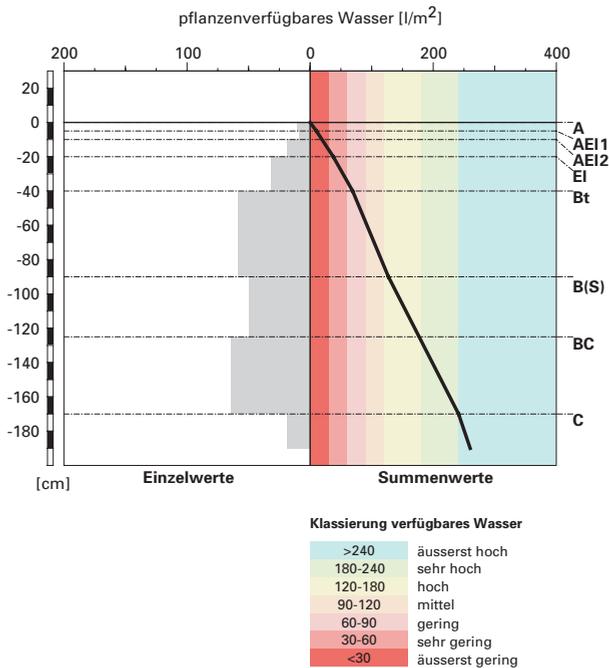


Abb. 35 Pflanzenverfügbares Wasser (nutzbare Wasserspeicherkapazität). Die Speicherkapazität wird für jeden Horizont (graue Balken) und als Summenwert (Kurve) über das gesamte Bodenprofil dargestellt. Die verschiedenen Speicherklassen sind im Bildhintergrund mit Farbe unterlegt.

7.3.2.1 Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

Der Wasser- und Lufthaushalt wird anhand der im Profil sichtbaren hydro-morphhen Merkmale und der Wasserleitfähigkeit bei gesättigten Bedingungen beurteilt.

Im gesamten Profil herrschen Brauntöne vor, vereinzelte Rostflecken treten nur im etwas tonreicheren B(S)-Horizont unterhalb 90 cm Tiefe auf, in welchem das einsickernde Wasser gestaut wird. Hier ist in gesättigten Phasen mit mangelnder Durchlüftung und in der Folge mit Sauerstoffarmut zu rechnen. Die morphologisch nur schwach ausgeprägten Vernässungsmerkmale weisen darauf hin, dass gesättigte Phasen nicht häufig und lediglich von kurzer Dauer sind. Recht gut unterstützt wird diese auf morphologischen Kriterien basierende Einschätzung durch die Leitfähigkeitskurve, welche für das gesamte Profil eine normale Durchlässigkeit zeigt (Abb. 34). Einzig im B(S)-Horizont scheint die Leitfähigkeit in der Realität etwas klei-

ner zu sein als von uns geschätzt und in [Abb.34](#) dargestellt, so dass das Wasser hier trotz der als «normal» klassierten Durchlässigkeit gestaut wird.

7.3.2.2 **Durchwurzelbarkeit des Bodens**

Die Durchwurzelbarkeit wird anhand des Wasser- und Lufthaushaltes, insbesondere der Durchlüftung und anhand der Feinerde-Dichte beurteilt. Ferner kann der Wurzelraum durch felsigen Untergrund begrenzt sein. Die Beurteilung erfolgt horizontweise, wobei nur zwischen den drei Kategorien «nicht eingeschränkte» und «eingeschränkte Durchwurzelbarkeit» sowie «nicht durchwurzelbar» unterschieden wird. Die Beurteilung ist baumartenspezifisch. Die Gründigkeit eines Bodens ist beschränkt, wenn ein oder mehrere Horizonte nicht durchwurzelbar sind.

Der Boden ist für alle Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelbar, da die Dichtewerte durchwegs weniger als 1.4g/cm^3 betragen und die Durchlüftung in allen Horizonten ausreichend ist. Der Wurzelraum ist nicht beschränkt und wird mit $>200\text{cm}$ Mächtigkeit als äusserst tiefgründig klassiert. Er wird vom aktuellen Buchenbestand gut genutzt. Wurzeln sind bis zur Aufschlusstiefe vorhanden und dringen mit Sicherheit noch tiefer in den Unterboden ein.

Die hydromorphen Merkmale in 90–125 cm Tiefe deuten darauf hin, dass hier die Durchwurzelbarkeit in gesättigten Phasen infolge mangelnder Durchlüftung für diesbezüglich empfindliche Baumarten wie beispielsweise Buche und Fichte eingeschränkt ist. Da jedoch gesättigte Phasen aufgrund der schwach ausgeprägten hydromorphen Merkmale jeweils von kurzer Dauer sein dürften, ist das Wurzelwachstum selbst für empfindliche Baumarten nicht vollständig unterbunden.

Oberhalb 90 cm Tiefe ist die Durchwurzelbarkeit des Bodens nicht eingeschränkt.

7.3.2.3 **Wasserversorgung des Baumbestandes**

Um die Wasserversorgung des Baumbestandes zu beurteilen, ist zuerst die im Boden pflanzenverfügbare Wassermenge zu bestimmen. Aufgrund des Wasserverbrauches des Baumbestandes kann sodann die Zeitdauer berechnet werden, nach deren Ablauf der Bestand an Wassermangel (Trockenstress) zu leiden beginnt. Die Risikoabschätzung für Trockenstress basiert auf der berechneten Zeitdauer, nach deren Ablauf Trockenstress beginnt. Zusätzlich werden die Gründigkeit des Bodens und die vorherrschenden Klimaverhältnisse gewichtet. Die Risikoabschätzung resultiert in einer von fünf Klassen, die den Bereich «kein» bis «sehr grosses Risiko» für Trockenstress abdecken.

Bei einer Referenztiefe von 120 cm kann gemäss unseren Berechnungen davon ausgegangen werden, dass der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 20 Tagen an Wassermangel zu leiden beginnt. Da der Boden äusserst tiefgründig (>200 cm) ist, wird das Risiko für Trockenstress auf diesem Buchenstandort unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen insgesamt als klein beurteilt.

7.3.2.4 **Bodenbefahrbarkeit**

Bei der Beurteilung der Empfindlichkeit des Bodens gegenüber Verdichtung durch Befahren sind drei Kategorien von «nicht empfindlich» bis «sehr empfindlich» möglich. Die Beurteilung gilt stets für nasse Verhältnisse.

Der Oberboden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen. Der recht hohe Skelettgehalt wirkt sich positiv, die mittleren Schluff- und Tongehalte negativ auf die Befahrbarkeit aus.

7.4 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

7.4.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Zur Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile werden der Gehalt an organischem Kohlenstoff, der Kohlenstoffvorrat, die Verteilung der Tonfraktion im Profil, die unterschiedlich extrahierbaren Aluminium- und Eisenverbindungen sowie deren Verhältnisse verwendet.

7.4.1.1 **Organische Substanz**

Am Profilort herrscht die Humusform Mull vor, vereinzelt sind in der Umgebung des Bodenprofils Ansätze eines F-Horizontes und damit ein Übergang zur Humusform Moder zu beobachten. Die Streuauflage ist nur sehr geringmächtig, je nach Jahreszeit fehlt sie sogar ganz.

Der Humus färbt den Boden bis in eine Tiefe von 20 cm dunkel. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in der Mineralerde nimmt bis in eine Tiefe von 40 cm von 4.4 auf 1.1% ab (Abb. 36). Die Tonauswaschungshorizonte enthalten rund 1% organischen Kohlenstoff. Tiefer im Profil liegen die Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze von 0.2%.

Der Vorrat an organischem Kohlenstoff erreicht im Mineralboden einen Wert von 50 t/ha (Abb. 37).

