

S5 Bodenprofil Cima Pianca

S5.1 Themenbereich «Bodenbildungsfaktoren und Profilmorphologie»

S5.1.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil und zu den Bodenbildungsfaktoren

Das Bodenprofil ist in [Abb. S5.1](#) dargestellt. Einen Eindruck vom Bestand vermittelt [Abb. S5.2](#). [Tab. S5.1](#) fasst wichtige Angaben zum Boden und Profilort Cima Pianca zusammen und [Tab. S5.2](#) orientiert über die Bodenbildungsfaktoren.

S5.1.2 Verbreitung gemäss Bodeneignungskarte der Schweiz

Das Profil gehört zur Kartierungseinheit V4 (alpine kristalline Berglandschaft (Granit und Orthogneis), tiefer gelegene Südhänge unter 1500 m.ü.M., Hangneigung <35%). 27 Stichproben des Landesforstinventars gehören dieser Kartierungseinheit an. Das Profil repräsentiert damit 0.2% der mit dem LFI insgesamt erfassten 11'863 Stichproben.

S5.1.3 Besonderheiten am Profilort

Der Profilort liegt hangwärts rund 10 Meter von einer Forststrasse entfernt.

S5.1.4 Profilmorphologie und Klassierung

Die im Profil angesprochenen morphologischen Bodenmerkmale sind in [Tab. S5.3](#) zusammen mit einer Profilskizze dargestellt.

Die überwiegend von Hänge-Birken sowie von Pflanzen der üppigen Krautschicht stammende Streu wird innerhalb eines Jahres nicht vollständig abgebaut, so dass unter der Streuauflage ein geringmächtiger Fermentationshorizont entstanden ist. Mit der Horizontfolge L-F-Ah wird die Humusform als Moder klassiert.



Abb. S5.1 (links) Bodenprofil Cima Pianca

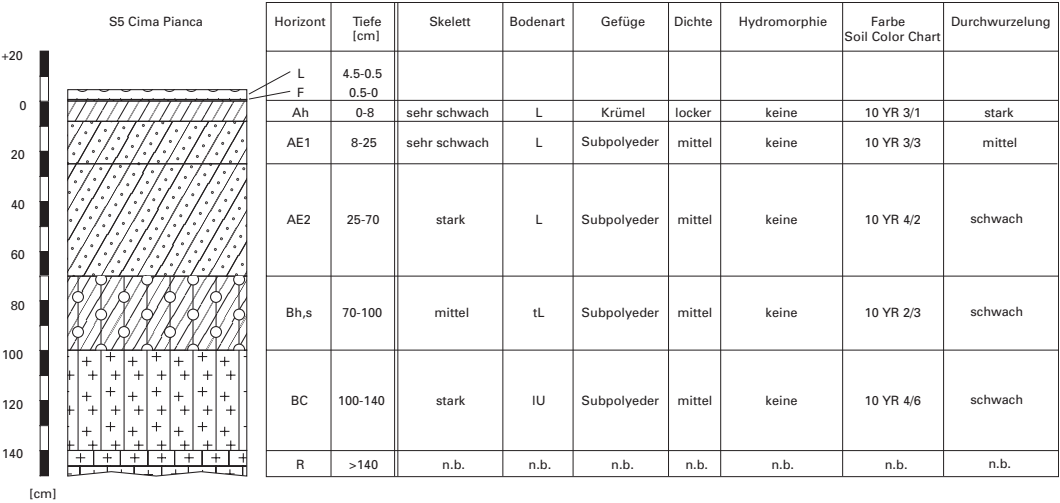
Abb. S5.2 (rechts) Bestand am Profilort Cima Pianca

Tab. S5.1 Zusammenfassende Angaben zum Profil Cima Pianca	
Lokalname	Cima Pianca (Kanton Tessin, Gemeinde Novaggio)
Lage	Landeskarte 1:25 000 Blatt 1333, Tesserete Koordinaten 707950/098150
Waldgesellschaft (Ellenberg und Klötzli 1972)	Nr. 42: Rapunzel-Eichenmischwald mit Edelkastanie (<i>Phyteumo betonicifoliae-Quercetum castanosum</i>)
Horizontfolge	L-F-Ah-AE1-AE2-Bh,s-BC-R
Humusform	Moder
Bodentyp	Kryptopodsol
Bodentyp nach FAO (1988)	Podzol

Tab. S5.2 Bodenbildungsfaktoren am Profilort Cima Pianca			
Relief	Höhe ü. M.	1110 m	
	Exposition	S	
	Neigung	30 %	
	Geländeform	Mittelhang	
Ausgangsgestein	Tektonik/Geologie	Südalpen; Metagranitoide (Biotitplagioklasgneis, oft Muskovit- und Kalifeldspat-führend)	
	Lithofazies (nach Tuchschnid 1995)	Nr.3: Orthogneise physikalische Verwitterbarkeit Gestein: mittel chemische Verwitterbarkeit Gestein: klein Tongehalt Gestein: sehr niedrig	
Klima	T/N Jahresmittel	7.0 °C/2038 mm	
	T/N Januarmittel	– 1.4 °C/85 mm	
	T/N Julimittel	16.7 °C/138 mm	
	Tage mit Schneedecke	125	
	Wärmegliederung	kühl	
	Länge der Vegetationsperiode	180–190 Tage	
Pflanzen	Schicht	Deckung	häufigste Arten
	Baumschicht (23 m Höhe)	65 %	60 % Hänge-Birke (<i>Betula pendula</i>)
	Strauchschicht	20 %	–
	Krautschicht	100 %	Adlerfarn (<i>Pteridium aquilinum</i>) Gemeines Straussgras (<i>Agrostis capillaris</i>) Salbeibl. Gamander (<i>Teucrium scorodonia</i>) Drahtschmiele (<i>Avenella flexuosa</i>)
	Mooschicht	0 %	–

Tab. S5.3

Profilskizze und Morphologie des Bodenprofils Cima Pianca
 Bodenart: L Lehm, tL toniger Lehm, IU Schluff-Lehm; n. b. nicht bestimmt



Unter der organischen Auflage lassen sich bis zur Aufschlusstiefe morphologisch fünf Horizonte unterscheiden. Die obersten 8 cm sind bräunlich schwarz gefärbt. In 8 bis 25 cm Tiefe erscheinen vereinzelt hellere, jedoch immer noch dunkel braune Farben. Dies kann als ein Hinweis auf beginnende Podsolierung interpretiert werden. Der Tiefenbereich von 25 bis 70 cm ist noch etwas stärker aufgehellt (Abb. S5.1). Die Farbe ist hier gräulich gelb-braun. Die bräunlich schwarze Farbe zwischen 70 und 100 cm Tiefe lässt eine Anreicherung von organischer Substanz vermuten. Darunter erscheinen die Farben bis zur Profilssole regelmässig braun. Der Skelettgehalt ist bis 25 cm Tiefe sehr schwach, darunter ist er, bis auf einem mittleren Skelettgehalt zwischen 70 und 100 cm, stark. Die Bodenart der Feinerde entspricht bis 70 cm Tiefe einem Lehm. Darunter nehmen die Feinanteile zu. Zwischen 70 und 100 cm liegt ein toniger Lehm, zwischen 100 und 140 cm ein Schluff-Lehm vor. Nur die obersten 8 cm des Mineralbodens weisen eine Krümelstruktur auf. Sonst hat die Feinerde eine Subpolyederstruktur. Die Dichte ist mittel und in den obersten 8 cm locker. Im ganzen Profil sind keine hydromorphen Merkmale zu erkennen.

Die Horizonte werden als L-F-Ah-AE1-AE2-Bh,s-BC-R bezeichnet und der Boden als Kryptopodsol klassiert. Mit der mächtig ausgeprägten und mit Auswaschung in Zusammenhang gebrachten Zone in 8–70 cm Tiefe und mit der deutlichen Grenze zum Bereich mit vermuteter Anreicherung kann das Profil auch als Zweischichtprofil betrachtet werden.

Ergänzende Bodenmerkmale

Gemäss pH-Hellige ist der Boden im ganzen Profil sehr sauer. Im Boden sind keine Grenzen für das Wurzelwachstum erkennbar. Die Durchwurzelung ist ab 25 cm Tiefe schwach, weiter oben im Profil mittel bis stark.