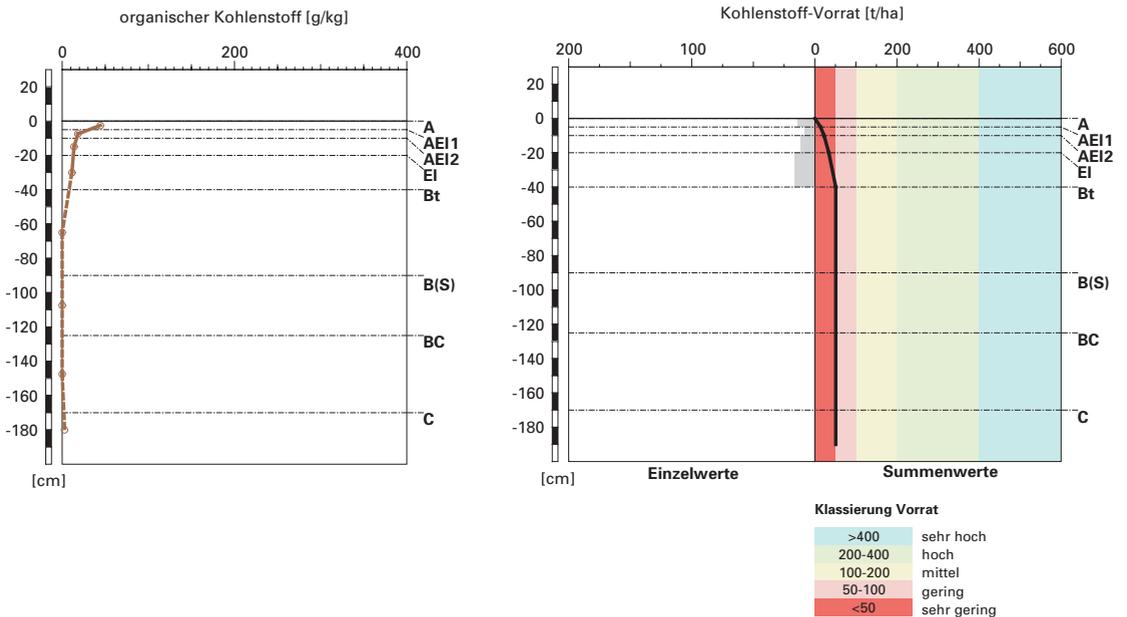


Abb. 36 (links) Gehalte an organischem Kohlenstoff.

Abb. 37 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff. Der Vorrat wird für jeden Horizont (graue Balken) und als Summenwert (Kurve) über das gesamte Bodenprofil dargestellt. Die verschiedenen Vorratsklassen sind mit unterschiedlicher Farbe unterlegt.

7.4.1.2

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt ist in 0–40 cm Tiefe sowie im C-Horizont minimal. Dazwischen steigen die Gehalte bis zum Maximum im B(S)-Horizont an (Abb. 32). Das Dithionit-extrahierbare Eisen (Fe_d) zeigt eine zur Tonfraktion parallel verlaufende Verteilung mit Minima zwischen 0 und 40 cm Tiefe sowie im Unterboden und dem Maximum im B(S)-Horizont, wobei das absolute Minimum im obersten Horizont liegt (Abb. 38). Bis 40 cm Tiefe sind die Gehalte geringer als im C-Horizont. Das Oxalat-extrahierbare Eisen (Fe_o) hat sein Maximum im Bt-Horizont, also etwas höher im Profil als jenes von Fe_d . In Abweichung zur Fe_d -Verteilung sind die Gehalte beim Fe_o bis 40 cm Tiefe mehr als doppelt so hoch wie im C-Horizont. Beim Pyrophosphat-extrahierbaren Eisen (Fe_p) sind die Unterschiede zwischen Ober- und Unterboden noch extremer: im Oberboden sind die Gehalte um den Faktor 20 höher als im Unterboden, wobei vom obersten in den untersten Horizont eine mehr oder weniger kontinuierliche Abnahme der Fe_p -Gehalte zu beobachten ist.

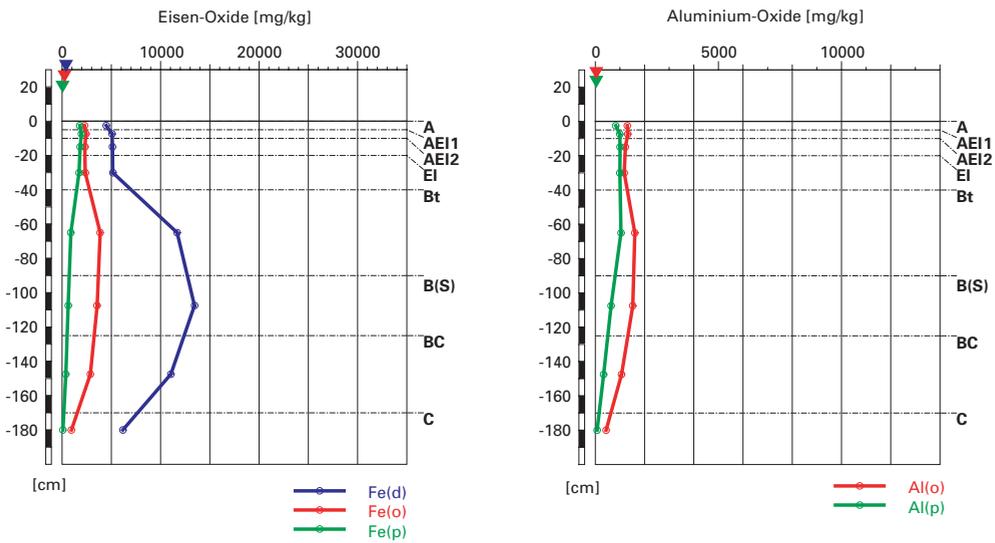


Abb. 38 (links) Extrahierbare Eisenverbindungen. Dithionit- (blau), Oxalat- (rot) und Pyrophosphat-extrahierbares (grün) Fe repräsentieren jeweils unterschiedliche Bindungsklassen.

Abb. 39 (rechts) Extrahierbare Aluminiumverbindungen. Oxalat- (rot) und Pyrophosphat-extrahierbares (grün) Al repräsentieren jeweils unterschiedliche Bindungsklassen.

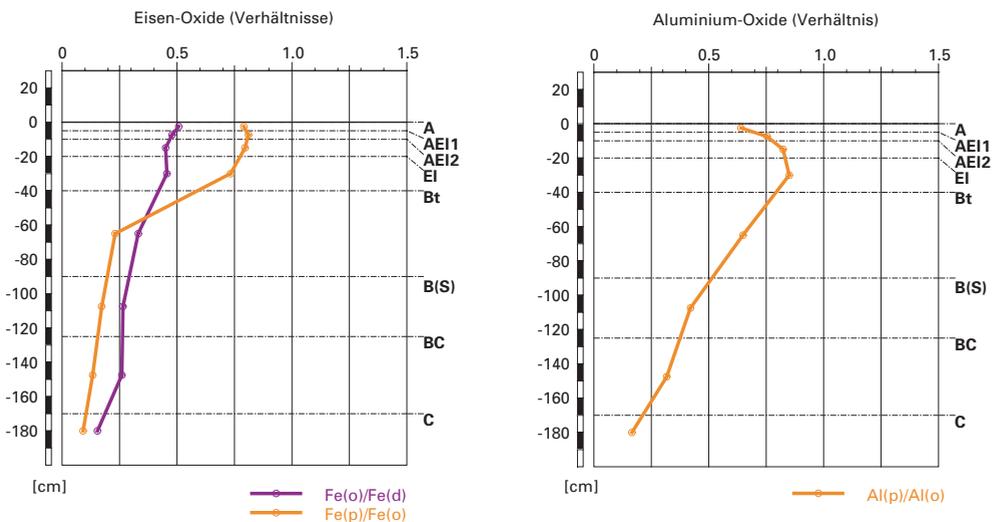


Abb. 40 (links) Verhältnisse von Oxalat- zu Dithionit- (violett) sowie Pyrophosphat- zu Oxalat-extrahierbarem (orange) Eisen.