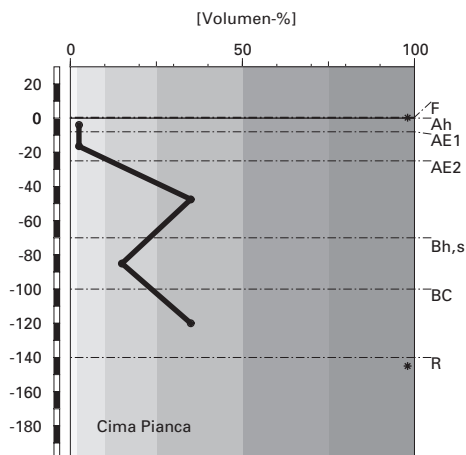
S5.2 Themenbereich «Physikalische Bodenkennwerte»

S5.2.1 Beschrieb einiger physikalischer Bodenkennwerte

Skelettgehalt

Der Boden ist in den obersten 25 cm schwach skeletthaltig (Abb. S5.3). Darunter schwankt der Skelettgehalt je nach Horizont zwischen 15 und 35%. Gesamthaft betrachtet ist im Boden lediglich mässig viel Skelett enthalten. In 140 cm Tiefe steht Fels an.

Skelettgehalt



Klassierung Skelettgehalt

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

Bodenart

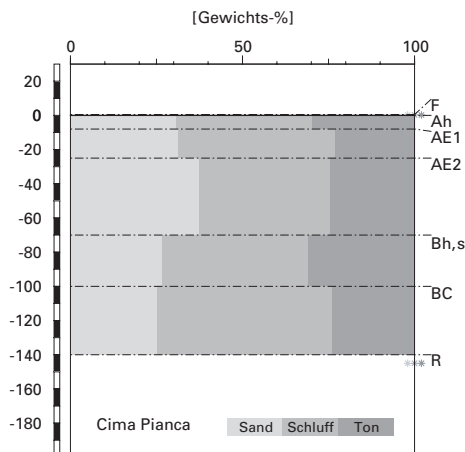


Abb. S5.3 (links) Skelettgehalt

Abb. S5.4 (rechts) Bodenart

Bodenart

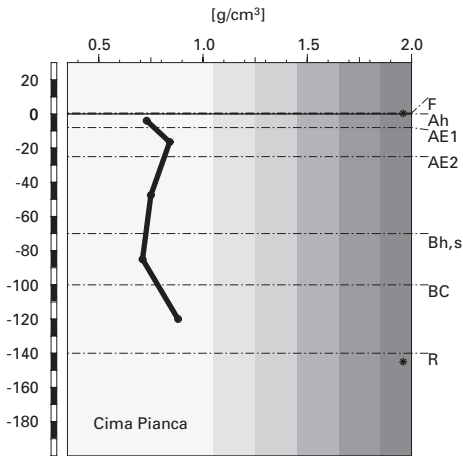
Im Vergleich zu vielen anderen Böden auf der Alpensüdseite ist die Feinerde im Profil Cima Pianca relativ schluff- und tonreich (Abb. S5.4). Die drei Korngrößenklassen Sand, Schluff und Ton sind in allen Horizonten in etwa gleich grossen Anteilen vorhanden. Der Tongehalt ist im Ah- und Bh,s-Horizont maximal, der Schluffanteil im AE2-Horizont minimal. Der BC-Horizont im Übergangsbereich zum Ausgangsgestein enthält nur rund 25% Sand und ist damit bemerkenswert feinkörnig. In Bezug auf den Tongehalt handelt es sich profilumfassend um mittelschweren Boden.

Die im Bodenprofil mit der Fingerprobe bestimmte Bodenart stimmt gut mit den Werten der Laboranalyse überein (Tab. S5.3).

Bodendichte

In diesem Profil wurde die Dichte des Bodens, nicht aber jene der Feinerde bestimmt. Die Bodendichte erreicht einen maximalen Wert von 0.88 g/cm^3

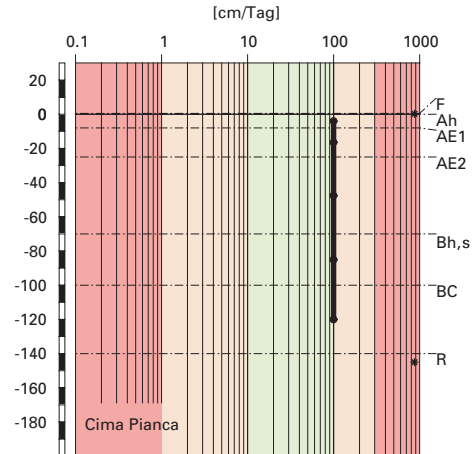
Boden-Dichte



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. S5.5 (links) Dichte des Bodens

Abb. S5.6 (rechts) Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

(Abb. S5.5). Die Feinerde-Dichte ist kleiner als die Bodendichte und wird damit profilumfassend als äusserst gering klassiert.

Bei der Profilsprache im Feld wurde die Dichte des Bodens leicht überschätzt (Tab. S5.3).

Wasserleitfähigkeit im gesättigten Boden

Der Boden ist – trotz des relativ grossen Schluff- und Tongehaltes – aufgrund seiner äusserst geringen Dichte profilumfassend hoch durchlässig (Abb. S5.6). Beim Übergang zum Felsuntergrund ist die Durchlässigkeit gehemmt, so dass das Wasser auf dem Fels talwärts abfließt.

Pflanzenverfügbares Wasser

Die Wasserspeicherkapazität bis 120 cm Tiefe wird mit 226 l/m² als sehr hoch klassiert (Abb. S5.7). Der insgesamt moderate Skelettgehalt des Bodens beeinträchtigt die Speicherleistung wenig.

pflanzenverfügbares Wasser

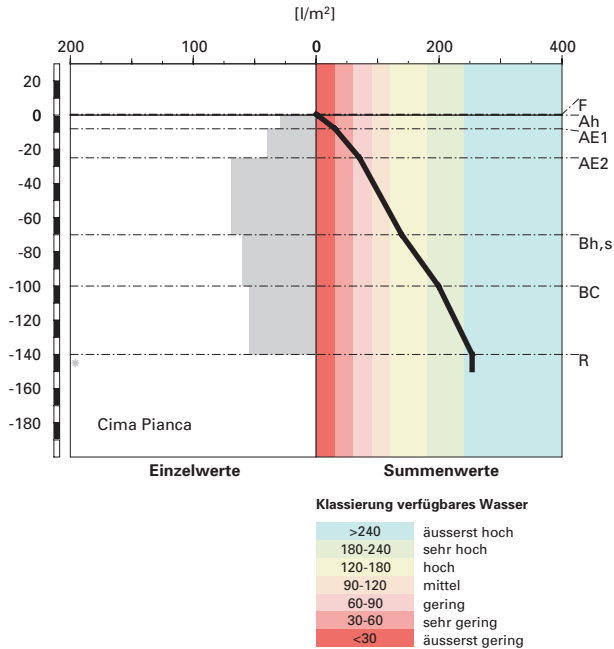


Abb. S5.7 Pflanzenverfügbares Wasser

S5.2.2

Bodenkundliche und ökologische Interpretationen

Wasser- und Lufthaushalt des Bodens

In diesem Kryptopodsol kommen aufgrund der hohen Durchlässigkeitswerte (Abb. S5.6) keine Vernässungsmerkmale vor. Der felsige Untergrund leitet das Sickerwasser offenbar talwärts ab, so dass es im Boden nicht zu einem Wasserstau kommt. Gesättigte Phasen sind demnach höchstens von kurzer Dauer.

Durchwurzelbarkeit des Bodens

Da in 140 cm Tiefe Fels ansteht, ist der Wurzelraum für alle Baumarten begrenzt. Der Boden wird mit 140 cm Mächtigkeit als sehr tiefgründig klassiert.

Bis 140 cm Tiefe ist das Wurzelwachstum nicht eingeschränkt, da die Dichtewerte weit unter dem kritischen Wert von 1.4 g/cm³ liegen und die Durchlüftung in allen Horizonten stets ausreichend ist.

Birkenwurzeln sind bis zur Profilsohle vorhanden. Wie tief die Bäume mit ihren Wurzeln Spalten und Ritzen im Felsuntergrund zu erschliessen vermögen ist nicht feststellbar.

Wasserversorgung des Baumbestandes

Nach unseren Berechnungen, welche sich auf einen Wurzelraum von 120 cm Mächtigkeit beziehen, beginnt der Bestand in Trockenperioden ohne nennenswerte Niederschläge nach rund 30 Tagen an Wassermangel zu leiden. Da der Wurzelraum noch etwas mächtiger ist (140 cm) kann Trockenstress auch später eintreten. Unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen wird das Risiko für Trockenstress an diesem Waldstandort (Eichenmischwald, EK 42) als mässig bewertet. Die hier natürlicherweise vorkommenden Laubhölzer (Eichenarten, Birke, Edelkastanie) ertragen Trockenphasen relativ gut.

Bodenbefahrbarkeit

Vor allem die obersten 25 cm des Bodens reagieren in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil dort kaum Skelett vorhanden ist und die Feinerde sehr feinkörnig ist.

S5.3 Themenbereich «Bodenhauptbestandteile»

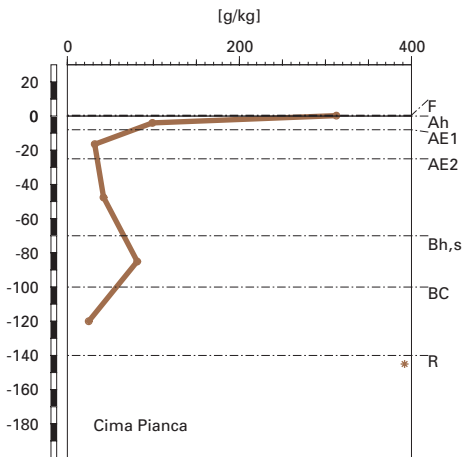
S5.3.1 Charakterisierung der Bodenhauptbestandteile

Organische Substanz

Der Baumbestand in Cima Pianca besteht zu praktisch 100% aus Birken. Die Baumkronen haben aber nur einen Deckungsgrad von 65%, so dass flächendeckend eine üppige Krautschicht gedeiht. Diese besteht hauptsächlich aus Adlerfarn, gemeinem Straussgras, salbeiblättrigem Gamander und aus Drahtschmiele. Die Streu stammt neben der Birke zu einem grossen Teil von der Krautschicht. Insgesamt ist sie gut abbaubar. Am Profilort haben sich eine 4 cm dicke Streuschicht und ein 0.5 cm dünner F-Horizont gebildet.

Der F-Horizont enthält entsprechend seiner vorwiegend organischen Zusammensetzung rund 31% organischen Kohlenstoff ([Abb. S5.8](#)). Der Ah-Horizont ist deutlich dunkler gefärbt als die darunter folgenden AE-Horizonte. Er besitzt einen Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) von 9.9%. In den AE-Horizonten geht dieser Gehalt auf 3.2 bzw. 4.2% zurück. Im Bh_s-Horizont, welcher wieder deutlich dunkler als die AE-Horizonte, aber nicht

organischer Kohlenstoff



Kohlenstoff-Vorrat

(C_{org})

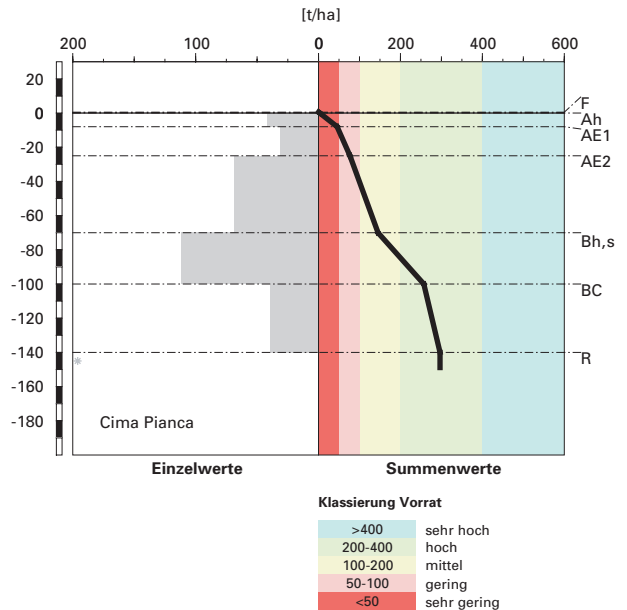


Abb. S5.8 (links) Gehalt an organischem Kohlenstoff

Abb. S5.9 (rechts) Vorrat an organischem Kohlenstoff

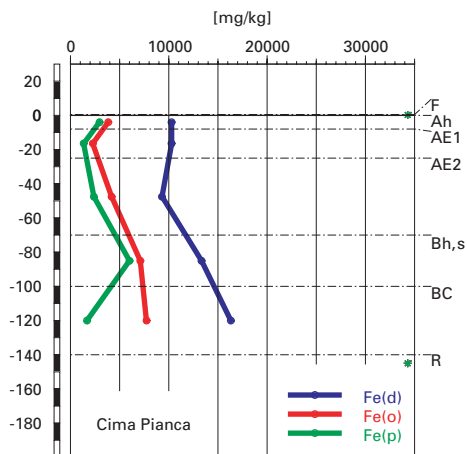
mehr so intensiv schwarz wie der Ah-Horizont gefärbt ist, lässt sich ein zweites Maximum des C_{org}-Gehaltes von 8.1 % beobachten. Im BC-Horizont geht der Gehalt auf 2.5% zurück. Aus diesen mittleren bis hohen Gehalten resultiert ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 297 t/ha (Abb. S5.9), wobei für die Vorratsberechnung im F-Horizont eine Dichte von 0.2 g/cm³ angenommen wurde.

Tonverteilung sowie Verteilung von Aluminium- und Eisenoxiden

Der Tongehalt ist für einen Boden, welcher sich auf Gneis entwickelt hat, relativ hoch. Er bewegt sich zwischen 23 und 31% und seine Tiefenverteilung ist parallel jener des organischen Kohlenstoffes (Abb. S5.4 und S5.8).

Die Tiefenverteilungen der extrahierbaren Fe-Verbindungen sind sich alle sehr ähnlich. Werden die Gehalte auf humusfreie Mineralerde bezogen, nehmen sowohl das Dithionit- (Fe_d), das Oxalat- (Fe_o) als auch das Pyro-

Eisen-Oxide (Gehalte)



Aluminium-Oxide (Gehalte)

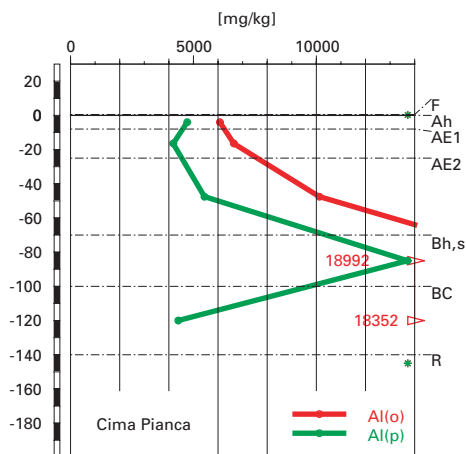


Abb.S5.10 (links) Gehalte an Dithionit- (Fe_d), Oxalat- (Fe_o) und Pyrophosphat- (Fe_p) extrahierbarem Eisen

Abb.S5.11 (rechts) Gehalte an Oxalat- (Al_o) und Pyrophosphat- (Al_p) extrahierbarem Aluminium

Eisen- und Aluminiumoxide (Verhältnisse)

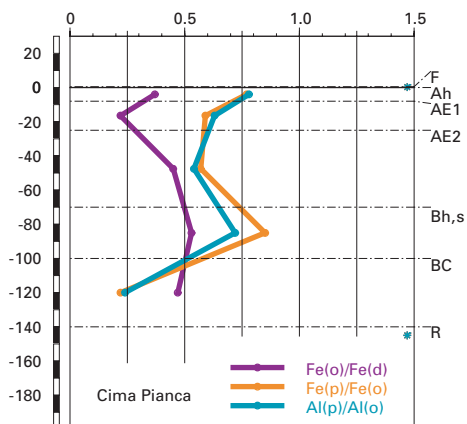


Abb.S5.12 Verhältnisse der Fe- und Al-Oxide

phosphat-extrahierbare Eisen (Fe_p) vom Ah- in den AE1-Horizont ab (Abb. S5.10). Fe_o und Fe_p haben im AE1-Horizont das Minimum, Fe_d erreicht dieses erst im AE2-Horizont. In den tiefer gelegenen Horizonten nehmen Fe_d und Fe_o linear bis zum Maximum im BC-Horizont zu. Fe_p hat im Bh,s-Horizont ein ausgeprägtes Maximum und im BC-Horizont einen ähnlich kleinen Gehalt wie im AE1-Horizont. Der Pyrophosphat-extrahierbare Al-Gehalt (Al_p) ist qualitativ ähnlich über die Profiltiefe verteilt wie Fe_p (Abb. S5.10 und S5.11). Hingegen nimmt das Oxalat-extrahierbare Aluminium (Al_o) vom Minimum im Ah-Horizont stetig bis zum Maximum im Bh,s-Horizont zu (Abb. S5.11) und ist im BC-Horizont nur geringfügig kleiner als im Bh,s-Horizont.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis hat ein ausgeprägtes Minimum im AE1-Horizont (Abb. S5.12). In den übrigen Horizonten bewegt sich dieses Verhältnis zwischen 0.4 und 0.5, wobei es tendenziell mit der Profiltiefe grösser wird. Die Fe_p/Fe_o - und Al_p/Al_o -Verhältnisse verlaufen parallel (Abb. S5.12). Sie haben Maxima im Bh,s- und Ah-Horizont. Im AE1- und AE2-Horizont sind die Verhältnisse deutlich enger. Das Minimum befindet sich bei beiden Verhältnissen im BC-Horizont.