Abb. 41 (rechts) Verhältnisse von Pyrophosphat- zu Oxalat-extrahierbarem Aluminium.

Das Oxalat- und das Pyrophosphat-extrahierbare Aluminium (Al_o bzw. Al_p) verlaufen analog den entsprechenden extrahierbaren Fe-Fraktionen (Abb. 39).

Die Verhältnisse der verschiedenen extrahierbaren Fe- und Al-Oxide nehmen mit zunehmender Profiltiefe ab. Beim Fe_p/Fe_o - (Abb. 40) und vor allem beim Al_p/Al_o -Verhältnis (Abb. 41) zeigt der Oberboden einen umgekehrten Trend: zuerst eine Zunahme und erst dann eine Abnahme der Verhältnisse.

7.4.2 Bodenkundliche Interpretation

In diesem Abschnitt interpretieren wir den oben beschriebenen Humuszustand und die Verteilungen der Tonfraktion sowie der Aluminium- und Eisenoxide. Daraus werden Folgerungen zu Bodenbildungsprozessen, welche im Lauf der Bodenbildung abgelaufen sind gezogen.

Trotz des tiefen pH-Wertes ist der Streuabbau nicht wesentlich gehemmt. Dementsprechend hat sich ein Mull entwickelt. Dies dürfte auf das ausgeglichene Bestandesklima zurückzuführen sein, das eine relativ rasche Zersetzung der verhältnismässig schwer abbaubaren Buchenstreu ermöglicht sowie auf das Vorhandensein einer Krautschicht, welche eine sehr gut abbaubare Streu liefert und somit die biologische Aktivität anregt. Zudem ist die Buchenstreu vermutlich relativ nährstoffreich, da die Baumwurzeln bis unterhalb der Kalkgrenze wurzeln und damit in erhöhtem Ausmass Nährstoffe im Kreislauf halten. Allerdings deuten das stellenweise Vorkommen der Humusform Moder und ein nur mittleres C/N-Verhältnis in 0–5 cm Tiefe die räumlich heterogene Humusbildung an.

Bei einem angenommenen Fließgleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau kann angenommen werden, dass die anfallende Buchenstreu innerhalb eines Jahres weitgehend ab- und umgebaut wird. Dabei sind die Vorräte an organischem Kohlenstoff im Boden mit rund 50 t/ha im gesamtschweizerischen Vergleich sehr gering bis gering, d. h. der Humusaufbau und die Humusstabilisierung spielen nur eine untergeordnete Rolle. Als Folge der relativ tiefen pH-Werte sind die wichtigen Bodenwühler wie vor allem Regenwürmer, welche für die Bildung von Ton-Humus-Komplexen verantwortlich sind, nur spärlich vorhanden. Dies ist auch daran ersichtlich, dass der A-Horizont als Durchmischungszone von organischen und mineralischen Komponenten nur geringmächtig ist.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Profiloten liegen in Othmarsingen Messungen der Bodenlösung vor. Diese Messungen haben sehr hohe Nitratgehalte im Oberboden ergeben, die nicht durch atmosphärische Deposition erklärt werden können (Daten nicht gezeigt). Dies weist auf eine

hohe Mineralisierungsrate beim Streuabbau hin. Derjenige Teil der organischen Substanz, welcher nicht mineralisiert wird, verlässt das Bodenprofil offensichtlich grösstenteils als lösliche organische Substanz, ohne dass diese durch Adsorption an die mineralischen Bodenkomponenten zurückgehalten wird. Nur im oberen Profilteil bei einem pH-Wert unterhalb 4 wird die organische Substanz an die Oxidoberflächen gebunden. Bei diesem pH-Wert sind die Oberflächen der Oxide vor allem positiv geladen, was die Adsorption von organischen Anionen begünstigt. Mit zunehmender Profiltiefe nimmt der pH-Wert zu und nähert sich dem Ladungsnullpunkt der pedogenen Oxide, weshalb die Adsorptionskapazität für organische Anionen abnimmt. In der Bodenlösung in 80 cm Tiefe konnten denn auch, verglichen mit anderen Standorten, bei welchen die Bodenlösung ebenfalls untersucht wird, relativ hohe Gehalte an gelöster organischer Substanz nachgewiesen werden.

Die morphologischen Merkmale lassen zusammen mit den chemischen und physikalischen Eigenschaften den Schluss zu, dass im Boden eine Tonverlagerung stattgefunden hat. Zudem befindet sich das Maximum der Fe_d -Gehalte im Bereich des Tonmaximums (Abb. 38). Dies lässt auf eine parallele Verlagerung von Ton und Eisen schliessen. Die Eisenverlagerung aus dem AEI- und vor allem aus dem EI-Horizont lässt sich morphologisch am helleren Farbton im EI-Horizont sowie an der Tiefenverteilung von Fe_d und Fe_o erkennen. 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 von Fe_d /Ton hervor (Tab. A 12), denn dieses Verhältnis ist nicht konstant, wie es bei einer klassischen Parabraunerde erwartet werden kann. Es nimmt bis zum Bt-Horizont zu und ist erst danach konstant (mit Ausnahme des Wertes im C-Horizont). Demzufolge ist der Oberboden relativ zum Ton an Eisen verarmt. Ob dies bereits als beginnende Podsolierung interpretiert werden kann bleibt spekulativ. Bei der herrschenden sauren Bodenreaktion steht fest, dass der Ton aufgrund der hohen Aluminiumgehalte ausgeflockt vorliegt, womit eine weitere Tonverlagerung verhindert wird. Eine beginnende Podsolierung mit Al- und Fe-Verlagerung ist bei den herrschenden pH-Verhältnissen theoretisch jedoch möglich. Allerdings fehlt eine organische Auflage, welche bei einer typischen Podsolierung organische Säuren liefert, die für die Verlagerung von Eisen und Aluminium in komplexierter Form verantwortlich ist.

Die Tiefenverteilungen von Al_o und Fe_o verlaufen ähnlich. Sie zeigen nur eine geringe Anreicherung im Bt- und B(S)-Horizont. Im Gegensatz zum Fe_d sind die Oxalat-extrahierbaren Gehalte in 0–40 cm Tiefe jedoch deutlich grösser als im C-Horizont. Dies kann mit der Bindung von organischer

Substanz an Oxalat-extrahierbare Komponenten erklärt werden. Gleiches gilt in noch ausgeprägterem Mass für die Pyrophosphat-extrahierbaren Anteile. Diese Verteilungen zeigen aber auch, dass infolge der intensiven Verwitterung vor allem in der oberen Profilhälfte Eisen und Aluminium aus den primären Mineralen freigesetzt wurden und nun sekundäre Oxide- und Hydroxide sowie Verbindungen mit der organischen Substanz bilden. Dies äussert sich in einer Verbraunung, welche sich am intensivsten im Bt-Horizont manifestiert.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis nimmt mit zunehmender Profiltiefe konstant ab, was bedeutet, dass der Kristallinitätsgrad der Fe-Oxide mit zunehmender Profiltiefe zunimmt. Dies widerspiegelt einerseits den Einfluss der organischen Substanz, welche im Oberboden eine ungestörte Kristallisation von Fe-Oxiden behindert. Andererseits ist es ein Hinweis auf den verstärkten lithogenen Ursprung und die hohe Kristallinität der Fe-Oxide in tieferen Profilmereichen.

Die Verhältnisse von Pyrophosphat- zu Oxalat-extrahierbaren Al- und Fe-Gehalten sind in 0-40 cm Tiefe maximal, da die Pyrophosphat-extrahierbaren Anteile vor allem mit der organische Substanz assoziiert sind und Oxalat diese organisch gebundenen Anteile sowie amorphe anorganische Verbindungen extrahiert.