S5.3.2

Bodenkundliche Interpretation

Die Streu am Profilort Cima Pianca stammt vor allem von der Birke aus der Baumschicht sowie von verschiedenen Pflanzenarten aus der Krautschicht. Sie ist insgesamt gut abbaubar. Dass sich eine 4 cm dicke Streuschicht und ein geringmächtiger F-Horizont gebildet haben, ist an diesem nach Süden exponierten Standort wohl der zeitweiligen Trockenheit sowie der sehr sauren Feinerde im Oberboden zuzuschreiben. Als Humusform hat sich ein Moder entwickelt. Das kühle Klima auf 1110 m.ü.M. bietet sonst während der meisten Zeit des Jahres gute Feuchtigkeits- und Wärmeverhältnisse für den Abbau der organischen Substanz. Das C/N- bzw. C/P-Verhältnis im F-Horizont wird mit 18 bzw. 433 als mittel bzw. mässig weit klassiert. Aufgrund des mittleren C/N-Verhältnisses wird eine mittlere Mineralisierung der organischen Substanz im F-Horizont angenommen. Im Ah-Horizont sind die entsprechenden Verhältnisse deutlich enger und zusammen mit der Krümelstruktur lässt dies auf eine raschere Mineralisierung der organischen Substanz im Ah-Horizont schliessen. Die Mineralisierung ist aber nicht vollständig, sondern es findet auch ein Aufbau von Humusstoffen statt. Zudem wird gelöste organische Substanz in die Tiefe verlagert, wie das aus der Tiefenverteilung des organischen Kohlenstoffes interpretiert wird (Abb. S5.8). Nach einer Abnahme der C_{org} -Gehalte in den AE1- und AE2-Horizonten, findet im Bh,s-Horizont eine Anreicherung von organi-

scher Substanz statt. Das C/N-Verhältnis ist mit Ausnahme des Bh_s-Horizontes in allen Horizonten mässig eng (Tab. A264 in Blaser et al. 2005). Im Bh_s-Horizont ist es mit 19 nur mittel. Dies veranschaulicht, dass in diesem Horizont organische Substanz akkumuliert, welche für den weiteren Abbau nicht sehr attraktiv ist. Zudem ist vermutlich ein Grossteil der Humusstoffe in allen Horizonten an die Oberfläche von mineralischen Bestandteilen (v.a. Al- und Fe-Oxide) adsorbiert, was sie teilweise vor weiterem Abbau schützt. Auf diese Weise konnte sich ein Vorrat an organischem Kohlenstoff von 297 t/ha aufbauen (Abb. S5.9), was im gesamt-schweizerischen Vergleich einem hohen Vorrat entspricht.

Wenn man bedenkt, dass Gneis natürlicherweise einen sehr niedrigen Tonmineralgehalt hat und eher grobkörnig verwittert, sind die Tongehalte für einen Boden auf diesem Ausgangsgestein vergleichsweise gross. Weil die Tongehalte absolut parallel mit den C_{org}-Gehalten verlaufen (Abb. S5.4 und S5.8), besteht der Verdacht, dass die grossen Tongehalte ein Artefakt der Messung sind.

Die Tiefenverteilung der extrahierbaren Aluminium- und Eisengehalte deutet auf eine Verlagerung von Aluminium bzw. Eisen hin. Am besten lassen sich hierfür die Tiefenverteilungen der Pyrophosphat-extrahierbaren Gehalte (Abb. S5.10 und S5.11) interpretieren. Sowohl Al_p als auch Fe_p haben das Minimum im Auswaschungshorizont AE1 und das Maximum im Humusstoff- und Sesquioxid-Anreicherungshorizont Bh_s. Daraus lässt sich schliessen, dass Aluminium und Eisen im Oberboden mobilisiert und zusammen mit der organischen Substanz in die Tiefe verlagert wurden, wo sie im Bh_s-Horizont ausfielen. Ein anderer Mechanismus der Verlagerung ist nur für Aluminium vorstellbar, das bei pH-Werten unter 4.5 auch in gelöster anorganischer Form verlagert werden kann. Dies ist an der Tiefenverteilung des Al_o-Gehaltes ersichtlich (Abb. S5.11). Unterhalb des Maximums im Bh_s-Horizont nimmt der Al_o-Gehalt nicht so stark ab wie der Al_p-Gehalt. Das kann bedeuten, dass Aluminium im Bh_s-Horizont bei einem pH-Wert von 4.4 auch in nicht komplexierter Form in Lösung verbleibt und tiefer in den BC-Horizont verlagert wird. Bis in den Bh_s-Horizont ist das Ausmass der Verlagerung von Oxalat- bzw. Pyrophosphat-extrahierbaren Al-Verbindungen aber ungefähr gleich, was durch Verlagerungsindices von 3.2 für Al_o bzw. 3.7 für Al_p bestätigt wird.

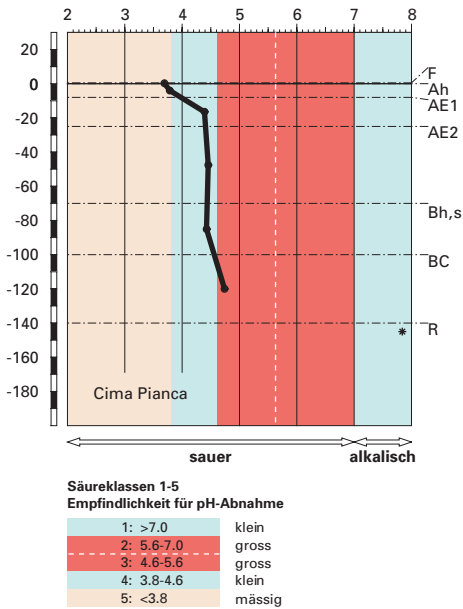
Die Tiefenverteilungen von Fe_o und Fe_d sind nicht so eindeutig mit einer Verlagerung interpretierbar. Im Gegensatz zu Aluminium wird Eisen bei den pH-Werten, wie sie im Boden von Cima Pianca herrschen, nicht in gelöster anorganischer Form verlagert. Deshalb ist es nicht erklärbar, weshalb sowohl der Fe_o- als auch Fe_d-Gehalt unterhalb des Bh_s-Horizontes weiter zunimmt. Für Fe_d ist dieses Verhalten in keinem Profil der Region Alpen-

südseite in diesem Ausmass zu beobachten. Die Tiefenverteilungen von Fe_o und Fe_d können nicht mit natürlichen Bodenbildungsprozessen erklärt werden. Es liegt deshalb nahe, vor allem auch wegen der sehr scharfen Grenze zwischen dem AE2- und Bh,s-Horizont, eine Überschüttung eines bereits gewachsenen Bodens mit vorverwittertem Unterbodenmaterial anzunehmen. Aufgrund der geringen Hangneigung kann angenommen werden, dass sich das Bodenprofil in der Auslauf- und Ablagerungszone einer kleinen Hangrutschung befindet. Es ist vorstellbar, dass durch diese alte Hangrutschung auf dem heutigen Bh,s-Horizont Rutschmaterial deponiert wurde. Dadurch wurden stark verwitterte Horizonte (mit grossen Eisengehalten) mit weniger stark verwittertem Material (mit geringeren Eisengehalten) überdeckt. Die eisenreicheren Horizonte blieben so bis heute in grösserer Profiltiefe konserviert. Im aufgeschütteten roheren Material setzte von neuem eine Bodenbildung ein. Dies würde die Zunahme der Fe_o - und Fe_d -Gehalte im Unterboden erklären und gleichzeitig den Tiefenverläufen der anderen Verbindungen nicht widersprechen, denn im Zeitraum der neuen Bodenentwicklung konnte bereits wieder Aluminium und Eisen mit der organischen Substanz verlagert werden.