7.5 Themenbereich «Säurezustand»

7.5.1 Charakterisierung des Säurezustandes

Zur Charakterisierung des Säurezustandes werden der pH-Wert, die Belegung des Kationenaustauschers und die Basensättigung verwendet.

7.5.1.1 **pH-Wert**

Der Boden ist nahezu profilumfassend stark sauer, wobei der pH-Wert von oben nach unten langsam zunimmt (Abb. 42). Im Unterboden ist in 170 cm Tiefe beim Übergang zum karbonathaltigen Moränematerial ein pH-Sprung auf über 7 und damit in den alkalischen Bereich festzustellen. Bis in eine Tiefe von 170 cm befindet sich der Boden in der Säureklasse 4, im unverwitterten Ausgangsgestein, und damit ab rund 170 cm Tiefe, in der Säureklasse 1.

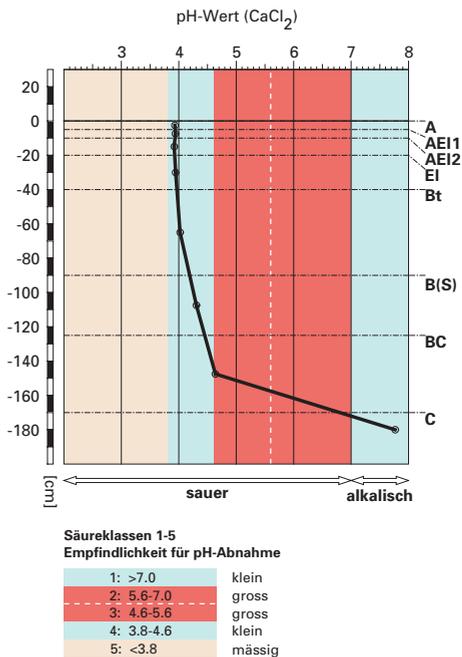


Abb. 42 Verlauf des pH-Wertes (CaCl₂). Die Säureklassen mit den entsprechenden Versauerungsempfindlichkeiten (Disposition gegenüber pH-Abnahme) sind farblich hinterlegt.

7.5.1.2

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Im A-Horizont ist der Kationenaustauscher trotz des tiefen pH-Wertes etwa zu gleichen Teilen mit Nährstoffkationen und sauren Kationen belegt (Abb. 43). Zwischen 5 und 40 cm Tiefe ist die Austauscherbelegung mit Nährstoffen nur noch gering. Die Basensättigung liegt zwischen 10 und 30% (Abb. 44). Auch im Bt-Horizont sind die Austauscherplätze überwiegend mit Aluminium belegt. Ca und Mg nehmen zusammen nur etwa 30% der Austauscherplätze ein. Ab 90 cm Tiefe steigt die Basensättigung am Kationenaustauscher mit zunehmender Tiefe rasch an. Im C-Horizont beträgt sie 100%.

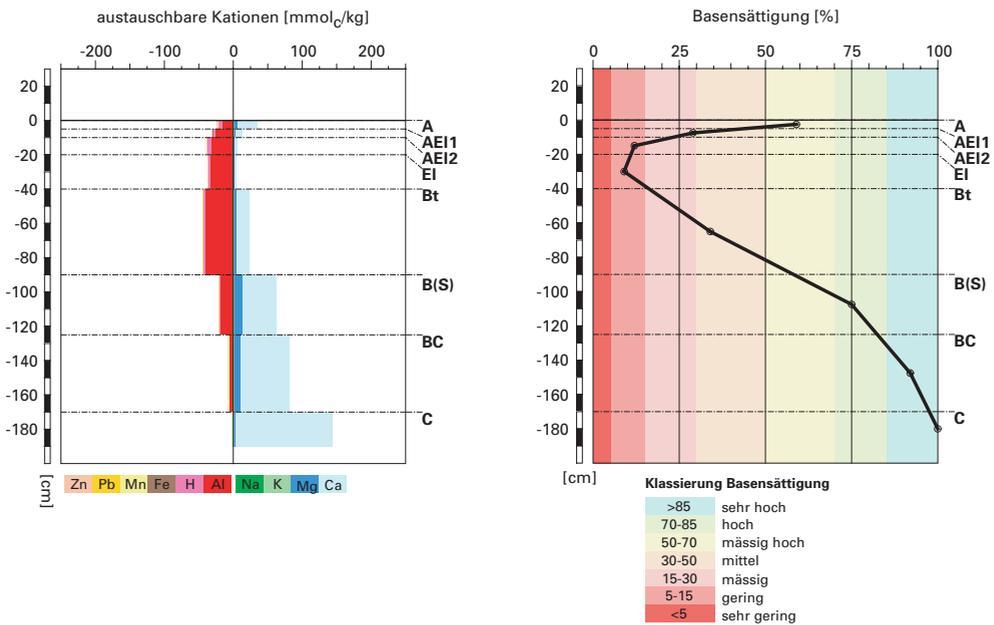


Abb. 43 (links) Belegung des Kationenaustauschers mit sauer wirkenden Kationen und Spurenmetallen (nach links) sowie mit Hauptnährstoffkationen und Na (nach rechts).

Abb. 44 (rechts) Tiefenverlauf der Basensättigung. Die Bewertungsklassen nach AK SK (1996) sind mit Farben hinterlegt.

7.5.2 Interpretationen zum Säurezustand

In diesem Abschnitt wird versucht, den oben beschriebenen Säurezustand sowie die Prozesse der Bodenversauerung zu interpretieren und daraus mögliche Risiken für den Boden und die Pflanzen abzuschätzen.

7.5.2.1 Stand der Bodenversauerung

Der Stand der Bodenversauerung und die Prozesse der Säurepufferung lassen sich anhand der Tiefe der Kalkgrenze, des Tiefenverlaufes von pH-Wert und Basensättigung sowie anhand der Belegung des Kationenaustauschers interpretieren.

Als Folge der an diesem Profilort wirksamen Bodenbildungsfaktoren hat sich aus dem karbonathaltigen Ausgangsgestein im Laufe der Zeit eine saure, tiefgründige Parabraunerde entwickelt. Die Versauerung des Bodens ist weit fortgeschritten, was sich an der Tiefe der Kalkgrenze, an der gros-

sen pH-Differenz zwischen dem Oberboden und dem C-Horizont sowie an der geringen Basensättigung in 20–40 cm Tiefe erkennen lässt. Die Kalkgrenze verläuft heute in einer Tiefe von 170 cm, was bedeutet, dass das ursprünglich vorhandene Karbonat bis in diese Tiefe für die Säurepufferung aufgebraucht worden ist. Der Boden liegt praktisch profillumfassend in der Säureklasse 4, in welcher die Säurepufferung hauptsächlich durch Auflösung von Aluminiumoxiden erfolgt. Als Folge davon werden die Nährstoffkationen durch Aluminium von ihren Austauschplätzen verdrängt und in die Tiefe verlagert. Die Versauerungsfront hat bereits den BC-Horizont erreicht, in welchem geringe Mengen von austauschbarem Aluminium festzustellen sind (Abb. 43).

Auffällig ist die relativ hohe Basensättigung von rund 35% im Bt-Horizont bei vergleichsweise tiefem pH-Wert. Zu dieser relativ hohen Basensättigung trägt vermutlich der Wasserhaushalt des Bodens bei. Der leicht rostfleckige B(S)-Horizont zeigt an, dass das Sickerwasser zwischen 90 und 125 cm Tiefe zeitweilig gestaut wird. Dadurch sind Tiefensickerung und Nährstoffauswaschung gehemmt, so dass die Nährstoffe zum Teil im Bt-Horizont zurückgehalten werden. Ferner kann nicht ausgeschlossen werden, dass in Phasen mit Wassersättigung nährstoffreiches Bodenwasser aus dem C- und BC-Horizont die Basenbelegung des Kationenaustauschers insbesondere im B(S)- und Bt-Horizont erhöht.

In den obersten 10 cm wird die hohe Basensättigung durch die ständige Nährstoffnachlieferung mit dem Streufall verursacht.

7.5.2.2 **Risiko für Boden und Pflanzen**

Hier werden die Empfindlichkeit des Bodens für eine weitergehende Versauerung und die mit dem aktuellen Säurezustand und einer allfälligen weiteren Versauerung verbundenen Risiken diskutiert. Dabei wird angenommen, dass die bodenbildenden Faktoren und die anthropogenen Säureinträge längerfristig konstant bleiben. Die Beurteilung der Risiken erfolgt getrennt für den Boden und die Bäume.

Die Versauerungsempfindlichkeit des Bodens, ausgedrückt durch die zu erwartende pH-Abnahme bei Protonenzufuhr, wird als klein beurteilt, weil sich gemäss Abb. 42 alle Horizonte in gut puffernden Säureklassen befinden. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass sich die Bodenversauerung durch Verdrängung von kationischen Nährstoffen am Kationenaustauscher im Bt-, insbesondere aber im B(S)-Horizont manifestiert und sich dadurch die Zone mit niedriger Basensättigung in die Tiefe ausdehnen wird. Solange die Baumwurzeln den karbonathaltigen C-Horizont erreichen, wird dieser Prozess jedoch gedämpft bleiben. Über sehr lange Zeiträume betrachtet wird die Entkarbonatung im C-Horizont fortschreiten.

Bei weiterer Versauerung dürfte vermehrt Moder gebildet werden, was eine gehemmte Nährstoffumsetzung erwarten lässt. Auf die bereits zum aktuellen Zeitpunkt in Richtung Moder tendierende Humusbildung weist der in der Umgebung des Profils stellenweise vorhandene Fermentationshorizont hin.

Das Baumwachstum wird bei einer weitergehenden Bodenversauerung durch Verarmung an Nährstoffen sowie durch das enger werdende BC/Al-Verhältnis im Wurzelraum beeinträchtigt. In der Bodenmatrix werden heute am Kationenaustauscher der Eluvial-Horizonte minimale BC/Al-Verhältnisse von 0.1 erreicht. Die als kritisch erachtete Grenze von 0.2 wird in 10-40 cm Tiefe unterschritten. Dies stellt für empfindliche Baumarten besonders in der Anwuchsphase ein Risiko dar, welches sich mit zunehmender Versauerung akzentuieren wird. Mit fortschreitender Bodenversauerung wird sich die nährstoffarme Risikozone ausdehnen und es vor allem den Jungbäumen erschweren, die Nährstoffe im besser versorgten Unterboden zu erschliessen, was möglicherweise das Jugendwachstum hemmen wird.

7.6 Themenbereich «Schwermetalle»

Für die meisten Ausführungen werden als Datenbasis effektive, mit Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie ermittelte Totalgehalte verwendet. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung mit dem Richtwertansatz nach VBBö (1998), der auf Salpetersäure-extrahierbaren Gehalten beruht. Salpetersäure-extrahierbare Gehalte werden auch für die geochemische Wertung und die Beurteilung des Risikos für Mikroorganismen herangezogen, falls die effektiven Totalgehalte unter der Bestimmungsgrenze liegen, allerdings mit dem Vorbehalt, dass die Beurteilungen damit von eher zu niedrigen Werten ausgehen.

7.6.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

An der Tiefenverteilung fällt zunächst für Zn, Cu und Ni eine Zone hoher Gehalte in der Tiefe 40–170 cm auf. Im Bt-Horizont ist auch Cr stark erhöht (Abb. 45). Nach einem zweiten Minimum im B(S)-Horizont steigt Cr bis zu einem maximalen Gehalt im C-Horizont an. Die Pb- und Zn-Gehalte sind im Oberboden stark erhöht.

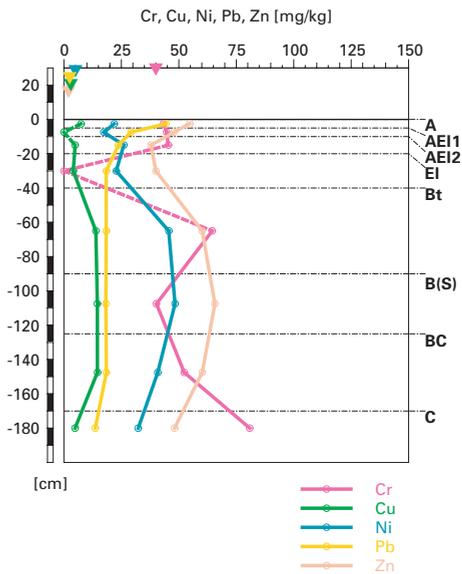


Abb. 45 Tiefenverteilung der effektiven Totalgehalte von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn.

7.6.2 Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich

Bezogen auf das Ausgangsgestein, welches aus Würmmoräne besteht, liegen der Cr-Gehalt des C-Horizontes oberhalb, die Zn- und Pb-Gehalte innerhalb und die Cu- und Ni-Gehalte unterhalb der typischen Wertebereiche. Da für Würmmoräne (Lithofazies 29) keine geochemischen Angaben vorhanden sind, wurde die geologisch nächstverwandte Lithofazies mit geochemischen Angaben (Lithofazies 24, Glaziallehme) für die Beurteilung herangezogen. Im Vergleich zu den Angaben für das Gebiet Mittelland sind die Gehalte an Cr erhöht. Für die drei Schwermetalle Ni, Zn und Pb sind die Gehalte niedrig, für Cu sogar sehr niedrig.

7.6.3 Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo

Bezogen auf die VBBo liegen für Cu profilumfassend sehr niedrige Gehalte vor (Abb. 46). Für Cr und Zn sind die Gehalte sehr niedrig bis niedrig und für Ni und Pb sehr niedrig bis erhöht. Die erhöhten Gehalte finden sich beim Pb in den obersten 5 cm, beim Ni dagegen in einer Tiefe von 40–170 cm. Die Richtwerte der VBBo werden nicht überschritten.

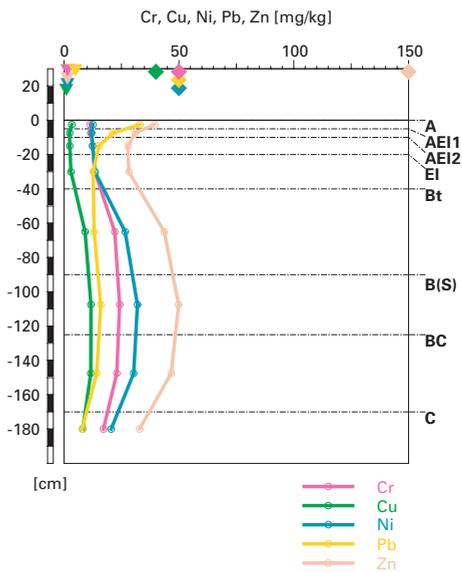


Abb. 46 Tiefenverteilung der mit Salpetersäure (2M HNO₃) extrahierbaren Gehalte an Cr, Cu, Ni, Pb und Zn.

7.6.4 Anreicherungsfaktoren

Die Schwermetalle Pb, Zn, Cu und Ni sind in der Tiefe 40–170 cm deutlich angereichert (Tab. 37). Der Oberboden ist an Cr und Ni verarmt.