Auch das Fe_o/Fe_d -Verhältnis stützt die Hypothese eines Zweischichtprofils. Normalerweise ist dieses Verhältnis bei wenig entwickelten Böden konstant oder es nimmt in stärker entwickelten Böden mit der Profiltiefe ab. In Cima Pianca nimmt es jedoch mit der Profiltiefe zu (Abb. S5.12), was ebenfalls mit der oben beschriebenen Überdeckung eines entwickelten Bodens erklärt werden könnte. Die Al_p/Al_o - bzw. Fe_p/Fe_o -Verhältnisse verhalten sich analog (Abb. S5.12) und widerspiegeln die Verhältnisse in der amorphen Fraktion der Al- bzw. Fe-Verbindungen. Danach sind die amorphen Verbindungen vor allem im Ah- und im Bh,s-Horizont stark mit der organischen Substanz assoziiert, im AE- und im BC-Horizont hingegen weniger stark.

Aufgrund der morphologischen Merkmale wurde dieser Boden als Kryptopodsol klassiert, wobei bei der Feldansprache die hohen Gehalte an organischer Substanz in 70 bis 100 cm Tiefe als Ergebnis einer Podsolierung interpretiert wurden. Gestützt auf die Analysen der Fe-Verbindungen kommt man hingegen eher zum Schluss, dass es sich um ein Zweischichtprofil handelt, bei dem ein entwickelter Boden durch weniger stark verwittertes Material überdeckt wurde und danach von neuem eine Bodenentwicklung einsetzte, welche sich zur Zeit im Stadium einer sauren Braunerde befindet.

pH-Wert (CaCl₂)



austauschbare Kationen

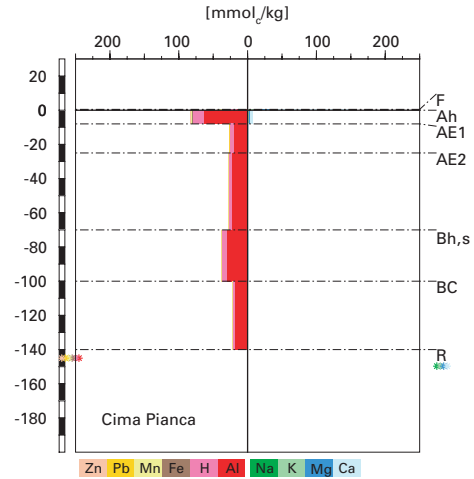


Abb.S5.13 (links) pH-Wert und Säureklassen

Abb.S5.14 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

S5.4 Themenbereich «Säurezustand»

S5.4.1 Charakterisierung des Säurezustandes

pH-Wert

Die Feinerde dieses Bodens ist beinahe profilumfassend stark sauer und befindet sich zum grössten Teil in der Säureklasse 4 (**Abb.S5.13**). Im F-Horizont ist der pH-Wert 3.7. Der tiefste Wert im Mineralboden beträgt 3.8 und befindet sich im Ah-Horizont an der Grenze zur Säureklasse 5. Der BC-Horizont ist nur mässig sauer. Der pH-Wert beträgt dort 4.7, liegt also im unteren Bereich der Säureklasse 3.

Basensättigung

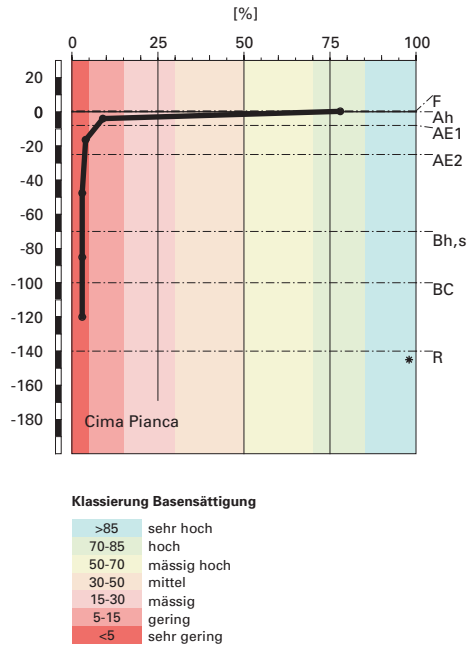


Abb. S5.15 Basensättigung

Austauschbare Kationen und Basensättigung

Der Kationenaustauscher ist im ganzen Profil zum grössten Teil mit sauren Kationen, primär mit Aluminium belegt (Abb. S5.14). Im Oberboden beträgt die Protonenbelegung zwischen 15 und 22% und auch in den anderen Horizonten ist der Kationenaustauscher zu jeweils mehr als 10% mit Protonen besetzt. Erwähnenswerte, allerdings sehr geringe Anteile austauschbarer Nährstoffe wurden mit Ausnahme der organischen Auflage nur im Ah-Horizont gemessen.

Die Basensättigung beträgt im F-Horizont nahezu 80% und wird als hoch eingestuft. Sie wird aber bereits in den obersten 8cm des Mineralbodens (Ah-Horizont) mit nicht einmal 9% als gering klassiert (Abb. S5.15). Auch in allen anderen Bodentiefen ist sie mit 2.7 bis 3.5% sehr gering.

Stand der Bodenversauerung

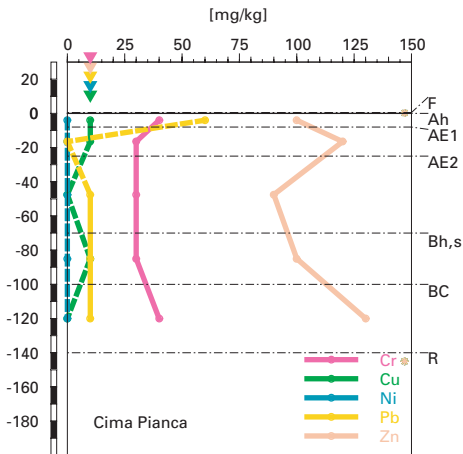
Von allen untersuchten Böden der Region Alpensüdseite ist dieser Kryptopodsol am stärksten versauert. Obwohl in mehreren Profilen wesentlich tiefere pH-Werte gemessen wurden, beträgt der Anteil saurer Kationen am Kationenaustauscher 97 %. Mit Ausnahme des BC-Horizontes werden die Säuren im ganzen Profil hauptsächlich durch Auflösung von Aluminiumverbindungen neutralisiert. Die Verdrängung von Nährstoffkationen am Kationenaustauscher ist deshalb weit fortgeschritten, so dass die Basensättigung im grössten Teil des Bodens sehr gering ist. Die Tiefe der Versauerungsfront kann nicht eruiert werden, weil austauschbares Aluminium in der Feinerde im BC-Horizont direkt über dem anstehenden Fels vorkommt. Im Ah-Horizont ist die Basensättigung leicht grösser, was auf den Nährstoffkreislauf zurückgeführt werden kann. Allerdings ist die Möglichkeit für die Pflanzen, Nährstoffe im Unterboden aufzunehmen, durch den Fels in 140 cm Tiefe begrenzt. Dadurch ist der Effekt der Nährstoffrückführung mit der Streu nicht so stark ausgeprägt wie bei anderen Böden der Region. Bemerkenswert ist der grosse Anteil an austauschbaren Protonen, der wohl im Zusammenhang mit dem grossen Humusgehalt im Mineralboden steht.

Im Bh,s-Horizont ist die Kationenaustauschkapazität grösser als in den benachbarten Horizonten. Dies könnte mit der im Themenbereich «Bodenhauptbestandteile» erwähnten Hangrutschung erklärt werden, indem es sich beim Bh,s-Horizont um einen überdeckten, älteren und stärker verwitterten Oberboden handelt.

Risiko für Boden und Pflanzen

Das Risiko einer weiteren pH-Abnahme ist in diesem Boden klein, denn der grösste Teil der Feinerde befindet sich in der gut puffernden Säureklasse 4. Nur rund 25 % der Feinerde (BC-Horizont) befinden sich in den schlecht puffernden Säureklassen 2 und 3. Am empfindlichsten für eine weitere pH-Abnahme ist der Ah-Horizont, denn dieser liegt an der Grenze zur mässig puffernden Säureklasse 5 und ist, bedingt durch seine Lage im Profil, dem grössten Versauerungsdruck ausgesetzt. Es muss deshalb von einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber einer weiteren pH-Abnahme im Ah-Horizont ausgegangen werden. Auch der BC-Horizont ist empfindlich für eine weitere pH-Abnahme, denn er befindet sich in der Säureklasse 3, in der die Pufferwirkung klein ist. Allerdings darf angenommen werden, dass die pH-Abnahme in dieser Bodentiefe langsamer fortschreiten wird, weil die Säurezufuhr hier geringer ist als in den höher gelegenen Horizonten.