Zusammen mit der Tiefenverteilung (Abb. 45) weist dies darauf hin, dass in diesem Profil Schwermetalle zusammen mit Ton aus den Auswaschungshorizonten im Oberboden in die Tonanreicherungshorizonte im Unterboden verlagert wurden. Chrom wurde im Laufe der Bodenbildung zu einem grossen Teil weiter in den Untergrund bzw. das Grundwasser ausgewaschen. Die starke Anreicherung von Pb in den obersten 10 cm, die sich auch in der Tiefenverteilung (Abb. 45) widerspiegelt, wird als klares Anzeichen atmogener, höchstwahrscheinlich anthropogener Einträge gedeutet. Das aus der Luft eingetragene Pb wird im Oberboden an die organische Substanz gebunden und angereichert. Die Tiefenverteilung von Zn im Oberboden und der gegenüber den Auswaschungshorizonten leicht erhöhte Anreicherungsfaktor in den obersten 5 cm deuten an, dass der Mikronährstoff Zn durch die Vegetation in einem engen Kreislauf gehalten wird. Gemäss dem Tiefenverlauf der Anreicherungsfaktoren gilt das gleiche für Cu.

Tab. 37 Anreicherungs-faktoren für Cr, Cu, Ni, Pb und Zn

Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungs-faktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
A	0– 5	0.44	1.27	0.56	2.68	0.94
AEI1	5– 10	0.47	n.b.	0.46	1.81	0.84
AEI2	10– 20	0.36	0.65	0.52	1.13	0.51
EI	20– 40	0.37	0.69	0.58	1.11	0.69
Bt	40– 90	0.90	3.24	1.59	1.52	1.41
B(S)	90–125	0.60	3.62	1.80	1.61	1.64
BC	125–170	0.89	4.16	1.74	1.87	1.72
C	>170	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

7.6.5 Schätzung der Mobilität der Schwermetalle

Der bis rund 90 cm tiefe pH-Wert bewirkt, dass die Schwermetalle in den oberen Bodenpartien mit Ausnahme von Pb relativ mobil sind (Abb. 47). Im A- und AEI-Horizont wird die Mobilität von Cr, Cu und Pb durch Bindung an organische Substanz gegenüber dem EI- und Bt-Horizont verringert. In grösserer Tiefe nimmt die Mobilität aller Schwermetalle infolge des pH-

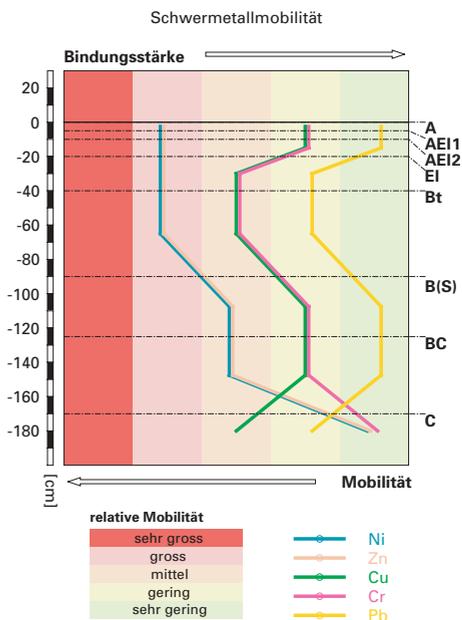


Abb. 47 Geschätzte Mobilität der Schwermetalle Cr, Cu, Ni, Pb und Zn. Die Mobilitäts-indices 1 bis 5 sind mit unterschiedlicher Farbe markiert (Tab.25).

Anstiegs ab. Im B(S)-Horizont ist die Mobilität von Cr und Pb neben dem pH-Wert auch durch den erhöhten Tongehalt reduziert. Unterhalb der Kalkgrenze, die in 170 cm Tiefe verläuft, sind die meisten Schwermetalle nur noch wenig mobil. Nur Cu und Pb dürften hier wegen der Bildung löslicher Karbonatkomplexe etwas mobiler sein. Das Risiko für die Verunreinigung des Grundwassers mit Schwermetallen ist relativ gering, zumal der Boden nur gerade von 90–125 cm etwas vernässt ist. Es ist hier also kaum mit Schwermetallauswaschung, weder durch vertikal noch durch horizontal verlaufende Wasserflüsse zu rechnen.

7.6.6 Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

In den obersten 10 cm des Bodens sind alle Schwermetalle in Gehalten vorhanden, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden nicht als kritisch erachtet werden.

7.7 Themenbereich «Nährstoffe»

7.7.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Für die Beurteilung der Verfügbarkeit können zusätzlich zu den morphologischen Kriterien wie Humusform und Bodengefüge das C/N- und C/P-Verhältnis beigezogen werden.

Die Nährstoffverfügbarkeit ist, beurteilt aufgrund von Humusform und Bodengefüge, nicht optimal. Hinweise auf einen gehemmten Streuabbau und eine nicht optimale biologische Aktivität geben der in der näheren Profilumgebung stellenweise vorhandene Fermentationshorizont und das nur wenig krümelige Gefüge im Oberboden. Offensichtlich gelingt es den Bodenorganismen nicht, die anfallende, relativ schwer abbaubare Buchenlaubstreu innert Jahresfrist vollständig zu zersetzen. Die Humusform ist meistens Mull, stellenweise Moder. Das örtliche Vorhandensein eines Fermentationshorizontes dürfte vor allem auf die sehr saure Bodenreaktion und die relativ schwer abbaubare Buchenstreu zurückzuführen sein.

Das C/N-Verhältnis beträgt in den obersten 5 cm der Mineralerde rund 17 und liegt damit, gemäss Literaturangaben, im Übergangsbereich vom Mull zum Moder. Das als mittel klassierte C/N-Verhältnis lässt eine gehemmte Mineralisierung von Nährstoffen, insbesondere von Stickstoff er-

warten. Die anhand des C/N-Verhältnisses gemachten Aussagen stehen damit in Einklang mit den morphologischen Beobachtungen. Das als mässig eng klassierte C/P-Verhältnis von 153 weist auf eine etwas regere biologische Aktivität hin, als aufgrund von Humusform, Gefüge und C/N-Verhältnis angenommen wird.

7.7.2 Nährstoffgehalte

Nachfolgend wird auf die Tiefenverteilung einiger Nährstoffe eingegangen. Im Zentrum unserer Betrachtungen stehen die Kationenaustauschkapazität und die Austauscherbelegung mit den Nährstoffkationen Ca, Mg und K.

Die KAK wird mit Ausnahme des karbonathaltigen C-Horizontes im gesamten Profil als gering bis sehr gering eingestuft (Abb. 48). Sie ist im humosen Oberboden im Vergleich zum Unterboden nur leicht erhöht. Die im C-Horizont vergleichsweise hohe KAK ist methodisch bedingt. Sie wird durch die Auflösung von Kalk bei der Extraktion verursacht.

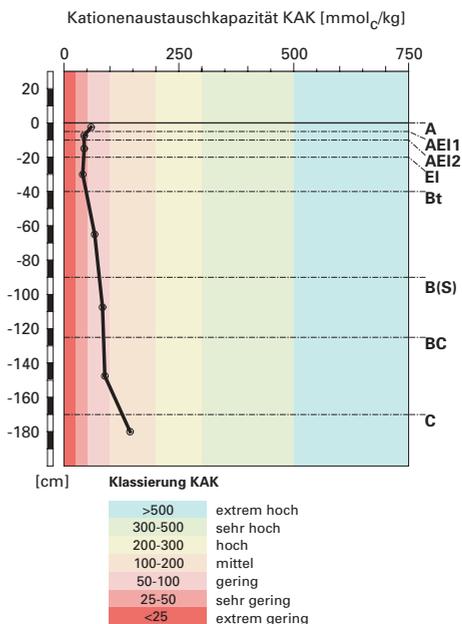


Abb. 48 Verlauf der Kationenaustauschkapazität (KAK). Die Klassen zur Bewertung der KAK sind farblich gekennzeichnet.

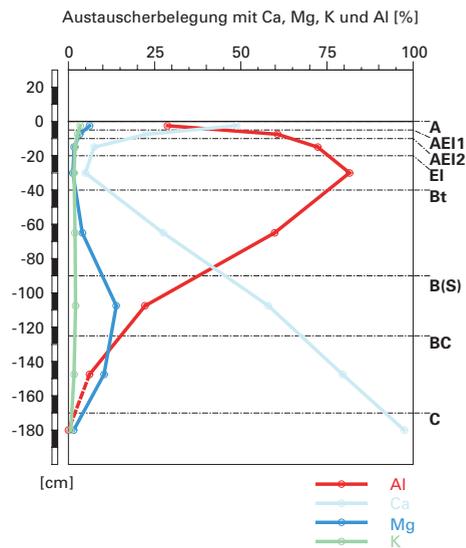
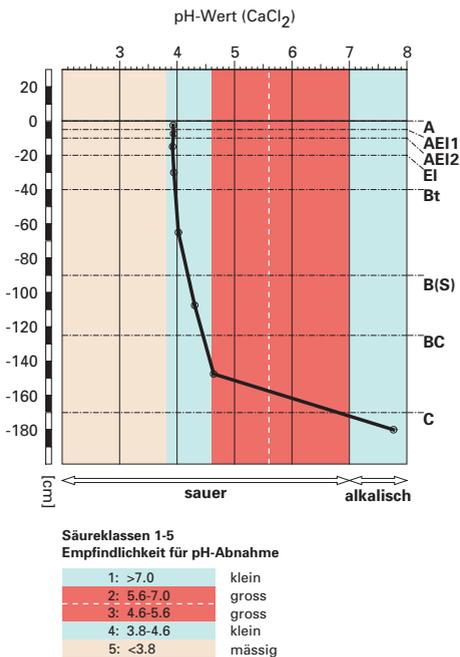


Abb. 49 (links) Verlauf des pH-Wertes (pH CaCl_2). Die Säureklassen mit den entsprechenden Versauerungsempfindlichkeiten sind mit Farbe hinterlegt.

Abb. 50 (rechts) Relative Belegung des Kationenaustauschers mit Al sowie den Nährstoffkationen Ca, Mg und K.

Infolge der sehr sauren Bodenverhältnisse (Abb. 49) dominiert Al bis in eine Tiefe von 90 cm am Kationenaustauscher (Abb. 50). Aluminium vermag insbesondere in 10–30 cm Tiefe die Nährstoffkationen fast vollständig vom Austauscher zu verdrängen. Im humosen Oberboden und ab 40 cm Tiefe sind mehr Nährstoffe am Austauscher vorhanden. Die Ca-Belegung nimmt ab 40 cm Tiefe rasch zu und erreicht im karbonathaltigen C-Horizont einen maximalen Wert von nahezu 100%. Mg ist, in Abhängigkeit der Konkurrenz durch Al und Ca, vor allem im unteren Profilbereich vorhanden. Die K-Belegung am Kationenaustauscher ist im gesamten Profil relativ konstant.

7.7.3 Nährstoffvorräte

Aufgrund der Nährstoffvorräte wird der Boden als Pflanzenstandort beurteilt. Es gilt zu beachten, dass für die Grösse der Vorräte nicht nur die Nährstoffgehalte, sondern auch der Skelettgehalt, die Bodendichte und die Gründigkeit des Bodens ausschlaggebend sind.

In den Abb.51–53 sind die Vorräte von Ca, Mg und K dargestellt. Die Vorräte nehmen bis 40 cm Tiefe nur langsam, darunter jedoch deutlich zu. Dies gilt vor allem für Ca. Im Hauptwurzelraum (0–60 cm Tiefe) wird die Versorgung mit Nährstoffkationen wie folgt beurteilt:

- Ca mittel
- Mg mässig
- K gering

Da der Boden bis mindestens 200 cm Tiefe durchwurzelbar ist, werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als hoch bewertet.

Es ist zu bedenken, dass die Nährstoffversorgung vom Wasserhaushalt des Bodens abhängig ist. Diesbezüglich herrschen günstige Bedingungen vor, denn das Risiko für Trockenstress wird an diesem Buchenstandort als klein beurteilt.

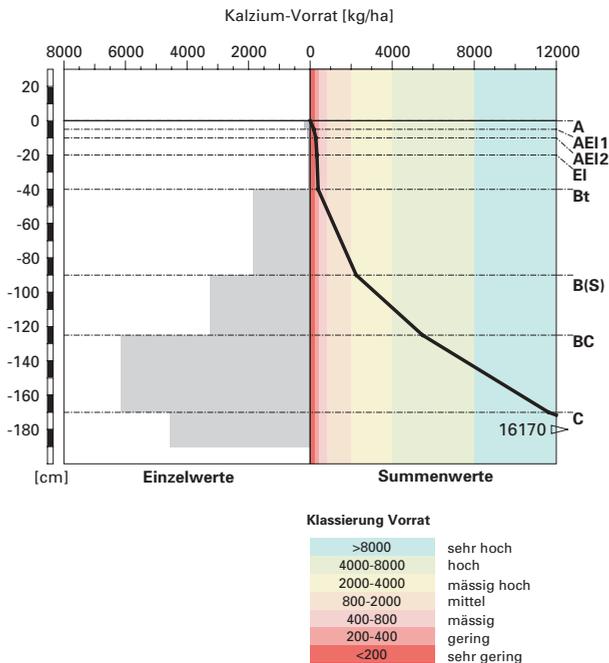


Abb.51 Ca-Vorrat horizontweise und als Summenkurve über das ganze Bodenprofil. Die Vorratsklassen sind farblich gekennzeichnet.

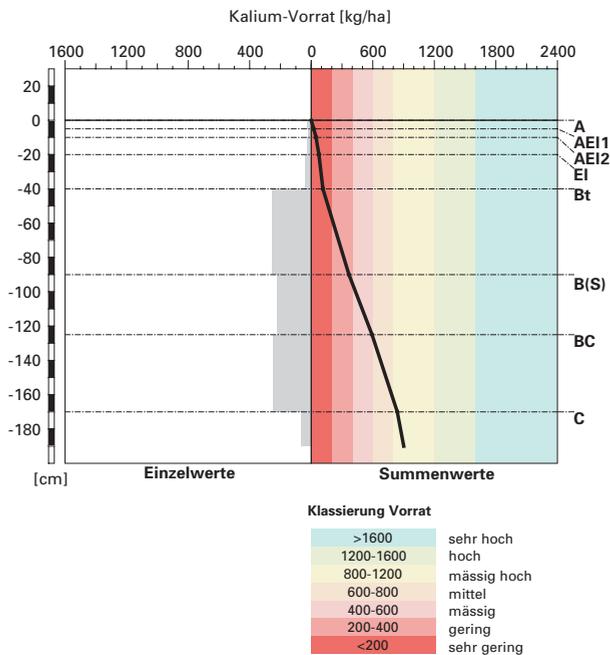
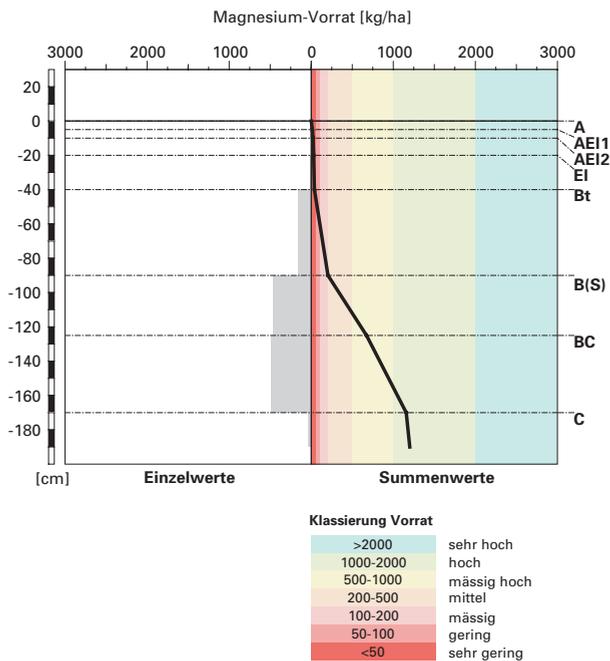


Abb. 52 (oben) Mg-Vorrat horizontweise und als Summenkurve über das ganze Bodenprofil. Die Vorratsklassen sind farblich gekennzeichnet.