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



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

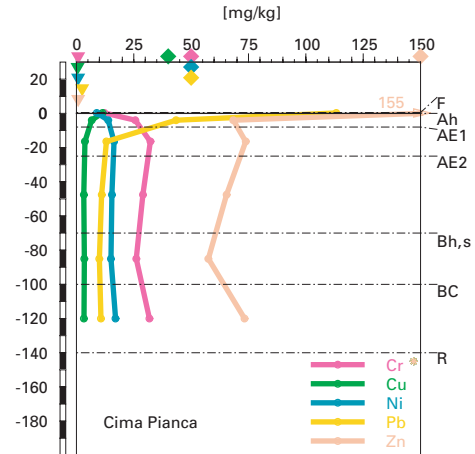


Abb. S5.16 (links) Schwermetalle: effektive Totalgehalte

Abb. S5.17 (rechts) Schwermetalle: Salpetersäure-extrahierbare Gehalte

Das Risiko von Al-Toxizität ist für das Wachstum empfindlicher Pflanzen sehr gross. Die BC/Al-Verhältnisse liegen im ganzen Bodenprofil überall zwischen 0.03 und 0.12 und befinden sich damit unter dem als kritisch erachteten Grenzwert von 0.2.

S5.5 Themenbereich «Schwermetalle»

S5.5.1 Tiefenverteilung der Schwermetalle

Der Zn-Gehalt ist in diesem Boden im untersten Horizont maximal (**Abb. S5.16**). Darüber gibt es ein sekundäres Maximum mit etwas niedrigerem Gehalt im AE1-Horizont, während der AE2-Horizont am wenigsten Zn enthält. Chrom variiert im ganzen Profil nur wenig mit etwas höheren Gehalten im obersten und untersten Horizont. Der Pb-Gehalt ist im Ah-Horizont maximal. Darunter liegt er unter oder wenig über der Bestimmungsgrenze. Nickel und Cu sind im ganzen Profil sehr niedrig. Über der Bestimmungsgrenze liegen nur die Cu-Gehalte im Ah-, AE1- und Bh,s-Horizont.

S5.5.2 **Wertung der Schwermetallgehalte im untersten Mineralerde-Horizont im geochemischen Vergleich**

Bemerkung: Für Cu und Ni ist die Basis für den geochemischen Vergleich der Gehalt im Salpetersäure-Extrakt. Bezogen auf das Ausgangsgestein aus Orthogneis (Lithofazies 3) liegen der Cu- und Pb-Gehalt im BC-Horizont unterhalb, die Gehalte aller anderen Schwermetalle oberhalb typischer Wertebereiche.

Anmerkung: Weil der felsige Untergrund, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt werden konnte, werden für den geochemischen Vergleich die Schwermetallgehalte im BC-Horizont beigezogen. In diesem Boden, der vermutlich ein Zweischicht-Profil besitzt, ist es schwierig zu beurteilen, wie gut die Schätzungen auf der Basis des BC-Horizontes sind.

S5.5.3 **Beurteilung der quellenunabhängigen Belastung nach VBBo**

Für den F- und Ah-Horizont wurden wegen ihres hohen Humusgehaltes (Abb. S5.8) die volumenbezogenen Konzentrationen (mg/dm^3 ; Tab. A262 in Blaser et al. 2005) beurteilt. Diese sind niedriger als die massenbezogenen Gehalte (mg/kg ; Abb. S5.17), da die Dichte kleiner ist als $1\text{ g}/\text{cm}^3$. Mangels Messwerten wurde für die Auflage eine Dichte von $0.2\text{ g}/\text{cm}^3$, für den Ah-Horizont eine von $0.5\text{ g}/\text{cm}^3$ angenommen.

Bezogen auf die VBBo sind die Konzentrationen aller Schwermetalle im F- und Ah-Horizont sehr niedrig bis niedrig. Im übrigen Profil sind die Gehalte aller Schwermetalle mit Ausnahme von Cr ebenfalls sehr niedrig bis niedrig. Der Cr-Gehalt ist erhöht. Die Richtwerte der VBBo werden von keinem Schwermetall überschritten.

S5.5.4 **Anreicherungs faktoren**

Weil der felsige Untergrund, aus dem sich der Boden entwickelt hat, nicht beprobt werden konnte, wurden die Anreicherungs faktoren relativ zum BC-Horizont berechnet. Deshalb können keine Aussagen bezüglich Anreicherung oder Verarmung relativ zum Ausgangsgestein gemacht werden.

Da Ni und Cu im BC-Horizont unter der Bestimmungsgrenze liegen, können für diese Elemente keine Anreicherungs faktoren berechnet werden. Chrom ist im Ah-Horizont etwas angereichert, während der AE1-Horizont etwas an Cr verarmt ist (Tab. S5.4). Der AE2-Horizont ist etwas an Zn verarmt. Eine deutliche Anreicherung stellen wir für Pb im obersten Horizont fest.

Tab. S5.4 Anreicherungsfaktoren						
Horizont	Tiefe [cm]	Anreicherungsfaktor				
		Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Ah	0– 8	1.35	n.b.	n.b.	8.08	1.04
AE1	8– 25	0.80	n.b.	n.b.	< 1.06	0.98
AE2	25– 70	0.88	n.b.	n.b.	1.17	0.81
Bh,s	70–100	0.91	n.b.	n.b.	1.21	0.93
BC	100–140	1.00	n.b.	n.b.	1.00	1.00
R	>140	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Der vom AE1- bis BC-Horizont ziemlich konstante Zr-Gehalt (Tab. A263 in Blaser et al. 2005) zeigt, dass in diesem Zweischicht-Profil der untere und obere Teil ziemlich sicher aus dem gleichen Ausgangsgestein stammen. Tiefenverteilungen (Abb. S5.16 und S5.17) sowie Anreicherungsfaktoren (Tab. S5.4) können so interpretiert werden, dass die Bodenentwicklungen in den beiden Schichten bei den meisten Schwermetallen noch zu keinen bedeutenden Verlagerungen geführt haben. Eine Ausnahme bildet Zn. Die Zunahme des Zn-Gehaltes vom AE2- in den BC-Horizont sowie die leichte Verarmung des AE2-Horizontes lassen auf Auswaschung aus dem Profil schliessen. Die gegenüber dem AE2-Horizont erhöhten Zn-Gehalte im Ah- und AE1-Horizont lassen sich mit Anreicherung über den Nährstoffkreislauf erklären. Die deutliche Anreicherung und die stark erhöhten Gehalte von Pb im Ah-Horizont sind Hinweise auf anthropogenen Eintrag, der in der organischen Substanz gebunden wurde.

S5.5.5 **Schätzung der Mobilität der Schwermetalle**

Die Mobilität von Zn wird im vom F- bis zum Bh,s-Horizont stark bis sehr stark sauren Boden als gross bis sehr gross beurteilt (Abb. S5.18). Im nur mässig sauren BC-Horizont wird eine mittlere Mobilität geschätzt. Nickel ist in der Auflage, im Ah- und im Bh,s-Horizont etwas weniger mobil als Zn, was mit der etwas stärkeren Bindung von Ni an die organische Substanz zusammenhängt. Die übrigen Schwermetalle sind im ganzen Profil nur wenig mobil. Auch hierbei spielt neben der geringeren pH-abhängigen Löslichkeit die ausgeprägte Bindung an die organische Substanz eine bedeutende Rolle.

Das Grundwasser dürfte unter diesem Boden höchstens durch Auswaschung von Zn gefährdet sein. Das ähnlich mobile Ni liegt hingegen nur in einem sehr geringen Gehalt vor.

Schwermetallmobilität

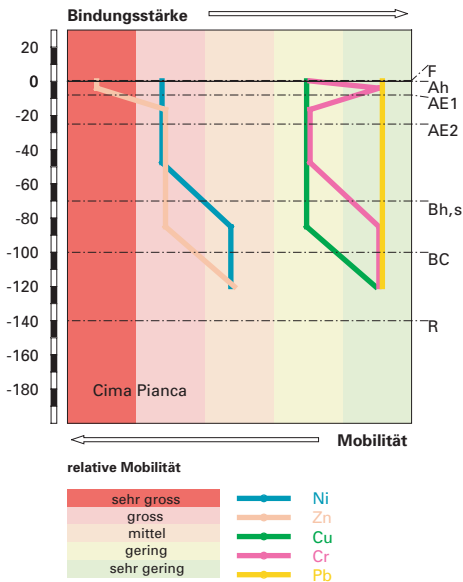


Abb. S5.18 Mobilität der Schwermetalle

S5.5.6 Schätzung der Gefährdung von Mikroorganismen

Im Ah- und AE1-Horizont liegen alle Schwermetalle in Gehalten vor, welche für pflanzliche und tierische Mikroorganismen in Waldböden unkritisch sind.

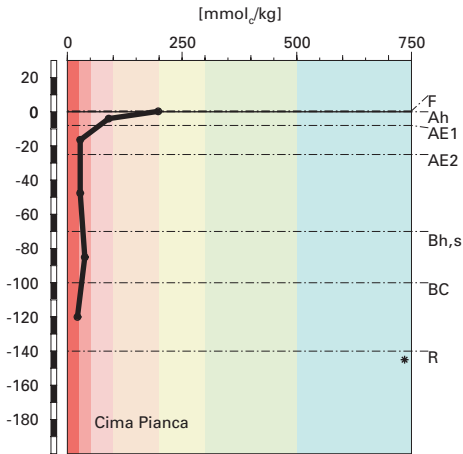
S5.6 Themenbereich «Nährstoffe»

S5.6.1 Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden

Im kühlen Klima auf rund 1100 m.ü.M. hat sich in diesem lichten Birkenbestand ein geringmächtiger Fermentationshorizont gebildet und die Humusform ist ein Moder. Die Krümelstruktur im 8 cm mächtigen Ah-Horizont ist die Folge einer aktiven Bodenfauna. Allerdings ist die biologische Aktivität aufgrund der geringen Mächtigkeit des Ah-Horizontes nicht sehr hoch. Das mittlere C/N-Verhältnis von 18 im F-Horizont, welches für einen Über-

Kationenaustauschkapazität

(KAK)



Klassierung KAK

>500	extrem hoch
300-500	sehr hoch
200-300	hoch
100-200	mittel
50-100	gering
25-50	sehr gering
<25	extrem gering

Austauscherbelegung mit Ca, Mg, K und Al

(in % der KAK)

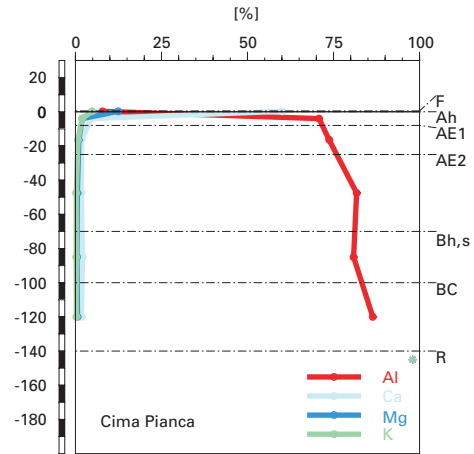


Abb. S5.19 (links) Kationenaustauschkapazität

Abb. S5.20 (rechts) Belegung des Kationenaustauschers

gang zwischen den Humusformen Mull und Moder typisch ist, weist in die gleiche Richtung und besagt, dass die Mineralisierungsrate der organischen Substanz mittel ist und die Nährstofffreisetzung leicht gehemmt erfolgt. Es darf deshalb angenommen werden, dass auch die Nährstoffverfügbarkeit im Oberboden nicht optimal ist.

Diese Aussage wird durch das mässig weite C/P-Verhältnis von 433 im F-Horizont gestützt.

S5.6.2

Nährstoffgehalte

Die Kationenaustauschkapazität ist im F-Horizont mittel und bereits im Ah-Horizont gering. In allen anderen Horizonten schwankt sie zwischen 22 und 38 mmol_c/kg Feinerde und ist damit sehr gering bis extrem gering, obwohl der Boden im regionalen Vergleich ton- und humusreich ist (Abb. S5.19).

Die Austauscherplätze der Feinerde sind im ganzen Mineralboden hauptsächlich mit Aluminium belegt (Abb. S5.20). Vom Ah-Horizont bis zum BC-Horizont nimmt der Aluminiumanteil am Kationenaustauscher von 70% auf 86% zu. Die Anteile austauschbarer Nährstoffkationen sind bescheiden. Nur im F- und Ah-Horizont sind etwas mehr Nährstoffkationen gebunden. In allen anderen Bodentiefen variieren die Ca-, Mg- und K-Anteile am Kationenaustauscher nur wenig.

S5.6.3 Nährstoffvorräte

Als Folge der sehr geringen Kationenaustauschkapazität und der geringen Belegung des Kationenaustauschers mit Nährstoffkationen sind die Vorräte an austauschbarem Ca, Mg und K bis zur Referenztiefe von 60 cm sehr gering (Abb. S5.21–S5.23). Auch wenn der Boden in seiner ganzen Mächtigkeit von 140 cm beurteilt wird, ändert sich an dieser Beurteilung nichts. Das Risiko für Trockenstress wird an diesem Standort als mässig bewertet, so dass die Verfügbarkeit dieser sehr geringen Nährstoffvorräte zusätzlich temporär etwas eingeschränkt ist.

Kalzium-Vorrat

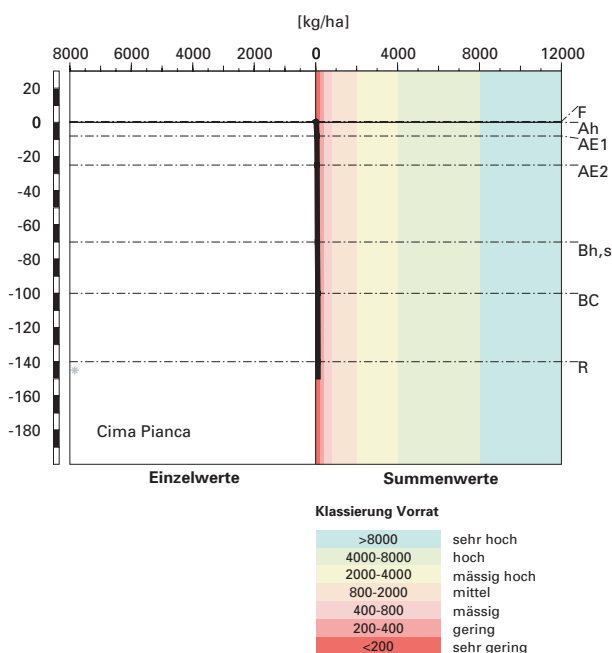


Abb. S5.21 Vorrat an Kalzium

Magnesium-Vorrat

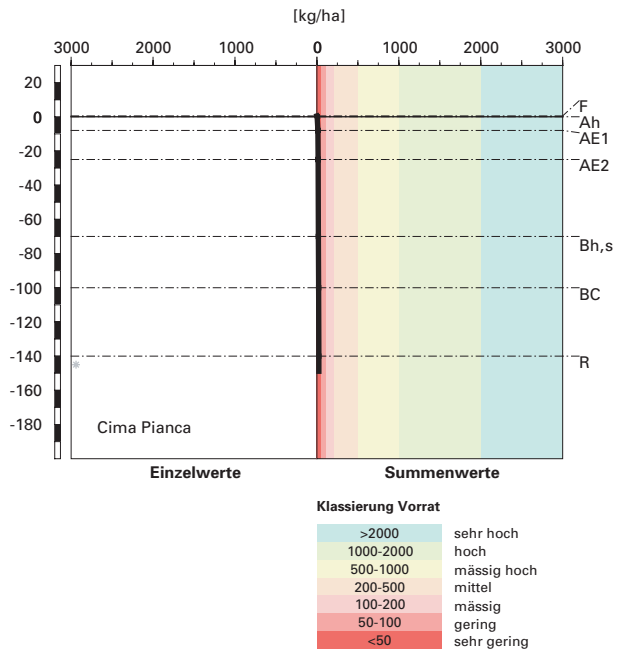


Abb. S5.22 Vorrat an Magnesium

Kalium-Vorrat

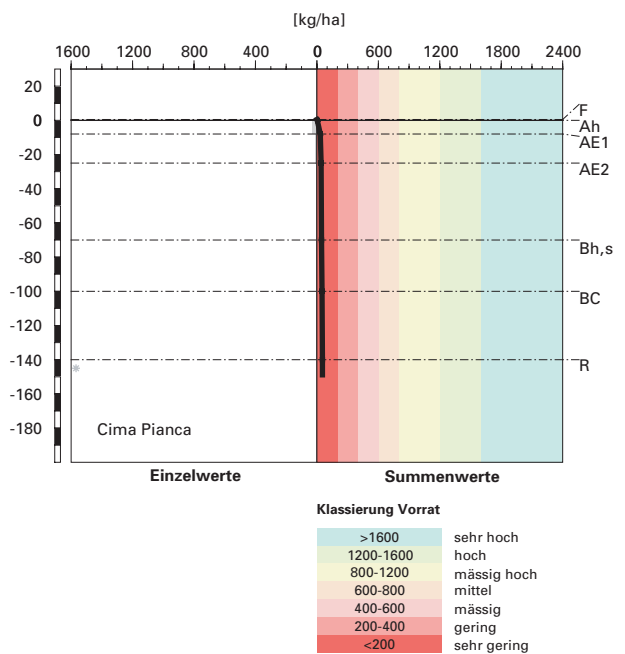


Abb. S5.23 Vorrat an Kalium

S5.7 Themenbereich «Waldbaulich relevante Bodenkennwerte und Baumartenwahl»

S5.7.1 Steckbrief für die Waldbehandlung

Der Steckbrief (Tab. S5.5) orientiert über waldbaulich relevante Standortfaktoren und Bodenkennwerte.