Abb. 53 (unten) K-Vorrat horizontweise und als Summenkurve über das ganze Bodenprofil. Die Vorratsklassen sind farblich gekennzeichnet.

7.8 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

7.8.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab.38) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte. Es handelt sich dabei um eine Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den bodenkundlichen Themenbereichen.

7.8.2 Baumartenwahl

Nun beurteilen wir den Boden im Hinblick auf die Baumartenwahl, und zwar nach den folgenden Kriterien: Durchwurzelbarkeit des Bodens, Entwässerung des Bodens durch die Bäume, Trockenstress-Risiko für die Bäume, Säurezustand und Aluminium-Toxizität sowie Nährstoffangebot im Boden. Als Referenz für die Baumartenwahl dienen uns standortkundliche Grundlagenwerke, die für verschiedene Kantone erarbeitet wurden und heute in der Forstpraxis im Einsatz stehen. Indem wir uns auf diese Referenzwerke stützen, sind in unseren Empfehlungen für die Baumartenwahl zusätzlich zu den bodenkundlichen Kriterien automatisch auch die übrigen Standortfaktoren wie beispielsweise das Klima berücksichtigt.

7.8.2.1 **Naturnähe von Bestand und Oberboden**

Der Bestand ist ein ausgewachsener, nahezu reiner Buchenwald. Die Baumartenmischung beurteilen wir als standortgerecht.

Im Streueintrag überwiegt seit Jahrzehnten Buchenlaub, so dass wohl ein Gleichgewicht zwischen Streueintrag und -abbau besteht. Die Beschaffenheit des Oberbodens und die Humusform Mull (stellenweise Moder) schätzen wir als naturnah ein.

7.8.2.2 **Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken**

Die hier aufgeführten Baumarten gelten für den Hauptbestand.

Nach Burger et al. (1996) sind an diesem Buchenstandort (EK Nr. 7) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Traubeneiche, Stieleiche, Buche, Kirschbaum, Bergahorn, Esche, Winterlinde, Hagebuche, Fichte und Tanne. Die Standortverhältnisse lassen eine Vielzahl von Baumarten für die Verjüngung zu.

Tab. 38 Steckbrief für die Waldbehandlung mit Standortangaben, Bodenkennwerten sowie Beurteilung der Verankerungsmöglichkeiten der Bäume und Befahrbarkeit des Bodens

Standortangaben		
Relief	Höhe	470 m
	Exposition	S
	Neigung	27 %
Klima	Jahresniederschlag	1045 mm
	Jahrestemperatur	8.6°C
Ausgangsgestein	Würmmoräne über Molassesandstein	
Baumbestand	Struktur	einschichtig
	Schlussgrad	90 %
	Baumarten (Deckung)	85 % Buche
	Oberhöhe	rund 30 m
Waldgesellschaft nach E&K	Nr. 7: Typischer Waldmeister-Buchenwald	
Bodenkennwerte		
Bodensystematik	Bodentyp	Parabraunerde
	Humusform	Mull (stellenweise Moder)
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Der Boden ist mehrheitlich gut durchlüftet. Nur ab 90 cm Tiefe ist in gesättigten Phasen kurzfristig mit ungenügender Durchlüftung zu rechnen.
	Durchwurzelbarkeit	Der Boden ist für alle Baumarten mindestens profilumfassend durchwurzelbar. Der Wurzelraum ist nicht eingeschränkt und wird mit >200 cm Mächtigkeit als äusserst tiefgründig klassiert. Wurzeln sind bis zur Aufschlusstiefe (200 cm) vorhanden.
	pflanzenverfügbares Wasser	Das Risiko für Trockenstress wird unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen als klein beurteilt.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden ist nahezu profilumfassend stark sauer. Die Kalkgrenze verläuft in 170 cm Tiefe.
	Aluminium-Toxizität	In 10–40 cm Tiefe besteht ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Das C/N- und C/P-Verhältnis lassen eine leicht gehemmte Mineralisierungsrate für Nährstoffe erwarten, was durch das örtliche Vorkommen der Humusform Moder bestätigt wird.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Im durchwurzelten Boden (200 cm) werden die Vorräte an Nährstoffkationen insgesamt als hoch klassiert. Die obersten 40 cm des Bodens sind jedoch relativ nährstoffarm.
Verankerung	Da der Boden äusserst tiefgründig ist und Buchenwurzeln bis mindestens 200 cm Tiefe vorkommen, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut beurteilt.	
Befahrbarkeit	Der Oberboden reagiert in Nässeperioden empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen.	

Durchwurzelbarkeit des Bodens

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

Entwässerung des Bodens durch die Bäume

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

Trockenstress-Risiko für die Bäume

Der Boden vermag grosse Mengen an pflanzenverfügbarem Wasser zu speichern und bietet diesbezüglich für alle Baumarten ideale Voraussetzungen. Dieses Kriterium schränkt die Baumartenauswahl nicht ein.

Säurezustand und Aluminium-Toxizität

In den oberen Bodenschichten (10–40 cm Tiefe) besteht ein Risiko für Al-Toxizität. Die Bäume werden also vor allem in der Keimungs- und Anwuchsphase davon betroffen sein. Da Laubstreu weniger sauer wirkt als Nadelstreu, kann mit der Erhaltung eines hohen Laubholzanteils das Risiko von durch Al-Toxizität verursachten Wurzelschäden verringert werden. Ebenfalls günstig wirken sich tief wurzelnde Baumarten aus, indem sie dem nährstoffreichen Unterboden Nährstoffe entziehen und über den Nährstoffkreislauf die Basensättigung im Oberboden erhöhen oder zumindest stabilisieren.

Nährstoffangebot im Boden

Die biologische Aktivität ist leicht gehemmt. Durch Einbringen von verschiedenen Laubhölzern in den Haupt- oder Nebenbestand kann eine besser abbaubare Streumischung und damit eine schnellere Mineralisierung von Nährstoffen erzielt werden.

Für den Bergahorn, die Esche und den Kirschbaum, welche für ein gutes Gedeihen hohe Ansprüche an die Nährstoff- und Wasserversorgung des Bodens stellen, dürfte das Angebot an Nährstoffkationen (Ca, Mg und K) in den obersten 40 cm des Bodens an der unteren Grenze des Nötigen liegen.

Aus den obigen Ausführungen werden für den vorliegenden Waldstandort die in Tab. 39 aufgeführten Baumarten empfohlen. Die Baumarten gelten für den Hauptbestand. Im Nebenbestand können weitere Baumarten eingebracht werden.

Aufgrund der weit fortgeschrittenen Bodenversauerung, welche in den oberen Bodenhorizonten zu Nährstoffverarmung, erhöhtem Risiko für Al-Toxizität und gehemmter Nährstoffumsetzung geführt hat, wird aus bodenkundlicher Sicht empfohlen, Nadel- und Edellaubhölzer mit Zurückhaltung einzubringen.

Tab. 39 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand

Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Burger et al. 1996)	Traubeneiche, Stieleiche, Buche, Winterlinde, Hagebuche, Kirschbaum, Bergahorn, Esche, Fichte, Tanne
Bodenkundliche Kriterien	Traubeneiche, Stieleiche, Buche, Winterlinde, Hagebuche (Kirschbaum, Bergahorn, Esche, Fichte, Tanne)