S5.7.2 Baumartenwahl

Naturnähe von Bestand und Oberboden

Der Bestand ist ein Pionierwald, der sich überwiegend aus Birken zusammensetzt. Der Naturwald wäre ein Laubmischwald, in dem vor allem verschiedene Eichenarten stark vertreten wären. Nach Frey et al. (2000) trifft man an diesem Standort (EK Nr. 42) häufig Moder an. Die aktuelle Humusform Moder ist demnach standorttypisch.

Baumartenwahl gemäss standortkundlichen Grundlagenwerken

Gemäss BUWAL (2005) sind an diesem Laubmischwald-Standort (Nr. 42C/Q) folgende Baumarten für die Waldverjüngung geeignet: Kastanie, Traubeneiche, Birke, Flaumeiche, Zerreiche, Buche, Mehlspeere, Aspe und Waldföhre. Für diesen Standort sind gemäss BUWAL also vor allem Trockenheit ertragende Baumarten geeignet.

Bodenkundliche Kriterien für die Baumartenwahl

■ Durchwurzelbarkeit des Bodens

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

■ Entwässerung des Bodens durch die Bäume

Der Boden ist gut durchlüftet und sehr durchlässig. Daher kann das Kriterium der biologischen Entwässerung des Bodens bei der Baumartenwahl vernachlässigt werden.

■ Trockenstress-Risiko für die Bäume

Das Risiko für Trockenstress ist vor allem aus klimatischen Gründen mässig. Es sollten nur Baumarten verjüngt werden, die Trockenheit relativ gut ertragen.

■ Säurezustand und Aluminium-Toxizität

Die Feinerde ist derart sauer, dass im gesamten Mineralboden ein Risiko für Al-Toxizität besteht. Der Säure freisetzenden organischen Auflage kann mit einer artenreichen, naturnaheren Baumartenmischung ent-

Tab. S5.5 Steckbrief für die Waldbehandlung (Cima Pianca)**Standortangaben**

Relief	Höhe	1110 m
	Exposition	S
	Neigung	30%
Klima	Jahresniederschlag	2038 mm
	Jahrestemperatur	7.0°C
Ausgangsgestein	Gneis	
Baumbestand	Struktur	stufig
	Schlussgrad	65%
	Baumarten (Deckung)	60 % Hänge-Birke
	Oberhöhe	23 m
Waldgesellschaft	nach E&K 1972	Nr. 42: Rapunzel-Eichenmischwald mit Edelkastanie
	nach BUWAL 2005	Nr. 42C/Q: Nährstoffarmer Eichen-Kastanienwald

Bodenkennwerte

Bodensystematik	Bodentyp	Kryptopodsol
	Humusform	Moder
Wasser- und Lufthaushalt	Durchlüftung	Im Boden sind keine Vernässungsmerkmale vorhanden, was zeigt, dass der Boden stets gut durchlüftet ist.
	Durchwurzelbarkeit	Da in 140 cm Tiefe Gneisfels ansteht, ist der Wurzelraum für alle Baumarten begrenzt. Er ist mit 140 cm Mächtigkeit aber dennoch sehr tiefgründig. Wie tief die Bäume im Felsuntergrund vorhandene Spalten durchwurzeln, wissen wir nicht.
	pflanzenverfügbares Wasser	Das Risiko für Trockenstress schätzen wird unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen als mässig ein.
Säurezustand	pH-Wert/Kalkgrenze	Der Boden ist bis 8 cm Tiefe sehr stark, zwischen 8 und 100 cm stark und weiter unten im Profil mässig sauer. Das Ausgangsgestein ist karbonatfrei.
	Aluminium-Toxizität	Im gesamten Mineralboden besteht ein Risiko für Al-Toxizität.
Nährstoffe	Verfügbarkeit im Oberboden	Die Humusform Moder und das mittlere C/N-Verhältnis weisen auf eine mittlere Mineralisierungsrate hin. Auf einen gehemmten Abbau der organischen Substanz deutet zudem das mässig weite C/P-Verhältnis.
	Nährstoffvorräte (Ca, Mg, K)	Die Vorräte der drei Nährstoffkationen sind sehr gering.
Verankerung		Da der Boden sehr tiefgründig ist, wird die Verankerung des Baumbestandes als gut bewertet.
Befahrbarkeit		Vor allem die obersten 25 cm des Bodens reagieren in nassem Zustand empfindlich auf Befahren mit schweren Maschinen, weil dort kaum Skelett vorhanden ist und die Feinerde sehr feinkörnig ist.

gegengewirkt werden. Aufgrund des mässigen Trockenstress-Risikos besteht zwar nur ein beschränkter Spielraum bei der Baumartenwahl – wird er ausgenutzt, lassen sich Humusform und Säurezustand im Oberboden leicht verbessern, indem beim Streuabbau die Produktion von organischen Säuren durch die attraktivere Streumischung etwas reduziert wird.

■ Nährstoffangebot im Boden

Die Mineralisierung der Nährstoffe ist gehemmt. Die biologische Aktivität lässt sich, wie bereits beim Säurezustand erwähnt, durch eine besser abbaubare Streumischung leicht erhöhen. Da der aktuelle Bestand fast nur aus Birken besteht, ist ein Verbesserungspotential durch Einbringen zusätzlicher Laubhölzer gegeben.

Viele Baumarten haben bezüglich Nährstoffversorgung des Bodens eine weite ökologische Amplitude. Das Nährstoffangebot dürfte daher an diesem Standort für die meisten Baumarten ausreichend sein. Eine Ausnahme bilden die nährstoffbedürftigen Edellaubhölzer. Nach unserem Stand des Wissens sind die Vorräte von Kalzium, Magnesium und Kalium für ein konkurrenzstarkes Wachstum der Edellaubhölzer zu gering.

S5.7.3

Baumartenempfehlung

Für den vorliegenden Waldstandort werden die in [Tab. S5.6](#) ersichtlichen Baumarten empfohlen. Aus bodenkundlicher Sicht ist die Baumartenempfehlung des BUWAL (2005) aufgrund des Trockenstress-Risikos, des Säurezustandes und des Nährstoffangebotes zu hinterfragen.

Aus bodenkundlicher Sicht ist eine vielfältige Baumartenmischung mit möglichst vielen Laubhölzern anzustreben. Dadurch wird die biologische Aktivität im Oberboden leicht verbessert, so dass mehr Nährstoffe mineralisiert und weniger organische Säuren produziert werden. Die standort-typische Humusform Moder bleibt dabei erhalten.

Aufgrund der zeitweise angespannten Wasserversorgung gehen wir davon aus, dass die Buche Mühe hat, sich gegen die Trockenheit ertragenden Laubholzarten durchzusetzen. Die Waldföhre hat eine derart schlecht abbaubare Streu, dass sie auf diesem sehr sauren, zur Austrocknung neigenden Boden nicht empfohlen wird.

Tab. S5.6 Baumartenempfehlung für den Hauptbestand	
Referenz	Baumarten
Grundlagenwerke (Einheit 42C/Q; BUWAL 2005)	Kastanie, Traubeneiche, Birke, Flaumeiche, Zerreiche, Buche, Mehlbeere, Aspe, Waldföhre
Bodenkundliche Kriterien	Kastanie, Traubeneiche, Birke, Flaumeiche, Zerreiche, Mehlbeere, Aspe, (Buche, Waldföhre)

S5.8 Literatur

Blaser, P. / Zimmermann, S. / Luster, J. / Walthert, L. / Lüscher, P., 2005: Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseite. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Bern, Hep Verlag.

BUWAL, 2005: Nachhaltigkeit im Schutzwald und Erfolgskontrolle. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, in Vorbereitung.

Ellenberg, H./Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Eidgenöss. Forschungsanst. Wald Schnee Landsch. 48, 4: 587–930.

FAO, 1988: FAO/Unesco Soil Map of the World, Revised Legend, with corrections and updates. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome. Reprinted with updates as Technical Paper 20, ISRIC, Wageningen, 1997. 140 S.

Frey, H.-U./Bichsel, M./Preiswerk, Th., 2000: Waldgesellschaften und Waldstandorte Graubündens, 8. Teil Südtäler. Hrsg.: Amt für Wald Graubünden, Chur. Ringordner.

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